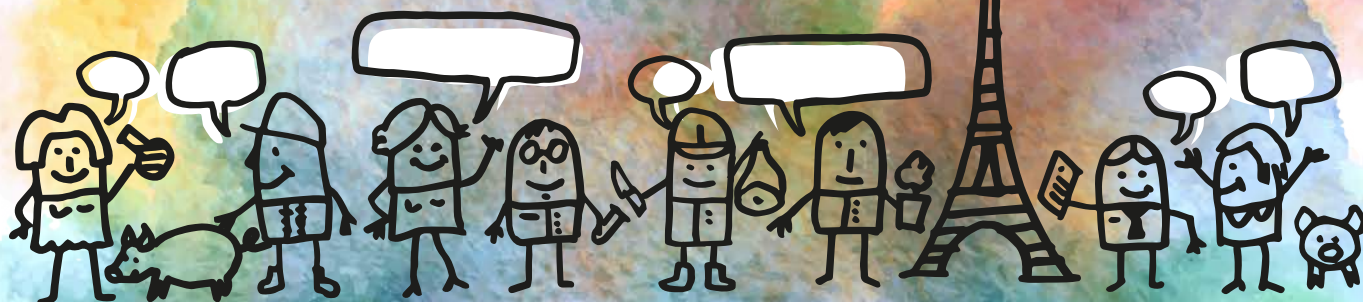


èmes **Journées**  
**54** **de la Recherche**  
**Porcine**



1 et 2 février 2022

**ifip** —  
Institut du porc

**INRAE**

# 54<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Porcine

## COMITÉ D'ORGANISATION

**Jean-Pierre BIDANEL,**

Directeur de Recherche - INRAE

**Ludovic BROSSARD,**

Ingénieur de Recherche à l'UMR PEGASE - INRAE

**Jean-Yves DOURMAD,**

Ingénieur de Recherche à l'UMR PEGASE - INRAE

**Isabelle LOUVEAU,**

Responsable d'équipe «Physiologie de la croissance et qualité des produits» à l'UMR PEGASE - INRAE

**Isabelle OSWALD,**

Directrice de recherche, Directrice de l'UMR TOXALIM - INRAE

**Nathalie QUINIOU,**

Docteur Ingénieure au Pôle Techniques d'élevage - IFIP

**David RENAUDEAU,**

Directeur de Recherche à l'UMR PEGASE - INRAE

**Christine ROGUET,**

Cheffe de projet au Pôle Economie - IFIP

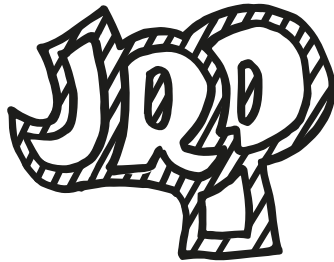
**Anne HEMONIC,**

Docteur vétérinaire, Directrice du Pôle Techniques d'Élevage - IFIP

*Ont participé à la réalisation de cet ouvrage :  
Thierry Faure et Claude Montariol*

# Sommaire général

Comité de soutien	V
Organismes de recherche et entreprises auteurs	XVI
Sommaire des communications	XXI



*Les auteurs désirant présenter les résultats de leurs travaux aux prochaines Journées de la Recherche Porcine sont invités à consulter le site internet des JRP :*

[www.journees-recherche-porcine.com](http://www.journees-recherche-porcine.com)



[www.journees-recherche-porcine.com](http://www.journees-recherche-porcine.com)

JRP FR EN RÉSUMÉS ET TEXTES AUTEURS SPONSORS

# 54<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Porcine

congrès 100% hybride

1<sup>er</sup> et 2 février 2022  
à Paris

Devenez auteur Devenez sponsor

Les Journées de la Recherche Porcine sont co-organisées par l'IFIP et l'INRAE.

Voir le comité d'organisation Comment se rendre aux JRP



[https://twitter.com/jrp\\_porc](https://twitter.com/jrp_porc)



<https://www.linkedin.com/in/recherche porcine>

**une adresse internet unique pour :**

- avoir le programme des Journées de la Recherche Porcine
- s'inscrire au congrès
- connaître les membres du Comité de Soutien et accéder directement à leur site internet
- consulter les textes complets des années antérieures depuis 1969 et les résumés de la dernière édition
- disposer des consignes nécessaires aux auteurs

Contact : [jrp@ifip.asso.fr](mailto:jrp@ifip.asso.fr)



# Comité de soutien des 54<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Porcine

Les organisateurs des Journées de la Recherche Porcine remercient les entreprises qui ont accordé leur aide à la réalisation de ces 54<sup>èmes</sup> Journées.



## AB VISTA

3 rue Woodstock Court, Marlborough Business Park - MARLBOROUGH SN8 4AN  
Wiltshire (Royaume Uni)  
Tél : +44.1672.517.650  
E-mail : [emea@abvista.com](mailto:emea@abvista.com) - Site Internet : [www.abvista.com](http://www.abvista.com)

AB VISTA, spécialiste de la production d'ingrédients alimentaires, dont le siège est au Royaume-Uni, est une compagnie comptant plus de 140 employés basés dans le monde entier.

Créé en 2004, AB VISTA est la division des ingrédients alimentaires de AB Agri, la branche agriculture de Associated British Foods (ABF) Ltd. Les développements récents et continus de nos produits ont contribué à la position d'AB VISTA comme leader technique de l'industrie des ingrédients alimentaires. Econase XT augmente les standards de qualité de l'industrie de l'alimentation grâce à l'amélioration des performances, une souplesse et une stabilité thermique intrinsèque incomparable. Quantum Blue, la nouvelle phytase révolutionnaire présente sur le marché européen. L'effet anti-nutritionnel des phytates coûte plus de 5 millions d'euros chaque année. Optimisé pour la destruction des phytates, Quantum Blue est la solution. Pour plus d'informations sur les produits et services qu'offre AB VISTA : visitez notre site [www.abvista.com](http://www.abvista.com)



## ADISSEO France S.A.S.

Immeuble Antony Parc 2 - 10, place du Général de Gaulle - 92160 ANTONY  
Tél. : + 33 (0)1.46.74.70.00

Email : [communication.corporate@adisseo.com](mailto:communication.corporate@adisseo.com) – Site internet : <https://www.adisseo.com>

ADISSEO est l'un des leaders mondiaux dans le domaine des additifs pour l'alimentation animale. Le groupe s'appuie sur ses 10 centres de recherche et de technologie, et ses sites de production basés en Europe, aux Etats-Unis, en Chine et en Thaïlande pour concevoir, produire et commercialiser des solutions nutritionnelles pour une alimentation animale durable. Il emploie plus de 2 345 collaborateurs et sert, grâce à son réseau mondial de distribution, plus de 3 900 clients dans une centaine de pays. En 2020, ADISSEO a réalisé un chiffre d'affaires de plus de 1.51 milliard d'Euros. Additifs nutritionnels pour la production porcine. Les solutions ADISSEO sont conçues pour accompagner les producteurs dans toutes les étapes de production. Les additifs alimentaires que nous proposons jouent un rôle pivot dans l'optimisation des performances et de la rentabilité :

- Digestibilité des aliments : enzymes
- Nutriments essentiels : vitamines, méthionine
- Intégrité de l'aliment : conservateurs alimentaires, additifs fonctionnels
- Vitalité animale : sélénium organique, arômes, butyrate, désactivateurs de mycotoxines



## AGROSUP DIJON

26, bd Docteur Petitjean – BP 87999 – 21079 DIJON Cedex  
Tél : +33 (0)3.80.77.25/25 – Site internet : <https://agrosupdijon.fr>

« L'agroécologie et l'alimentation durable au service des territoires »

AGROSUP DIJON est une école d'ingénieur (formant des civils et des fonctionnaires), et un institut d'appui à l'enseignement technique agricole et à l'enseignement supérieur. C'est également un pôle de référence en sciences et techniques agronomiques, de l'alimentation et de l'environnement, ainsi qu'en sciences de l'éducation et de la formation. AGROSUP DIJON conduit, sur ces domaines, des missions de formation initiale et continue (Ingénieur, Master et Mastères Spécialisés), de recherche et d'expertise, de transfert et de valorisation à l'échelle locale, nationale, européenne et internationale. Dans le cadre de ses 5 unités mixtes de recherche (UMR) et de son unité propre, en partenariat étroit avec l'université de Bourgogne et les plus grands organismes de recherche comme l'INRAE, l'INSERM ou le CNRS, nos 96 enseignants-chercheurs mènent des travaux de recherches fondamentales et appliquées autour de l'agroécologie et de l'alimentation durable au service des territoires.



## ALTILIS Nutrition Animale

23, avenue Henri Brulle - 33500 LIBOURNE  
Tél. : + 33 (0)5.57.55.40.13

E-mail : [altilisna@altilis.fr](mailto:altilisna@altilis.fr) - Site Internet : [www.altilis.fr](http://www.altilis.fr)

Spécialiste des ingrédients et additifs pour toutes les espèces animales, ALTILIS Nutrition Animale offre des solutions innovantes et performantes, en France comme à l'international. Notre expérience, notre souplesse et notre réactivité nous permettent de proposer à nos clients, depuis 15 ans, un partenariat durable et basé sur la confiance. Nous distribuons particulièrement :

- AXTRA PHY, phytase bactérienne possédant une activité élevée à bas pH et rapide pour libérer le phosphore ainsi que surmonter les effets anti-nutritionnels des phytates. A dose élevée, elle permet de bénéficier d'effets extra-phosphoriques comme l'amélioration de la digestibilité de l'énergie et des acides aminés.
- AXTRA XB, complexe xyla-nase/bêta-glucanase autorisé en porcelets, porcs charcutiers et truies. Chez ces dernières, il optimise la digestibilité de la ration et limite leur perte de poids pendant la lactation, tout en impactant positivement le poids des porcelets.
- ID PHYT CAPCIN, extrait naturel de capsicum, atténuant les phénomènes inflammatoires pendant les phases de stress en élevage. Utilisé de la fin de gestation des truies jusqu'au sevrage, il améliore significativement les performances des porcelets et le bien-être des truies.
- PEPEIVA, protéines hydrolysées de plasma porcin, spécialement élaborées pour la nutrition des porcelets, quand le plasma ne peut être utilisé. Pour plus d'informations sur nos solutions dédiées à la nutrition animale, consultez notre site [www.altilis.fr](http://www.altilis.fr).

ALTILIS élargit son offre de solutions depuis 2020 en proposant les produits de spécialité feed de Roquette.



## ANIMINE

10, rue Léon Rey Grange - 74960 ANNECY

Tél : + 33 (0)4.50.22.18.55

E-mail : [info@animine.eu](mailto:info@animine.eu) - Site Internet : [www.animine.eu](http://www.animine.eu)

ANIMINE est une entreprise française indépendante, créée en 2010, et dont le siège est basé à Annecy en Haute-Savoie. ANIMINE est un fournisseur d'oligo-éléments à haute valeur ajoutée pour l'alimentation des animaux. ANIMINE réalise 90% de son activité à l'export en Europe, Asie et Amériques. L'entreprise certifiée FAMI QS et ISO 14001 propose une gamme de minéraux de précision innovants et uniques sans aucune comparaison possible sur le marché des additifs. Les produits sont disponibles au travers du distributeur français exclusif Feedéal.



## ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail)

Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort - 41 rue de Beauce-main - 22440 PLOUFRAGAN

Tél. : +33 (0)2.96.01.62.22

Site internet : <https://www.anses.fr/fr/content/laboratoire-de-ploufragan-plouzane-niort>

- Recherche finalisée et appui technique pour le Ministère de l'Agriculture, le Ministère de la Santé, le Secrétariat à la consommation et la filière porcine.
- Études et utilisation de techniques de pointe en pathologie porcine : bactériologie, biologie moléculaire, virologie, épidémiologie, ...
- Hygiène et Qualité des produits porcins.
- Productions de porcs de haut niveau sanitaire (EOPS).
- Laboratoire national et international de référence (OIE - FAO), maladie d'Aujeszky, Pestes Porcines...



## AXIOM

La Garenne - 37310 AZAY SUR INDRE

Tél : + 33 (0)2.47.59.95.21

E-mail : [contact@axiom-genetics.com](mailto:contact@axiom-genetics.com) - Site Internet : [www.axiom-genetics.com](http://www.axiom-genetics.com)

AXIOM est le leader français de la génétique porcine en France et regroupe les coopératives Agrial, Cirhyo, Eureden, Evel'Up, Terrena et Ucagenof, ainsi que Sollio Groupe Coopératif du Québec.

La population en sélection s'élève à 6500 truies en France avec 6 lignées : Large White, Landrace, Tai Zumu, Piétrain, Piétrain NN et Duroc. Leader de l'innovation, la sélection AXIOM évolue et s'adapte continuellement et durablement aux attentes des éleveurs, de la filière et aux attentes sociétales grandissantes. Les cochettes et verrats AXIOM apportent performances et confort dans l'élevage en limitant les interventions et en s'adaptant au bien-être des animaux et de l'éleveur. Choisir parmi les différentes combinaisons AXIOM (2 cochettes et 6 verrats), c'est s'assurer la rentabilité de toute une filière.



## BIOCHEM GmbH

8, rue Jean Rouxel - ZAC de la Pentecôte - 44700 ORVAULT

Tél. : + 33 (0)2.28.01.77.38 - Site Internet : [www.biochem.net](http://www.biochem.net)

Depuis 30 ans, BIOCHEM distribue des additifs innovants et développe des associations d'additifs, pour améliorer la rentabilité de l'élevage porcin. La gamme, large et complète, comporte de nombreux additifs novateurs : - BioPlus YC, probiotique à 2 souches de *Bacillus subtilis* & *licheniformis*, contribue à sécuriser la microflore intestinale en optimisant l'utilisation nutritionnelle de l'aliment. Autorisé en truie, porcelet et porc charcutier ; - TechnoYeast, levure hydrolysée à haute valeur biologique, riche en agent d'appétence, en mannanes et  $\beta$ -glucans, à destination des jeunes animaux - Lactiferm, souche d'*Enterococcus Faecium*, actif dès le jeune âge pour stabiliser la flore bénéfique ; - TechnoMos, paroi de *Saccharomyces cerevisiae*, à teneur garantie en mannanes et en  $\beta$ -glucans, facile d'utilisation en usine ; - E.C.O.Trace (chélates de glycine), mieux assimilés et permettant de réduire les rejets en oligo-éléments ; - Hepatron, pourvoyeur de radicaux méthyle et permettant une épargne nutritionnelle. Notre savoir-faire s'étend au développement de nutritionnels ciblés, sous forme liquide, poudre (classique ou hydrosoluble) ou pâte, répondant à toutes les problématiques rencontrées en élevage. Une gamme large, adaptée à vos contraintes est à votre disposition, sur demande.



## BIODEVAS LABORATOIRES

21, rue des Chardons - ZA de l'épine - 72460 SAVIGNE L'ÉVEQUE

Tél : +33 (0)2.43.27.72.72

E-mail : [contact@biodevas.fr](mailto:contact@biodevas.fr) - Site internet : <https://biodevas.fr>

Avec un savoir-faire unique dans l'extraction de principes actifs 100% naturels et l'association synergique (aucune molécule identique de nature ou de synthèse), les Laboratoires BIODEVAS proposent à la filière porcine une gamme innovante de solutions phyto-géniques régulant les mécanismes biochimiques endocellulaires. Grâce à sa collaboration avec des experts reconnus, des essais sur le terrain, en station expérimentale et in vitro, BIODEVAS accompagne ses partenaires aussi bien dans la nutrition animale pour optimiser les performances (antioxydants, gestion des mycotoxines/irrégularité de la qualité des matières premières, etc.) que dans les stratégies globales de réduction de l'utilisation de produits chimiques (substitut de l'oxyde de zinc, système respiratoire, etc.). BIODEVAS est présent au niveau international et propose des produits efficaces, rentables et fondés sur la science ou des noyaux phyto-géniques «à la carte». BIODEVAS est certifiée ISO 22000 et GMP+.



### GROUPE CCPA

Z.A. du Bois de Teillay – Quartier du Haut-Bois - 35150 JANZÉ

Tél. : + 33 (0)2.99.47.53.00

E-mail : [contact@ccpa.com](mailto:contact@ccpa.com) - Site Internet : [www.groupe-ccpa.com](http://www.groupe-ccpa.com)

Depuis plus de 50 ans, le Groupe CCPA s'est imposé comme un acteur référent, spécialiste de la nutrition et de la santé animales, en France et à l'International. Le Groupe CCPA, dont le siège social est situé en Bretagne, affiche aujourd'hui un chiffre d'affaires de plus de 150 M€ avec une part de marché en France toujours en progression. Indépendant, le Groupe CCPA concentre ses compétences clés dans le domaine des filières animales, au service de l'efficacité de ses partenaires - professionnels de la nutrition, de la santé et de l'élevage - et de leurs clients éleveurs. Son expertise technique, sa capacité à innover et son esprit de service sont au cœur de son engagement : proposer à ses clients des solutions efficaces, testées et validées, depuis la R&D, jusqu'à la station expérimentale et les élevages. Son offre de produits et services en porcs est large et compétitive : prémélanges d'additifs, aliments porcelets, spécialités nutritionnelles, produits d'hygiène, analyses, formulation, appui de spécialistes espèces, appui technologique... Particulièrement impliqué dans la Recherche et le Développement, le Groupe CCPA dispose d'un des plus grands centres européens de recherche appliquée en monogastriques, Euronutrition SAS. Il travaille par ailleurs, avec de nombreux partenaires de recherche en France et à l'international et s'est doté d'un réseau international de fermes de référence. Un laboratoire spécialisé en nutrition et santé animale de 1400 m<sup>2</sup> complète ce dispositif de recherche. L'entreprise est certifiée GMP, QS et Oqualim (certification Guide de Bonnes Pratiques, pour son activité de fabrication de prémélanges d'additifs) et dispose d'une licence en Agriculture Biologique.



### CEVA Santé Animale

10 avenue de la Ballastière - 33500 LIBOURNE

Tél. : + 33 (0)5.57.55.40.40 / + 33 (0)2.43.49.51.51

Site internet : [www.ceva-santeanimale.fr](http://www.ceva-santeanimale.fr)

Initialement filiale de Sanofi, CEVA Santé Animale est un laboratoire vétérinaire français créé en 1999. Présidé par le docteur vétérinaire Marc Prikazsky, CEVA est spécialisé dans la recherche, le développement, la production et la commercialisation de produits pharmaceutiques et de vaccins pour les animaux de compagnie et d'élevage (ruminants, porcs, volailles). Présent dans 110 pays, CEVA emploie près de 5 000 personnes dans le monde dont près d'un tiers sur ses sites français basés dans le Sud-Ouest et le Grand-Ouest: Libourne (33) ; Laval (53) CEVA Sogeval Campus ; Landivisiau/ Plouedem (29) Ecet-IO ; Loudéac (22) et Angers (49) CEVA Desvae Campus et CEVA Biovac.



### CHAMBRES D'AGRICULTURE DE BRETAGNE – Equipe porc

Technopole Atalante Champeaux - CS 74223 - 35042 RENNES cedex

Tél. : +33 (0)2. 23. 48. 26. 70

Site Internet : [www.synagri.fr](http://www.synagri.fr) - E-mail : [porc@bretagne.chambagri.fr](mailto:porc@bretagne.chambagri.fr)

Les Chambres d'Agriculture de Bretagne réunissent au sein d'une même équipe régionale, déployée sur l'ensemble du territoire breton, l'expertise recherche et développement de vingt collaborateurs et le dispositif expérimental de la station de Crécom (22). L'ensemble de ces moyens humains et matériels sont au service de la filière :

- Expérimentations, études, enquêtes, productions de références technico-économiques, outils d'aide à la décision.
- Expertise et formation à destination des éleveurs et partenaires de la filière.
- Publication des résultats dans les revues Réussir Tech Porc et sur [www.synagri.fr](http://www.synagri.fr)



### CHOICE GENETICS France

Rue Maryse Bastié - Bât. AK3 Campus de Ker Lann - CS 77207 - 37172 BRUZ

Tél. : + 33 (0)2.99.92.07.20

Site internet : <https://choice-genetics.com> - E-mail : [info.fr@choice-genetics.com](mailto:info.fr@choice-genetics.com)

CHOICE GENETICS est la filiale porcine du Groupe Grimaud, groupe français, numéro 2 mondial en sélection multi-espèces. Fort de 100 ans d'expérience cumulée en génétique porcine, nous nous appuyons sur des innovations permettant de mesurer des caractères phénotypiques uniques et d'augmenter la précision de la valeur génétique estimée, proposant ainsi des reproducteurs de qualité supérieure. Notre innovation est mondiale via notre R&D basée en France et aux USA, et avec des partenaires dans 37 pays. Les performances de nos produits sont en adéquation avec les attentes locales de notre clientèle, afin que les records d'aujourd'hui soient les performances standards de demain.



### DENKAVIT

ZI de Méron - CS 82003 - 49260 MONTREUIL BELLAY

Tél. : +33 (0)2.41.83.10.83 - E-mail : [denkavit@denkavit.fr](mailto:denkavit@denkavit.fr) - Site internet : <https://denkavit.com>

DENKAVIT, spécialiste des jeunes animaux est partenaire de premier plan pour les éleveurs et l'industrie de l'alimentation animale. L'entreprise a développé une grande expertise dans la production d'aliments pour jeunes porcelets (laits, préstarter, noyaux, noyaux laitiers). L'entreprise a également une activité de mise en marché d'ingrédients (matières premières et additifs) et est distributeur exclusif de Progres (Suomen Rehu), d'Opticell (Agromed), Dosto (DostoFarm)...





### DIETAXION SAS

283, rue Ampère - ZAC de la Noë Bachelon - 44430 LE LOROUX BOTTEREAU

Tél. : + 33 (0)2.40.40.13.14

Site Internet : <https://www.dietaxion.com> - E-mail : [communication@dietaxion.com](mailto:communication@dietaxion.com)

*Mise en marché des ingrédients à forte valeur agroécologique destinés aux marchés polycultures-élevages. Concevoir l'éco-performance des productions agricoles avec des professionnels impliqués dans la transformation de ces biens. La compétence de ces équipes favorise la diffusion des expertises via les solutions de clients/partenaires ou des applications techniques en nutrition et santé animale et végétale. PidoLin PCa : biodisponibilité du calcium pour stimuler l'absorption du calcium et le métabolisme osseux. Mise-bas plus rapides et meilleur début de lactation. Réduction des problèmes de boiteries. Gain de poids des porcelets au sevrage. BUTYLin 54 : Stimulation des productions enzymatiques endogènes. Amélioration de la digestibilité. Accélération de la maturité digestive des jeunes animaux., sécurise les phases de transition. -Gamme Cobiotech bactéries positives, pour le biocontrôle apportant meilleures conditions sanitaires pour des animaux en bonne santé. Hygiène des sols et des litières pour le bien-être des animaux. Réduction de la fréquence des problèmes.*



### DSM Nutritional Products France

Tour Nova - 71, boulevard National - 92250 LA GARENNE-COLOMBES

Tél. : + 33 (0)1.46.43.59.28 - Site Internet : [www.dsm.com](http://www.dsm.com)

*DSM – Bright Science. Brighter Living.*

*Royal DSM est une entreprise de sciences « purpose led » internationale, active dans les domaines de la nutrition, la santé et du mode de vie écoresponsable. Afin d'améliorer la qualité de vie de tous, DSM offre des solutions novatrices pour la nutrition humaine et animale, les cosmétiques et les arômes, les dispositifs médicaux, les produits et applications écologiques, ainsi que la nouvelle mobilité et la connectivité. Tout ceci en créant une valeur économique, environnementale et sociétale pour l'ensemble de ses parties*

*prenantes – clients, employés, actionnaires, et la société en général ...*

*Retrouvez-nous sur [www.dsm.com](http://www.dsm.com).*



### Ecole Supérieure d'Agricultures d'Angers (ESA)

55, rue Rabelais – BP 30748 – 49007 ANGERS cedex 01

Téléphone : + 33(0)2.41. 23.55. 55 Site internet : [www.groupe-esa.com](http://www.groupe-esa.com)

*Implantée dans l'Ouest, 1<sup>ère</sup> région agricole et agroalimentaire de France, l'ESA est un pôle d'enseignement supérieur et de recherche. Autour de l'école d'ingénieur, l'ESA a développé une palette d'une cinquantaine de formations, du niveau Bac à Bac+ 5, réparties dans 7 domaines : productions végétales, productions animales, agroalimentaire, viticulture & œnologie, horticulture et paysage, environnement, commerce et marketing. Ces formations sont accessibles selon différentes formules : statut étudiant, alternance, formation continue et enseignement à distance. L'ESA s'appuie sur une recherche finalisée dédiée à la conception de systèmes agricoles et alimentaires durables. Elle développe une approche pluridisciplinaire : agronomie, zootechnie, agroalimentaire, écologie, sociologie et économie, afin de concevoir et d'accompagner les innovations agricoles et alimentaires. Toutes les dimensions de l'agriculture : production, transformation, consommation, économie et environnement, sont appréhendées pour décrypter la complexité du monde. La politique d'alliance scientifique avec l'INRAE a abouti à la création d'unités de recherche sous contrats.*



### Elanco France

Crisco Uno, Bâtiment C, 3-5 Avenue de la Cristallerie, CS 80022 – 92317 Sèvres cedex

Site internet : [www.elanco.fr](http://www.elanco.fr)

*ELANCO Animal Health Incorporated (NYSE : ELAN) est un leader mondial de la santé animale qui se consacre à l'innovation et à la fourniture de produits et de services pour prévenir et traiter les maladies des animaux d'élevage et des animaux de compagnie, en créant de la valeur pour les éleveurs, les propriétaires d'animaux de compagnie, les vétérinaires, les parties prenantes et la société dans son ensemble. Forts de près de 70 ans d'expérience dans le domaine de la santé animale, nous nous engageons à aider nos clients à améliorer la santé des animaux dont ils ont la charge, tout en ayant un impact significatif sur nos communautés locales et mondiales. Chez ELANCO, nous sommes animés par notre vision « l'alimentation et les animaux de compagnie au service d'une vie meilleure » et par nos engagements en matière de développement durable - ELANCO Healthy Purpose - ceci afin d'améliorer la santé des animaux, des hommes et de la planète*



## EVONIK Opérations GmbH

2 rue au Duc - 35000 RENNES

Tél. : + 33(0)2.99.86.27.41 - E-mail : [animal-nutrition@evonik.com](mailto:animal-nutrition@evonik.com)

Site Internet : [www.evonik.com/animal-nutrition](http://www.evonik.com/animal-nutrition)

EVONIK Opérations GmbH, filiale d'EVONIK INDUSTRIES AG, leader de la chimie de spécialités, produit et commercialise les cinq acides aminés essentiels principaux utilisés en nutrition animale : MetAmino (DL-Méthionine), Biolys (L-Lysine Sulfate), ThreAmino (L-Thréonine), TrypAmino (L-Tryptophane) et ValAmino (L-Valine). Leur utilisation précise dans les formules au plus près des besoins des animaux, permet de répondre aux contraintes nutritionnelles et environnementales. EVONIK s'investit également dans le domaine de la santé intestinale et propose avec sa gamme de pro-biotiques, des solutions alternatives aux antibiotiques et qui contribuent au bien-être des animaux d'élevage : Fecinor, pour le porcelet sevré et Ecobiol pour le poulet de chair. L'offre produits est complétée par des services techniques, analytiques & technologiques : Aminonir pour l'analyse des matières premières et des aliments par NIR ; AminoSys pour un dosage précis des acides aminés en usine et AminoBatch pour contrôler l'homogénéité du mélange lors du processus de fabrication de l'aliment. EVONIK apporte également son expertise dans le domaine du digital et de l'élevage de précision. Le logiciel de gestion des données Porphyrio permet de contrôler, d'analyser et d'améliorer en ligne et en temps réel, l'intégralité des processus de production de viande de volaille et d'œufs. Le service Optifarm permet quant à lui une surveillance des bâtiments d'élevage 24 heures/24 et 7 jours/7, l'objectif étant de pouvoir détecter rapidement de potentiels dysfonctionnements et d'identifier les points d'amélioration en lien avec les performances ou le bien-être animal. Avec des produits et des services techniques toujours plus innovants et performants, la division Animal Nutrition d'EVONIK Opérations GmbH, reste au plus près des attentes de ses clients et contribue ainsi à la rentabilité économique des fabricants d'aliment et de leurs éleveurs, tout en préservant la santé des animaux et en diminuant l'impact des productions animales sur l'environnement. EVONIK – Leading Beyond Chemistry.



GENES DIFFUSION  
Nous innovons, vous progressez.

## GÈNES DIFFUSION

3595, route de Tournai – CS 70023 - 59501 DOUAI Cedex

Tél. : + 33 (0)3.27.99.29.29 - E-mail : [gd@genesdiffusion.com](mailto:gd@genesdiffusion.com)

Site Internet : [www.genesdiffusion.com](http://www.genesdiffusion.com)

Hautes technologies, professionnalisme, qualité, rigueur, sanitaire, sont les maîtres mots d'un savoir-faire en insémination animale et en production de semence porcine, acquis et développé depuis près de 50 ans par les centres de production GÈNES DIFFUSION, CIA du Perche et Imevia. Avec l'appui de sa filiale américaine GenePro, spécialisée dans l'expertise de la production de semence et la fourniture de consommables, le groupe Gènes Diffusion se positionne comme un acteur majeur de la reproduction porcine au niveau mondial, avec 4 innovations majeures pour la filière :

Safemate : système de collecte automatique des verrats

Elixir : milieu biologique de conservation de la semence

Selfix : l'auto-insémination rapide, simple et sécurisée

Armada : la semence porcine haute performance



## HYPOR FRANCE

1, rue Jean Rostand - Zoopôle BP23 - 22440 PLOUFRAGAN

Tél. : +33 (0)2.96.77.46.34 - Site Internet : [www.hypor.com](http://www.hypor.com)

HYPOR est une société du Groupe Hendrix Genetics, leader mondial de la sélection animale multi-espèces.

Premier schéma génétique porcin à avoir implanté la sélection génomique, HYPOR fournit une génétique performante, bénéficiant de technologies innovantes et qui prend en compte aussi bien les attentes des éleveurs que sociétales. Plus que jamais, HYPOR apporte des solutions génétiques novatrices et durables, et participe ainsi à la création de valeurs tout au long de la chaîne de la production.



## IDENA

Parc d'Activités du Moulin - 21, rue du Moulin - B.P. 90030 - 44880 SAUTRON

Tél. : + 33 (0)2.40.63.60.00

E-mail : [contact@idena.fr](mailto:contact@idena.fr) - Site Internet : [www.idena.fr](http://www.idena.fr)

IDENA - Firme Services Nutrition Animale, est constituée d'une équipe indépendante de consultants de terrain, expérimentée, disponible, travaillant en synergie avec des partenaires réellement complémentaires.

IDENA apporte des réponses concrètes et adaptées, propose des solutions innovantes et performantes à tous les fabricants d'aliments composés : savoir-faire, ingénierie, audit productions animales - assistance technique - fournitures de bases (0,2 % ; 0,5 % ; 1 % ; Adjuvants ...) via la société « IDENA production » bénéficiant d'un process innovant (process IAS) garantissant traçabilité et sécurité alimentaire optimum.

IDENA intervient en UE, Amérique du Nord et Sud, Moyen Orient et Afrique du Nord.



## JEFO EUROPE

2, rue Claude Chappe - 44481 CARQUEFOU cedex  
Tél. : + 33 (0)2.40.52.64.64 - Fax : + 33 (0)2.40.52.79.79  
E-mail : [jefoeurope@jefo.ca](mailto:jefoeurope@jefo.ca) - Site Internet : [www.jefo.com](http://www.jefo.com)

JEFO conçoit et met en marché une gamme complète de produits exclusifs et innovants pour le porc :

- Produits protégés adaptés au temps de transit du porc
- Extrait de fermentation
- Xylanase : Belfeed,
- Prébiotique : Profeed,
- Gamme de sécurité des aliments : Fongismart, Jefe SP,
- Antioxydant naturel : Multinat Effect,
- Produits de commodité.



## LALLEMAND Nutrition Animale

19, rue des Briquetiers - 31702 BLAGNAC  
Tél. : + 33 (0)5.62.74.55.55 - Fax : + 33 (0)5.62.74.55.00  
Site Internet : [www.lallemandanimalnutrition.com](http://www.lallemandanimalnutrition.com)

LALLEMAND Inc., société familiale canadienne, est spécialisée dans les levures, les bactéries et les dérivés de levures, destinés aux marchés de la nutrition animale, de la boulangerie, de l'œnologie et de l'industrie pharmaceutique.

LALLEMAND Animal Nutrition est spécialisé dans le développement, la production et la commercialisation de solutions naturelles, profitables et différenciées en santé et nutrition animales.

Ses principaux produits pour le secteur porcin comprennent : Bactocell : bactérie lactique probiotique particulièrement adaptée à l'utilisation en alimentation liquide des porcs à l'engrais. Levucell SB : levure vivante spécifique (S.c. boulardii I-1079) autorisée en truies gestantes et allaitantes ainsi que sur porcelets. Alkosel : levure riche en Sélénium organique. Agrimos : pari de levure spécifique riche en MOS. Melofeed : source originale de SOD végétale.



## LUCTA SA - Flavours, Fragrances & Feed Additives

Carrer de Can Parellada, 28 - 08170 MONTORNES DEL VALLES - BARCELONA (ESPAGNE)  
Tél. : + 34 (0)9.38.45.88.88  
E-mail : [feedadd.sp@lucta.com](mailto:feedadd.sp@lucta.com) - Site Internet : [www.lucta.com](http://www.lucta.com)

- ISO9001, ISO 14001, FAMIQ's.

LUCTA, leader mondial de l'arôme pour alimentation animale, conçoit et fabrique toute une gamme d'additifs sensoriels avec des marques renommées : - Luctarom, Luctarom Advance, Luctarom Convert, Luctarom Sweet SFS, EarlyStart, ProEfficient, BitterOff - Luctamold, - Luctanox, - Luctacid, - Luctamax, - Luctalife, - Luctactive, En collaboration avec de nombreux partenaires internationaux et grâce à sa propre station de recherche, LUCTA développe des additifs et apporte son expertise en matière de palatabilité des aliments.



## METEX NØØVISTAGO

32 rue Guersant-75017 PARIS  
Tél. : + 33 (0)1.44.40.12.12  
Site internet : <https://fr.metex-noovistago.com/>

METEX NØØVISTAGO Tailored for Animals, Inspired by Nature. METEX NØØVISTAGO présent sur les marchés de la nutrition animale depuis 1974, est un acteur majeur de la bioindustrie de fermentation avec son usine d'Amiens et offre une gamme complète d'acides aminés (L-Lysine, L-Threonine, L-Tryptophane, L-Valine) ainsi que des solutions sur mesure à base de nouveaux acides aminés sous la marque NØØV-CSTM. Au plus proche de ses clients, METEX NØØVISTAGO vous propose son expertise et son savoir-faire pour accompagner les changements nutritionnels nécessaires aux nouveaux enjeux du développement durable des filières animales : réduction de la dépendance protéique, meilleure utilisation des ressources, réduction des impacts climatiques et environnementaux des filières animales, réduction de l'usage des antibiotiques et amélioration du bien-être animal.

Découvrez METEX NØØVISTAGO sur notre nouveau site web [www.metex-noovistago.com](http://www.metex-noovistago.com)



## M.G.2 MIX

Zone de la Basse Haye - 35220 CHATEAUBOURG  
Tél. : + 33 (0)2.99.00.70.34  
E-mail : [mg2mix@mg2mix.fr](mailto:mg2mix@mg2mix.fr) - Site Internet : [www.mg2mix.fr](http://www.mg2mix.fr)

Firme service indépendante en nutrition animale, MG2MIX vous écoute et répond à vos attentes :

- un process contrôlé et certifié pour la fabrication de prémélanges d'additifs, aliments minéraux et suppléments nutritionnels
- la connaissance des métiers et des filières des productions animales
- une équipe de nutritionnistes expérimentés, en relation directe avec le terrain
- une veille technologique et scientifique adaptée pour des applications directes en élevage
- des produits innovants : prémix nutritionnels et fonctionnels





## MIXSCIENCE

2-4 Avenue de Ker Lann - CS 17228 - 35172 BRUZ Cedex

Tel : +33 (0)2.23.46.90.01

E-mail : [contact@mixscience.eu](mailto:contact@mixscience.eu) - Site internet : [www.mixscience.eu](http://www.mixscience.eu)

MiXscience, société innovante d'expertise en nutrition et productions animales, regroupe 190 collaborateurs et commercialise 98 500 T de prémix et spécialités pour un équivalent de 8,8 millions TEA. Par la production et la vente de prémix (gamme Performix), de solutions nutritionnelles et minérales (gammes porcelet Swity et Pixy), de prémélanges d'additifs et d'actifs nutritionnels (distribution d'enzymes, d'acides organiques, de vitamines, et de lysine poudre et liquide), MiXscience accompagne les filières de productions animales françaises et internationales. En s'appuyant sur ses capacités industrielles européennes (certifiées GMP et FAMI QS), son laboratoire interne et sur le MiXscience Research Center connecté à un réseau d'élevages sur le terrain, MiXscience offre des prestations de conseils et services : formulation, expertise nutritionnelle, appui en élevage, conception de programmes alimentaires, démédecation, analyse laboratoire, diagnostics industriels...



**MSD**

Santé Animale

## MSD Santé Animale

7 rue Olivier de Serres - CS 17144 - 49071 BEAUCOUZÉ Cedex

Tél. : + 33 (0)2.41.22.83.83

Site Internet : [www.msd-sante-animale.fr](http://www.msd-sante-animale.fr)

MSD Santé Animale est un laboratoire pharmaceutique mondiale qui développe, fabrique et commercialise une large gamme de produits et services dédiés à la santé animale.

Nous proposons à nos clients une gamme innovante au service de la santé et du bien-être animal, et de l'amélioration des conditions de travail en élevage. Cette gamme comprend des vaccins couvrant une large palette de problématiques de santé en élevage mais aussi des outils d'administration intradermique, l'Idal, présentant de nombreux avantages et dont une nouvelle version est actuellement disponible.

Par notre soutien technique et nos services, nous accompagnons et aidons les vétérinaires à créer de la valeur tout le long de la chaîne de production, non seulement par la protection des cheptels mais aussi par l'optimisation des performances et du bien-être animal.



## NOVUS Europe NV

Leuvensesteenweg 643 - Box 15 - B-1930 ZAVENTEM (BELGIQUE)

Tél. : +32 (0)2.778.14.11 – E-mail : [info.europe@novusint.com](mailto:info.europe@novusint.com)

Site internet : <https://www.novusint.com/en-GB/>

NOVUS International, Inc. est leader dans le développement scientifique, la fabrication et la commercialisation de solutions nutritionnelles à destination de l'alimentation animale. Présent dans 60 pays avec ses centres de recherches, ses usines et ses équipes locales, NOVUS a mis en marché depuis 1991 de nombreux produits et développé des familles de produit incluant la Méthionine (Alimet & MHA), les oligo-éléments chélatés (Mintrex), les enzymes (Cibenza), et les eubiotiques (Provenia et Next Enhance). La gamme NOVUS dans son ensemble offre une approche globale de solutions et de services pour des productions animales performantes et durables.



**Nucléus**

## NUCLÉUS

7, rue des Orchidées - Le Bourg Nouveau - 35650 LE RHEU

Tél. : + 33 (0)2.99.14.64.81

E-mail : [contact@nucleus-sa.com](mailto:contact@nucleus-sa.com) - Site Internet : [www.nucleus-sa.com](http://www.nucleus-sa.com)

NUCLÉUS, leader dans la sélection porcine en France, gère la plus importante population de truies GGP :

- lignées maternelles : Large-White, Landrace

- lignées paternelles : Large-White, Piétrain et Duroc.

Innovation, Rigueur et Haut niveau sanitaire : "NUCLEUS, c'est l'alliance de la performance et de la qualité".



## ORFFA France SA

29, rue de Bassano - 75008 PARIS

Tél. : + 33(0)1.47.20.30.96

E-mail : [info@orffa.com](mailto:info@orffa.com) - Site Internet : [www.orffa.com](http://www.orffa.com)

Le spécialiste des additifs pour la nutrition animale

ORFFA développe, personnalise, source et propose des additifs alimentaires et des solutions nutritionnelles destinés au marché de la nutrition animale. Notre métier : concevoir, sélectionner et fournir des additifs. En tant qu'expert en additifs pour la nutrition animale, nous disposons d'équipes spécialisées dans la formulation de solutions nutritionnelles construites autour de produits et de concepts à haute valeur ajoutée. Notre gamme s'étend du simple ingrédient à des solutions plus complexes qui ont pour but d'aider à surmonter et résoudre les difficultés auxquelles sont confrontés les industriels des productions animales.

Nos solutions nutritionnelles :

- Excential Smart : Nouvelle génération d'oligo-éléments hydroxy cuivre, zinc, manganèse

- Excential Se4000 : nouvelle génération de sélénium organique forme sélénométhionine

- Excential Energy Plus : Nouvel émulsifiant nutritif

- Excential Butycoat : Butyrate de sodium microencapsulé

- Excential Alliin Plus : Extraits végétaux

- Excential Toxin Plus/A : Capteur de mycotoxines

- Excential Beta-Key : Bétaine HCL 95% non hygroscopique

- Calsporin : Probiotique thermostable (*Bacillus subtilis* C-3102) pour truies, porcelets, charcutiers

- AmmoMin : Clinoptilolite d'origine sédimentaire

- Protéine de plasma – Vitamines – Oligoéléments – Antioxydants – Acides - ...



### PHILEO by LESAFFRE

137, rue Gabriel Péri – 59700 MARCQ EN BAROEUL

Tél. : + 33 (0)3.20.81.61.00

E-mail : [f.goasguen@phileo.lesaffre.com](mailto:f.goasguen@phileo.lesaffre.com) - Site internet : <https://phileo-lesaffre.com>

PHILEO, division Nutrition et Santé animale LESAFFRE, développe, produit et commercialise une gamme de solutions innovantes :

- Actisaf Sc 47 : la levure vivante de référence (autorisations permanentes en truies gestantes et allaitantes, porcelets, engraissement) ;
- Safmannan : la fraction pariétale « premium »
- Selsaf : Source de sélénométhionine et Sélénocystéine naturelle
- Nutrisaf 503 : source durable de protéines
- Safglucan : source de betaglucones purifiés
- Nucleosaf : L'extrait de levure riche en nucléotides.



### PIC France

69, Chemin des Molières - 69210 LENTILLY

Tél. : + 33 (0)2.96.76.50.50

E-mail : [picfrance.info@pic.com](mailto:picfrance.info@pic.com) - Site internet : [www.pic.com](http://www.pic.com)

Filiale du Groupe Genus PIC, leader de la génétique porcine dans le monde.

Le programme génétique PIC sélectionne des lignées sur l'ensemble des caractères qui améliorent la rentabilité des élevages et de la filière, afin d'apporter la meilleure satisfaction aux éleveurs.

PIC combine les meilleures connaissances scientifiques disponibles avec les besoins des éleveurs pour améliorer les produits. PIC utilise la sélection génomique en complément de la sélection quantitative, pour augmenter la précision de sélection et accélérer la différenciation des produits. La pyramide internationale de sélection et multiplication PIC, permet aux éleveurs de bénéficier du progrès génétique dans leurs élevages, et nos experts techniques peuvent vous aider à exploiter le potentiel génétique des animaux, et identifier des stratégies pour maximiser votre succès.



### PROVIMI France

Parc d'Activités de Ferchaud – 35320 CREVIN

Tél. : + 33 (0)2.99.42.62.62 - Site internet : [www.provimifrance.fr](http://www.provimifrance.fr)

PROVIMI apporte à ses partenaires fabricants d'aliments son savoir-faire nutrition pour mettre en place des plans d'alimentation performants et rentables dans tous les contextes d'élevage.

PROVIMI et ses par-tenaires fabricants sont aux côtés des éleveurs de porcs pour les accompagner et construire leur stratégie nutritionnelle de demain.



### REZOLUTION

Parc d'activités de Gohéléve – 56920 NOYAL-PONTIVY

Tél. : + 33 (0)2.97.25.72.57

E-mail : [contact@rezolution.fr](mailto:contact@rezolution.fr) - Site internet : <https://www.rezolution.fr/>

REZOLUTION est un acteur français majeur du conseil en élevages porcins. L'équipe est constituée de 7 consultants expérimentés dans la santé des porcins, les diagnostics techniques des bâtiments d'élevage et dans l'optimisation de la conduite d'élevage. Nos services s'adressent à toutes les entreprises de la filière. Que vous soyez éleveurs, organisme de sélection ou groupement de producteurs, cabinet vétérinaire ou firme d'aliment, nous pouvons vous accompagner dans l'animation et la formation de vos équipes mais aussi pour tout appui technique et vétérinaire chez vos clients. Justifiant d'une forte expérience en R&D et en s'appuyant sur un réseau de fermes partenaires, notre équipe peut également vous accompagner pour tous vos projets expérimentaux en proposant une offre complète : synthèse bibliographique, accompagnement dans la conception du projet, collecte des données en élevage conformément au protocole, data management, analyse descriptive et statistique des données et communication des résultats dans des congrès et revues scientifiques.



### TECHNA France NUTRITION

Route de St Etienne de Montluc - BP 10 - 44220 COUËRON

Tél. : 33 (0)2 40 85 41 41

E-mail : [societe@techna.fr](mailto:societe@techna.fr) - site Internet : [www.feedexpertise-techna.com](http://www.feedexpertise-techna.com)

Sous la marque FEEDIA, TECHNA exerce son métier de firme-conseil en nutrition et zootechnie et de concepteur de solutions additives et digitales. Elle accompagne ses clients fabricants d'aliments dans l'amélioration de leurs performances et le renforcement de leurs expertises. Avec ses 4,7 millions de tonnes d'aliment reconstituées en 2020, FEEDIA déploie un savoir-faire toutes espèces tant en France qu'à l'international. Sa dynamique scientifique s'appuie sur 4 leviers majeurs : le Centre de Recherches Euronutrition SAS (l'un des plus grands centres privés européens), des partenariats de recherche (instituts, universités, industries...), un pôle interne et une veille scientifique orientée. Thématiques actuelles de FEEDIA en porc : réponses aux attentes sociétales en terme de bien-être (robustesse des porcelets, liberté des truies en maternité, arrêt de la castration et de la coupe des queues), alternatives aux antibiotiques et à l'oxyde de zinc, baisse des rejets, nutrition de précision adaptée à chaque profil génétique. Outils d'aide à la décision pour évaluer le contexte et proposer des solutions d'amélioration, piloter la stratégie alimentaire en truie et en engraissement, garantir une qualité de carcasse optimale et optimiser la marge sur coût alimentaire.



### TOPIGS NORSVIN France

1620, rue Henri Laborit - CS 80004 - 29470 LOPERHET

Tél. : + 33 (0)2.98.34.33.41 - Fax : + 33 (0)2.98.34.33.60

E-mail : [topigs@topignorsvin.fr](mailto:topigs@topignorsvin.fr) – Site internet : [www.topignorsvin.fr](http://www.topignorsvin.fr)

Filiale de TOPIGS NORSVIN International, leader européen de la génétique porcine, TOPIGS NORSVIN France s'appuie sur d'importants moyens de recherche (TOPIGS NORSVIN Research Center), sur les nouvelles techniques de pointe de la génétique moléculaire et quantitative. Pour les éleveurs, TOPIGS NORSVIN France propose :

- Les lignées femelles TN60 et TN70

- Les lignées mâles TN Sélect, TN Talent, TN Tempo, TN Traxx et les verrats labélisés Nador (Low Boar Taint).

Choisir TOPIGS NORSVIN, c'est plus de porcs vendus, un sanitaire maîtrisé, un confort de travail et une sérénité au quotidien.



### UNILASALLE

19, rue Pierre Waguet - B.P. 30313 - 60026 BEAUVAIS Cedex

Tél. : +33 (0)3.44.06.25.25 - Site internet : [www.lasalle-beauvais.fr](http://www.lasalle-beauvais.fr)

Pôle d'enseignement supérieur et de recherche en Sciences de la Terre, du Vivant et de l'Environnement, du numérique et de l'énergie, UNILASALLE forme des ingénieurs qui sont et seront au cœur des enjeux planétaires dans les domaines de l'agriculture, l'agroalimentaire, l'environnement, de l'alimentation et santé et de la géologie. L'Institut accueille sur ses quatre sites, à Amiens, Beauvais, Rennes et Rouen, 3800 élèves en cycle Bachelor, Ingénieur, Masters(es) et Doctorat.

UNILASALLE s'appuie sur une recherche de pointe à l'aplomb de ses formations, en partenariat avec le secteur professionnel et des organismes de recherche français et étrangers. Plusieurs plateformes de recherche permettent de réaliser un large panel de prestations au service des entreprises.

L'Institut réalise des expérimentations en élevages, en plein champ ou en micro-parcelle sur ses deux fermes polyculture lait et viande.

UNILASALLE permet également l'accès à ses diplômés par la VAE, la formation continue et la formation en alternance.



### VETAGRI

Rue Arthur Énaud - CS 20 572 - 22605 LOUDEAC Cedex

Tél. : + 33 (0)2.96.66.84.85

E-mail : [info@vetagri.com](mailto:info@vetagri.com) – Site Internet : [www.vetagri.com](http://www.vetagri.com)

Spécialiste de l'alimentation animale depuis plus de 45 ans, VETAGRI développe son savoir-faire du minéral sous toutes ses formes et pour toutes les productions animales. L'objectif de VETAGRI est de rendre efficace l'alimentation grâce à des solutions personnalisées. Avec 4 sites de production, l'entreprise est présente à l'échelle nationale. En 2017, 55 000 T de minéraux et asséchants ont été fabriqués. Nos gammes Porcs : Aliments minéraux, Aliments diététiques, Compléments nutritionnels, Produits d'Hygiène, Conservateurs ... + un service négoce de matières premières pour les clients faveurs. Parallèlement aux réponses « sur mesure », VETAGRI développe des concepts nutritionnels innovants dans les domaines du bien-être et de la santé animale (démarche probiotique, lutte contre le stress oxydatif...) et de l'environnement (réduction des apports de Phosphore). La qualité des produits, la sélection rigoureuse des matières premières et la capacité à répondre aux besoins spécifiques des clients contribuent à l'expertise reconnue de VETAGRI. L'entreprise est certifiée OQUALIM et Feed Chain Alliance et Agriculture Biologique.



### VETAGRO S.p.A.

Via Porro, 2 – 42124 REGGIO EMILIA (ITALIE)

Tél. : + 39.0522.186.1500

E-mail : [info@vetagro.com](mailto:info@vetagro.com) – Site Internet : [www.vetagro.com](http://www.vetagro.com)

VETAGRO est une entreprise spécialisée dans le développement et la production d'additifs microencapsulés à destination de la nutrition animale, en constante amélioration grâce à un engagement continu d'une R&D innovante et scientifique. Depuis 1982, notre siège dans la vallée de l'alimentation italienne et nos filiales dans le monde entier proposent des solutions de pointe, efficaces et rentables. Nous nous engageons chaque jour pour une nutrition adaptée qui optimise les performances des animaux, tout en assurant une production alimentaire durable. AviPlusS est la solution VETAGRO pour les porcelets non sevrés et sevrés, le premier additif zootechnique microencapsulé autorisé par l'EFSA. Vetagro commercialise des solutions à base de mélanges d'acides organiques et de composés identique nature telles que TetracidS pour les porcs, GalliacidS et AviPlusP pour les volailles ou des acides aminés microencapsulés tels que Timet et Relys pour les ruminants.



### VETOQUINOL

37 rue de la Victoire - 75009 PARIS

Tél. : + 33 (0)1.55.33.50.25 - Site Internet : [www.vetoquinol.com](http://www.vetoquinol.com)

VETOQUINOL est un laboratoire pharmaceutique exclusivement vétérinaire, agissant pour la protection et le bien-être des animaux. Depuis plus de 80 ans, VETOQUINOL développe, fabrique et commercialise des médicaments vétérinaires et des produits non médicamenteux à destination des animaux de compagnie et des animaux de rente (bovins, porcs). Sa gamme porcine comprend notamment des antibiotiques, et des produits liés à la reproduction. Le dernier né, Boarbetter apporte des phéromones de verrat pour stimuler les comportements de chaleur chez les truies en période d'œstrus.

Pour en savoir plus : [www.vetoquinol.fr](http://www.vetoquinol.fr) ou [www.vetoquinol.com](http://www.vetoquinol.com)





## VILOFOSS

Zone artisanale de la gare - 22690 PLEUDIHEN-SUR-RANCE

Tél. : + 33 (0)2. 96. 83. 21. 42 – Site Internet : [www.vilofoss.com.fr](http://www.vilofoss.com.fr)

VILOFOSS élabore des solutions à valeur ajoutée pour les élevages à l'échelle mondiale et propose des prémix et minéraux sur mesure. Outre nos composés vitaminiques, minéraux, et prémix nous proposons une large gamme de produits complémentaires, tels que des aliments diététiques et 1<sup>er</sup> âge, des solutions pour le bien-être et la désinfection. Nous proposons des services et conseils professionnels permettant d'optimiser les performances de nos clients. Le groupe VILOFOSS travaille avec les éleveurs dans le domaine de la nutrition animale depuis plus de 90 ans. Nos connaissances et savoir-faire techniques s'appuient sur de nombreuses années de recherche et développement dans le secteur de la nutrition des porcs, bovins et volailles. Nous travaillons dans une perspective de durabilité et nous souhaitons collaborer en ce sens avec la chaîne de valeur constituée par nos clients, nos fournisseurs et nos partenaires commerciaux. VILOFOSS propose d'ores et déjà des solutions nutritionnelles qui contribuent à plus de durabilité. Nous voulons prendre part à la création d'un avenir meilleur et plus durable pour les générations futures, ce qui compte d'autant plus dans l'agriculture où nous devons produire plus avec moins. Nous souhaitons développer et proposer des solutions concrètes pouvant favoriser un changement positif et durable. De ce fait, nous aidons nos clients à atteindre leurs propres objectifs de durabilité, aujourd'hui et dans le futur.



## WISIUM

Route de Talhouët, 56250 SAINT-NOLFF

Site internet : [www.fr.wisium.com](http://www.fr.wisium.com)

WISIUM est la marque internationale de l'activité Prémix et Services d'ADM.

Fort d'une expertise historique de plus de 60 ans, WISIUM participe à la transformation des modèles de production pour renforcer la compétitivité des filières animales en répondant aux enjeux de qualité, santé, environnement, bien-être, et traçabilité. Pour toutes les espèces, les experts WISIUM proposent des solutions sur-mesure associant des produits et des services à haute valeur ajoutée.



## YXIA

15 Saint Hubert - 35590 SAINT-GILLES

Tél. : + 33 (0)2.99.78.72.80 – E-mail : [yxia@yxia.fr](mailto:yxia@yxia.fr) – Site Internet : [www.yxia.fr](http://www.yxia.fr)

YXIA est un acteur reconnu de la filière porcine française avec plus de 2.300.000 doses commercialisées.

Nous travaillons pour les éleveurs de porcs afin de leur proposer les meilleures conditions d'approvisionnement en doses. Cela passe par :

- La qualité de la dose pour apporter les meilleures performances, de façon constante
- Le transport pour sécuriser la température de conservation
- Le matériel, contrôlé systématiquement par nos services pour sa non spermicité
- Le soutien technique au travers d'une équipe de spécialistes et des outils pragmatiques d'accompagnement
- Le rapport qualité/prix ; ratio indispensable considérant à la fois le contexte économique dans lequel évolue la filière mais aussi l'impératif de succès lié au poste reproduction

La recherche constante du progrès fait partie de notre ADN, le groupe YXIA réalise de nombreux investissements pour améliorer la prestation et innove régulièrement dans le process et dans l'offre mise à disposition.



## ZINPRO Animal Nutrition (Europe), Inc.

Akkerdistel 2E – 5831 PJ BOXMEER (PAYS-BAS)

Tél. : +31 (0)485.521.926 – E-mail : [fdefontaine@zinpro.com](mailto:fdefontaine@zinpro.com) – Site internet : [www.zinpro.com](http://www.zinpro.com)

Depuis 50 ans, ZINPRO Corp. est une entreprise pionnière dans la recherche et la production d'oligo-éléments performants, à base de chélates d'acides aminés brevetés (Zn, Mn, Cu, Fe et Se en EU). Nos produits AvailaSow et AvailaZn/Cu ont fait l'objet de nombreuses publications et prouvé leur efficacité dans l'amélioration de la nutrition minérale des truies, cochettes et porcelets tout au long de leur vie productive. Notre engagement dans l'élevage va plus loin que la simple mise en marché d'additifs et de prémélanges d'additifs. Nous sommes présents sur le terrain pour accompagner les éleveurs et leurs conseillers avec des outils d'audit et de formation afin d'optimiser les performances des animaux, d'augmenter leur longévité et la rentabilité des élevages. Basée à Eden Prairie dans le Minnesota (USA), notre société a des bureaux régionaux dans 11 pays et est présente dans plus de 70 pays.



## ZOETIS

10, rue Raymond David - 92240 MALAKOFF

Tél. : + 33 (0)810.734.937 – Site Internet : [www.zoetis.fr](http://www.zoetis.fr)

ZOETIS est une entreprise de santé animale dont l'objectif est d'aider au mieux ses clients et leur entreprise.

ZOETIS consacre une importante partie de son budget Recherche et Développement à la mise au point de nouveaux produits destinés à l'élevage porcin.

Forts de 60 années d'expérience, nous produisons des médicaments et des vaccins de qualité, des produits diagnostiques, en nous appuyant sur toute une gamme de services, afin de proposer « La santé en continu », un ensemble de solutions intégrées pour les acteurs de la filière porcine.

# Organismes de recherche et entreprises auteurs

## ALLEMAGNE

- *INSTITUTE OF ANIMAL NUTRITION, Friedrich-Loeffler-Institute (FLI), Federal Research Institute for Animal Health, D-38116 Brunswick*

## AUTRICHE

- *DELACON BIOTECHNIK GMBH, Langwiesen 24, 4209 Engerwitzdorf*
- *DSM AUSTRIA, Erber Campus 1, 3131 Getzersdorf*

## BELGIQUE

- *ARSIA, Allée des Artisans 2, 5590 Ciney*
- *BELFEED, Industrialaan 25, 1702 Groot-Bijgaarden*
- *CENTRE WALLON DE RECHERCHES AGRONOMIQUES, Rue de Liroux 9, 5030 Gembloux*
- *DGZ VLAANDEREN, Hagenbroeksesteenweg 167, 2500 Lier*
- *DSM NUTRITIONAL PRODUCTS, 4 Dorpsstraat 4, Deinze*
- *ELANCO ANIMAL HEALTH, Plantin en Moretuslei 1A, 2018 Antwerp*
- *ELEVÉO SECTEUR PORCIN, Rue des Champs Elysées 4, 5590 Ciney*
- *ILVO, Animal Sciences Unit, Scheldeweg 68, 9090 Melle*
- *NOVUS EUROPE NV, Leuvensesteenweg 643 Box 15, 1930 Zaventem*

## BRÉSIL

- *FACULTY OF AGRICULTURAL AND VETERINARY SCIENCES, Via de Acesso Professor, P. D. Castelane, 14884-900, Jaboticabal*

## CANADA

- *AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA, Sherbrooke Research and Development Centre, Sherbrooke, QC J1M 0C8*
- *CENTRE DE RECHERCHE EN SCIENCES ANIMALES DE DESCHAMBAULT (CRSAD), 120-A chemin du Roy, Deschambault, G0A 1S0*
- *UNIVERSITÉ LAVAL, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Département des Sciences Animales 2425 rue de l'Agriculture, Québec, G1V 0A6*

## DANEMARK

- *DSM NUTRITIONAL PRODUCTS A/S, Kirkebjerg Allé 88, 2605 Brøndby*
- *TESTGRIS SVINERADGIVNINGEN, Birk Cebterpark 24, 7400 Herning*
- *UNIVERSITY OF COPENHAGEN, Stigbøjlen 4, 1870 Frederiksberg*

## ESPAGNE

- *GENERA PM OFFICE, Calle Punta Secca 1, Aptdo 4, 30370 Cabo De Palos*
- *IMASDE AGROALIMENTARIA, S.L., C/ Nápoles, nº 3, Pozuelo de Alarcón C.P. 28224, Madrid*
- *IRTA-NUTRITION ANIMALE, Centre Mas de Bover, Ctra de Reus-El Morell km 3,8, 43120 Constantí*
- *LUCTA, SA - Innovation Division, UAB Research Park, Eureka, 08193 Campus UAB, Bellaterra*
- *PIGCHAMP PRO EUROPA, Calle Dámaso Alonso 14, 40006 Segovia*
- *UNIVERSITÉ COMPLUTENSE DE MADRID, Avda. Puerta de Hierro s/n., 28040 Madrid*
- *VETERINARY SCHOOL, Department of Animal and Food Science, 08193 UAB, Bellaterra*

## ETATS-UNIS

- ARM & HAMMER ANIMAL AND FOOD PRODUCTION, Church & Dwight, 469 N. Harrison St, Princeton, NJ 08450
- NC STATE UNIVERSITY, Raleigh
- VETAGRO, Inc., 17 E. Monroe St., Suite #179, 60604 Chicago (IL)

## FRANCE

- 4E CONSEILS, 80 rue du Général Mangin, 29400 Landivisiau
- ADM,
  - Route de Talhouët, 56250 Saint-Nolff
  - Rue de l'Eglise, 02402 Château-Thierry
- AGROPARISTECH, UMR MOSAR, INRAE, Université Paris-Saclay, 75005 Paris
- ALLIANCE R&D, La Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu
- ANIMINE, 10 rue Léon Rey Grange, 74960 Annecy
- ANSES, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire,
  - Laboratoire de Fougères, 10 B rue Claude Bourgelat, Javené, CS 40608 35306 Fougères Cedex
  - Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, B.P.53, 22440 Ploufragan
    - Unité Génétique Virale et Biosécurité,
    - Unité Epidémiologie, Santé et Bien-Etre,
  - Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Laboratoire de Santé Animale USC EPIMAI, 94700, Maisons-Alfort
- AREPSA, ASPNA, Route de Samadet, 64410 Arzacq
- ARVALIS - INSTITUT DU VÉGÉTAL, 2 Pouline, 41100 Villerable
- AXIOM, Azay-sur-Indre
- BIODEVAS LABORATOIRES, 21 rue des Chardons, ZA de l'Epine, 72460 Savigné-l'Évêque
- BREIZHPIG SCOP SAS, Rue du Pontic, Z.A. du Vern, 29400 Landivisiau
- CALOPOR SAS, 1 rue des Frères Lumière, 29860 Bourg-Blanc
- CAREPHYT, 3 Rue Amedeo Avogadro, 49070 Beaucouze
- BIOVAC, 4 rue O de Serres, 49070 Beaucozé
- CEVA SANTÉ ANIMALE, 10 avenue de La Ballastière, 33500 Libourne
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DES PAYS DE LA LOIRE, 49105 Angers
- CHAMBRE RÉGIONALE D'AGRICULTURE DE BRETAGNE,
  - 4 Avenue du Chalutier Sans Pitié, 22190 Plérin
  - 1 place du petit Vally, 22200 Guingamp
  - Cap Cideral, rue Pierre Simon Laplace, 22600 Loudéac
  - 24 route de Cuzon, CS 26032, 29322 Quimper Cedex
  - 1 parc d'activités de Runanvizia, BP 60419, 22970 Ploumagoar
  - rond-point Maurice Le Lannou, CS 74223, 35042 Rennes Cedex
  - avenue Borgnis Desbordes, BP 398, 56009 Vannes Cedex
- CHÊNE VERT,
  - 2 Rue Pierre Harel, 35133 Lecousse
  - 4 rue Théodore Botrel, 22600 Loudéac
- CIRAD, Univ. Montpellier, INRAE, UMR Astre, 34000 Montpellier
- COOPERL,
  - Arc Atlantique, 7 Rue de la Jeannaie Maroué, 22400 Lamballe-Armor
  - Groupement d'éleveurs, 21 rue d'Armor Maroué, 22403 Lamballe-Armor Cedex
  - Viandes, rue de la Jeannaie Maroué, 22403 Lamballe-Armor Cedex
  - Data Sciences, 1 rue de la Gare, 22640 Plestan
  - Innovations SAS, 1 rue de la Gare, 22640 Plestan
- DENKAVIT FRANCE SARL, ZI de Méron, 49260 Montreuil-Bellay



- DIETAXION S.A.S., 283 rue Ampère, ZA de la Noë Bachelon, 44430 Le Loroux Bottereau
- DOSATRON INTERNATIONAL, Rue Pascal, B.P.6, 33370 Tresses
- DSM NUTRITIONAL PRODUCTS,
  - 71 boulevard National, 92250 La Garenne-Colombes
  - Centre de Recherche en Nutrition et Santé Animale, 68305 Saint Louis
- ELANCO FRANCE SAS, Crisco Uno, Bâtiment C, 3-5 Avenue de la Cristallerie, CS80020, 92317 Sèvres
- ENVT, 23 Chemin des Capelles, 31076 Toulouse Cedex 3
  - UMR INRAE-1225 IHAP, 31076 Toulouse
- EPIDALIS, Avenue de la Promenade, 79140 Cerizay
- EVEL'UP, 1 rue Georges Guynemer, 22190 Plérin
- EUREDEN,
  - Z.A. de Lanjouan, BP 90251, 22402 Lamballe Cedex
  - 75 boulevard de Penthièvre, 22600 Loudéac
  - ZI de Lanrinou, CS 20100, 29206 Landerneau Cedex
  - AC de Kervidanou 3-34 rue Ferdinand Buisson, 29300 Mellac
  - 7 rue de la Roberdière, CS 56547, 35065 Rennes Cedex
- EVEL'UP, 1 rue Georges Guynemer, 22190 Plérin
- FERME EXPÉRIMENTALE PORCINE DES TRINOTTIÈRES, 49140 Montreuil-sur-Loir
- HYOVET SELAS, 5 PA Carrefour de la Penthièvre, 22640 Plestan
- IDELE, 42 rue Georges Morel, 49071 Beaucozé
- IDENA, 21 Rue du Moulin, 44880 Sautron
- IFIP-INSTITUT DU PORC
  - 258 route de la Mathébie, 12200 Villefranche-de-Rouergue
  - Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex
- INRAE
  - LBE, 102 avenue des étangs, 11100 Narbonne
  - Transfert Environnement, 60 rue Nicolas Leblanc, 11100 Narbonne
  - InTheRes UMR 1436 ENVT, 23 chemin des Capelles, 31076 Toulouse Cedex 3
  - GenPhySE, Université de Toulouse, INPT ENSAT, INPT ENVT, 24 Chemin de Borde Rouge, 31320 Castanet Tolosan
  - ASTRE, Univ Montpellier, CIRAD, 34000 Montpellier
  - UMR SAS, rue de St Briec, 35042 Rennes
  - UR OPAALE, 35044 Rennes
  - UE3P, 16 Le Clos, 35590 Saint-Gilles
  - PEGASE, Institut Agro, 16 Le Clos, 35590 Saint-Gilles
  - BOA, Université de Tours, 37380 Nouzilly
  - BIOEPAR, Oniris, 44300 Nantes
  - GenESI, La Gouvanière, Venours, 86480 Rouillé
- INSTITUT AGRO – AGROCAMPUS OUEST, 65 rue de Saint-Briec, 35000 Rennes
- INTERPROFESSION PORCINE D'OCCITANIE, 2 Allées Brisebois, 31322 Castanet-Tolosan
- INTERFACE ELEVAGE, 1219 route de Pau, 64410 Vignes
- ITAVI, rue Maurice Le Lannou, 35000 Rennes
- JEFO, 2 rue Claude Chappe, Espace Performance La Fleuriaye, BP 50776, 44481 Carquefou Cedex
- JRS RETTENMAIER FRANCE, 20 quater rue Schnapper, 78100 Saint Germain En Laye
- LES BASTIDES DU SUD, 9 chemin Brousse, 64160 Morlaàs
- LYCÉE AGRICOLE DE LIMOGES-LES VASEIX, BTSa PA de Limoges et du Nord Haute Vienne, les Vaseix, 87430 Verneuil sur Vienne
- METEX NOOVISTAGO, 32 rue Guersant, 75017 Paris
- MG2MIX, La Basse Haye, 35229 Chateaubourg
- MIDIPORC, 2 Allée Brisebois, Auzeville Tolosan, 31322 Castanet-Tolosan

- *MIXSCIENCE, Campus Avril, CS 17228, 2/4 avenue de Ker Lann, 35170 Bruz*
- *MSD SANTÉ ANIMALE, 7 rue Olivier de Serres, CS 17144, 49071 Beaucozé Cedex*
- *NUCLEUS, 7 rue des orchidées, 35650 Le Rheu*
- *OLMIX GROUP, ZA du Haut du Bois, 56580 Bréhan*
- *ONIRIS, Site de la Chantrerie, , 101 route de Gachet, 44300 Nantes, CS 40706, 44307 Nantes Cedex 3,  
- BIOEPAR UMR1300, INRAE  
- IECM USC1383, INRAE*
- *PHILEO BY LESAFFRE , 137 rue Gabriel Peri 59700 Marcq en Baroeul*
- *PORC ARMOR EVOLUTION, ZI Sud Très le Bois, Imp. Monge, 22600 Loudéac*
- *PORC.SPECTIVE, ZA de Gohélève, rue Joseph et Étienne Montgolfier, 56920 Noyal-Pontivy*
- *PORÉLIA, Petite Vallée, 29190 Pleyben*
- *SOCSA ELEVAGE, 31240 l'Union*
- *TECHNA FRANCE NUTRITION, 41 route de St-Etienne-de-Montluc, BP 10, 44220 Couëron*
- *TERRES INOVIA, 11 rue Monge, 33600 Pessac*
- *UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, INRAE, ENVT, GenPhySE, 24 chemin de Borde-Rouge, 31326 Castanet-Tolosan*
- *UNIVERSITÉ DE TOURS, Faculté des Sciences et Techniques, Parc Grandmont, 37200 Tours*
- *VETOPOLE 26, 26300 Châteauneuf-sur-Isère*
- *WISIUM, 6 Rue d'Ouessant, 35760 Saint-Grégoire*

## HONGRIE

- *UNIVERSITÉ DE KAPOSVAR, Département de Nutrition Animale, Guba S. 40, 7400 Kaposvar*

## ITALIE

- *DSM NUTRITIONAL PRODUCTS, Via G. Di Vittorio, 20090 Segrate (MI)*
- *SILVATEAM, San Michele Mondovì*
- *UNIVERSITÉ DE BOLOGNA, Dimevet, via Tolara di Sopra 50, 40064 Ozzano Emilia, BO*
- *UNIVERSITY OF BOLOGNA, Department of Agricultural and Food Sciences, 40127 Bologna*
- *UNIVERSITY OF SASSARI, Department of Agricultural Sciences, Sassari*
- *VETAGRO S.P.A., via Porro 2, 42124 Reggio Emilia*

## PAYS BAS

- *DARLING INGREDIENTS, Sonac, Kanaaldijk Noord 20, 5691NM Son*
- *DENKAVIT NEDERLAND BV, Tolnegenweg 65, 3781 PV Voorthuizen*
- *ORFFA ADDITIVES B.V., 7032 Minervum, Breda*
- *SCHOTHORST FEED RESEARCH (SFR), Meerkoetenweg 26, 8218 NA Lelystad*
- *VITELIA VOEDERS B.V., 27 Petersstraat 27, Oirlo*
- *WAGENINGEN LIVESTOCK RESEARCH, De Elst 1, 6708 WD Wageningen*

## RÉPUBLIQUE TCHEQUE

- *MSD NA VALENTINCE 3336/4, 150 00 Prague 5*

## SUEDE

- *SVA, Department of Disease Control and Epidemiology, SE-751 89 Uppsala*

## SUISSE

- *AGROSCOPE, Institute of Livestock Science, La Tioleyre 4, 1725 Posieux*
  - *Groupe Recherche Porcine,*
  - *Systèmes de production Animaux et santé animale, Animal Production Systems and Animal Health,*
- *DSM NUTRITIONAL PRODUCTS, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst*

# Sommaire

## GÉNÉTIQUE ET QUALITÉ DES PRODUITS

1. **Evaluation du modèle de prédiction de la composition en acides gras du porc, Rosil Lizardo, Núria Tous, Enric Esteve-García, Veronika Halas, Jaap Van Milgen** \_\_\_\_\_ **1**
2. **Production de mâles entiers en conditions Label Rouge : impacts sur la qualité de carcasse et la qualité organoleptique des produits de viande, Arnaud Buchet, Frederic Pennamen, Marie-Hélène Dohollou, Pauline Doussal** \_\_\_\_\_ **7**
3. **Déterminisme génétique du risque d'odeur de verrat dans la population Landrace français, Catherine Larzul, Marie-José Mercat, Claire Hassenfratz, Céline Carillier-Jacquin, Raphaël Comté, Benoît Blanchet, Isabelle Louveau, Sylviane Boulot, Armelle Prunier** \_\_\_\_\_ **13**
4. **Utilisation de l'information du microbiote intestinal pour expliquer et prédire l'efficacité alimentaire chez le porc, Amir Aliakbari, Vanille Déru, Céline Carillier-Jacquin, Olivier Zemb, Alban Bouquet, Hélène Gilbert** \_\_\_\_\_ **19**
5. **La génétique Large White en élevage biologique : influence du blocage temporaire des truies autour de la mise bas sur la survie des porcelets, Laurianne Canario, Stéphane Ferchaud, Stéphane Moreau, Catherine Larzul, Armelle Prunier** \_\_\_\_\_ **25**
6. **Etude des paramètres génétiques des poids et rendements de pièces estimés à partir d'un scanner à ultrasons, Aurélie Le Dreau, Pauline Brenaut, Alban Bouquet, Arnaud Buchet, Cyrille Meli Foaguam, Bruno Lignesche** \_\_\_\_\_ **31**
7. **Modélisation de stratégies pour améliorer la sélection de l'efficacité alimentaire en cas d'interactions GxE, Alban Bouquet et Hélène Gilbert** \_\_\_\_\_ **33**
8. **Suivi génomique des origines raciales lors de la création d'une lignée synthétique porcine, Audrey Ganteil, Bertrand Servin, Vincent Cousin, Carolina Garcia-Baccino, Bruno Lignesche, Catherine Larzul** \_\_\_\_\_ **35**

## ECONOMIE ET SOCIOLOGIE

1. **Temps de travail dans les élevages porcins bretons conventionnels et biologiques, Caroline Depouvent, Catherine Calvar, Jeanne Le Mevel, Jean-Yves Lelièvre, Claire Walbecque** \_\_\_\_\_ **37**
2. **Trajectoires individuelles d'évolution des élevages de porcs en France : mécanismes, déterminants et perspectives de la concentration structurelle, Christine Roguet, Bérengère Lecuyer, Lisa Le Clerc** \_\_\_\_\_ **43**
3. **Etude exploratoire de la consommation des produits du porc en restauration collective en France, Valérie Diot et Boris Duflot** \_\_\_\_\_ **49**
4. **Le commerce intra-européen des viandes et coproduits du porc : tendances et évolutions récentes des principaux flux et identification des marchés d'intérêt, Elisa Husson et Jan-Peter Van Ferneij** \_\_\_\_\_ **55**
5. **Impact du vieillissement des éleveurs sur l'organisation et le confort de travail en élevage porcin. Etude exploratoire, Caroline Depouvent et Jeanne Le Mevel** \_\_\_\_\_ **61**
6. **Étudiants ingénieurs agronomes et professionnels des productions animales : une vision partagée des compétences à développer ?, Justine Abarnou, Zoé Courboulay, Jocelyne Flament, Ana Guintard, Yannick Le Cozler, Clémence Orsini, Lucile Montagne, Camille Schreck, Séverine Parois** \_\_\_\_\_ **63**
7. **Origami, un consortium interdisciplinaire pour identifier les freins et les leviers au développement de la production porcine biologique, Justine Faure et Lucile Montagne** \_\_\_\_\_ **65**
8. **Impact économique d'un rationnement alimentaire ou d'une carence en acides aminés pendant l'engraissement des porcs, Gérard Dumas et Alexia Aubry** \_\_\_\_\_ **67**



## ALIMENTATION ANIMALE

1. **Effet de la supplémentation en acides gras oméga-3 du régime sur le profil en oxylipines du lait de truie et quelques paramètres immunologiques des porcelets**, *Eudald Llauradó-Calero, Núria Tous, David Torrallardona, Enric Esteve-García, Rosil Lizardo* \_\_\_\_\_ **69**
2. **Effets bénéfiques d'une combinaison d'arginine, valine, leucine, isoleucine, cystine et de polyphénols chez le porcelet : approche *in vivo* et organoïdes**, *Martin Beaumont, Corinne Lencina, Joffrey Viémon-Desplanques, Tristan Chalvon-Demersay* \_\_\_\_\_ **75**
3. **Etude de sources protéiques alternatives (pois et lupins doux) en remplacement du soja dans les aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge**, *Ashley Sijmonsbergen, Rhana Aarts, Clément Moire, Ard Van Enckevort* \_\_\_\_\_ **81**
4. **Impact du déoxynivalénol et l'ajout de phytase dans un protocole de déplétion et réplétion en calcium chez le porcelet**, *Béatrice Sauvé, Frédéric Guay, Marie-Pierre Létourneau-Montminy* \_\_\_\_\_ **87**
5. **Quels seuils sans effets des facteurs antitrypsiques du soja pour l'alimentation du porc en engraissement ?**, *Eric Royer, Nathalie Lebas, Alain Quinsac, Laurent Alibert* \_\_\_\_\_ **93**
6. **Apport de fourrages riches en protéines dans l'alimentation des porcs. Conséquences sur les performances technico-économiques à l'échelle de l'atelier porcin**, *Constance Drique, Catherine Calvar, Aurélien Dupont, Gaël Gaucher, David Renaudeau* \_\_\_\_\_ **99**
7. **La sensibilité à l'insuline en tant que modulateur de la composition corporelle et ses effets sur la lipogenèse et l'expression génique chez les porcs à l'engraissement**, *Hector Salgado, Aline Remus, Marie France Palin, Hélène Lapierre, Marie-Pierre Létourneau-Montminy, Candido Pomar* \_\_\_\_\_ **105**
8. **Mesurer par scanner la composition tissulaire, le gain de muscle et l'indice de consommation par kg de muscle. Principes et exemple d'application**, *Gérard Daumas, Mathieu Monziols, Nathalie Quiniou* \_\_\_\_\_ **111**
9. **Synthèse : Quelles stratégies alimentaires pour couvrir les besoins nutritionnels des porcs mâles entiers et/ou immunocastrés et pour réduire les risques d'odeur de verrat dans la viande ?**, *Giuseppe Bee et Nathalie Quiniou* \_\_\_\_\_ **117**
10. **Estimation de la valeur nutritive de sources de phosphore d'origine minérale et animale pour la supplémentation des porcs en engraissement**, *Anne Boudon, Agnès Narcy, Etienne Labussière, Carine A. Van Vuure, Jean-Yves Dourmad* \_\_\_\_\_ **129**
11. **Capacité des modèles d'estimation des besoins chez le porc à l'engraissement pour prédire l'utilisation du phosphore alimentaire chez la cochette**, *Piterson Floradin, Marion Lautrou, Candido Pomar, Patrick Schlegel, Marie-Pierre Létourneau-Montminy* \_\_\_\_\_ **135**
12. **Estimation du flux d'absorption du zinc et du cuivre chez le porc : approche par méta-analyse**, *Mohamed Ali Ketata, Marie-Pierre Létourneau-Montminy, Frédéric Guay* \_\_\_\_\_ **141**
13. **Effet de stress thermiques sur le comportement des truies en gestation**, *Justine Abarnou, Maëva Durand, Charlotte Gaillard* \_\_\_\_\_ **147**
14. **Effet de l'enrichissement de l'environnement sur le comportement des truies gestantes**, *Clémence Orsini, Maëva Durand, Charlotte Gaillard* \_\_\_\_\_ **149**
15. **Comportement de truies gestantes en situation de compétition alimentaire**, *Maëva Durand, Charlotte Gaillard* \_\_\_\_\_ **151**
16. **Efficacité des glucides fonctionnels raffinés associés à de la bentonite sur les performances de reproduction des truies en gestation nourries avec un aliment contenant de la Zéaralénone et du Déoxynivalénol**, *Ronan Tanguy, Antonio Vargas, Maria José Carrión-López, Sangita Jalukar* \_\_\_\_\_ **153**
17. **L'ajout d'une xylanase bactérienne dans l'alimentation des truies en lactation améliore la valorisation énergétique de l'aliment**, *Christelle Boudry, Marta I. Gracia, Stéphane Benaben, Emmanuel Landeau* \_\_\_\_\_ **155**
18. **Effet sur le poids de portée de porcelets au sevrage d'une supplémentation en pidolate de calcium dans l'aliment distribué aux truies en péri mise-bas**, *Hélène Pithon, Clémence Marecaille, Xavier Roulleau* \_\_\_\_\_ **157**
19. **Impact de la distribution d'extraits de plantes à la truie avant la mise-bas sur les diarrhées néonatales de sa portée**, *Eric Belz et Justine Ligonnière* \_\_\_\_\_ **159**
20. **Transmission de la zéaralénone, du déoxynivalénol et de leurs dérivés de la truie au porcelet pendant la lactation avec ou sans décontaminant**, *Xandra Benthem De Grave, Janine Saltzmann, Julia Laurain, Maria Angeles Rodriguez, Francesc Molist, Sven Dänicke, Regiane R. Santos* \_\_\_\_\_ **161**



21. Effets d'aliments truie transition et d'aliments porcelets sous la mère enrichis en fibres alimentaires sur la santé digestive de porcelets infectés par <i>Escherichia coli</i> entérotoxigène (ETEC), <i>Anouschka Middelkoop</i> , Xiaonan Guan, Ramon Tichelaar, Francesc Molist, Soumya K. Kar, Alfons J. M. Jansman, Martin Peter Rydal, Mattia Pirolo, Clara Tassinato, Peter Panduro Damborg, Carmen Espinosa Gongora, Luca Guardabassi, Albert Van Dijk	163
22. Améliorer la consommation d'aliment sec sous la mère : leviers et conséquences, <i>Manon Roumezi</i> , Charlotte Teixeira-Costa, Gwenaël Boulbria, Arnaud Lebret, Céline Chevance, Pauline Berton, Théo Nicolazo, Valérie Normand, Franck Bouchet, Mathieu Brissonnier, Justine Jeusselin	165
23. Effet de l'acide benzoïque protégé sur le profil microbien fécal des porcelets sevrés comme alternative à l'oxyde de zinc, <i>Roberto Barea Gaitan</i> , Mireille Huard, Antonio Palomo-Yagüe, Federico Correa, Paolo Trevisi	167
24. La beta-mannanase permet d'améliorer les performances zootechniques et la santé digestive du porcelet en post-sevrage en conditions de production, <i>Fabien Alleman</i> , Paul Barneron, Karl Poulsen	169
25. Effet de la supplémentation d'une nouvelle muramidase sur les performances de croissance des porcelets en post-sevrage, <i>Daniel Planchenault</i> , Estefania Pérez-Calvo, Gilberto Litta, Anne-Lise Mary, Oriol Ribo	171
26. Un mélange microencapsulé d'acides organiques et de composés de nature identique améliore la digestibilité des nutriments et les performances des porcs en croissance, réduisant les émissions de mauvaises odeurs, <i>Benedetta Tugnoli</i> , Roberto Manini, Andrea Piva, Ester Grilli	173
27. Potentiel d'un additif alimentaire phytogénique comme alternative naturelle au ZnO dans l'alimentation des porcelets sevrés, <i>Anja Keiner</i> , Sandra Chamusco, Roberto Montanhini Neto, Tobias Aumiller	175
28. Efficacité d'une zéaralénone hydrolase sur les performances de porcelets recevant un aliment contaminé par zéaralénone, <i>Juan-Ignacio Artavia</i> , Paula Kovalsky, Sabine Masching, Laure Rouxel	177
29. Comparaison des effets d'une supplémentation phytogénique et de l'oxyde de zinc sur les performances et la santé digestive des porcelets en post-sevrage, <i>Anne-Cécile Delahaye</i> , Gaëtan Vetea Plichart, María Rodriguez, Joaquín Morales	179
30. Des apports contrastés en calcium sont associés à un métabolome plasmatique distinct chez les porcelets, <i>Angel René Alfonso Avila</i> , Benedict Yanibada, Marie-Pierre Létourneau-Montminy	181
31. Evaluation de deux stratégies nutritionnelles en porcelet de 8 à 25kg : baisse de protéines et augmentation de la lysine digestible et ses effets sur les performances techniques, le score fécal et les nécroses des oreilles, <i>Peter Scheres</i> , Luc Levrouw, Annelies Ooms, Vincent Couture, William Lambert, Nicolaas Verhoek, Gérard Raedts	183
32. Baisse de la protéine à deux niveaux de lysine : effet sur les performances zootechniques et sanitaires de porcelets post-sevrage, <i>Tristan Brehelin</i> , Cécile Rougier, Stéphanie Lecuelle, Aude Simongiovanni	185
33. Effets du type de fibre et d'une réduction de la teneur en protéine sur différents paramètres de santé intestinale chez les porcelets sevrés, <i>Manuela Marujo</i> et Laure Darras	187
34. Maintenir les performances des porcelets avec des aliments à bas taux protéique en période post-sevrage, <i>Alfons Jansman</i> , William Lambert, Aude Simongiovanni, Tristan Chalvon-Demersay, Hans Van Diepen	189
35. Porc'Inn : un nouveau dispositif d'expérimentation pour le suivi des performances individuelles des porcelets sevrés, <i>Maxime Traineau</i> , Justine Danel, Maria Vilarino	191
36. Effet des apports énergétiques en fin de finition sur les performances du porc nourri en soupe selon sexe, <i>Arnaud Samson</i> , Emmanuel Janvier, Claire Launay, Eric Schetelat	193
37. La digestibilité du phosphore et celle du calcium sont améliorées par l'apport de phytases, et évoluent au cours de la phase de croissance du porc charcutier, <i>Marion Bournazel</i> , Noémie Lemoine, Elodie Tersiguel, David Guillou	195
38. Caractéristiques du transport électrogène du glucose dans l'intestin grêle des porcs à l'engraissement, <i>Marco Tretola</i> et Paolo Silacci	197
39. Dynamique de déplétion et de réplétion des réserves minérales dans les os individuels et les régions osseuses des cochettes nourries avec différents niveaux de phosphore et calcium, <i>Piterson Floradin</i> , Candido Pomar, Marie-Pierre Létourneau-Montminy, Patrick Schlegel	199
40. La fabrication d'aliment à la ferme dans les élevages porcins bretons : résultats d'enquête descriptive, <i>Constance Drique</i> , Marie-Lou Bernard, Catherine Calvar	201

41. **Des taux d'incorporation croissants de tourteaux d'oléagineux dans un aliment à base de blé affectent-ils la digestibilité des nutriments ?** *Justine Danel, Maxime Traineau, Maria Vilarino* \_\_\_\_\_ **203**
42. **Introduction de légumineuses fourragères dans les assolements des exploitations porcines. Conception et évaluation de la durabilité des systèmes,** *Constance Drique, Catherine Calvar, Aurélien Dupont, Gaël Gaucher* \_\_\_\_\_ **205**
43. **Contamination croisée des aliments pour animaux par les antibiotiques : évaluation préliminaire du transfert vers les denrées d'origine animale et du risque d'émergence d'antibiorésistance,** *Cristina Santos-Santorum, Murielle Gaugain, Agnès Perrin, Michel Laurentie, Pascal Sanders* \_\_\_\_\_ **207**

## ENVIRONNEMENT

1. **Contribution de l'élevage porcin aux émissions de particules. Analyse des facteurs d'émission et simulations d'inventaires,** *Nadine Guingand, Mélynda Hassouna, Solène Lagadec* \_\_\_\_\_ **209**
2. **Évaluation par Analyse de Cycle de Vie de stratégies de baisse du taux protéique dans les aliments pour porcs charcutiers,** *Léa Cappelaere, Marie-Pierre Létourneau-Montminy, William Lambert, Nicolas Martin, Florence Garcia-Launay* \_\_\_\_\_ **215**
3. **Synthèse : Rôle et impact environnemental du cuivre et du zinc en élevage porcin : de l'alimentation au retour au sol des effluents,** *Emma Gourlez, Jean-Yves Dourmad, Alessandra Monteiro, Fabrice Béline, Francine De Quelen* \_\_\_\_\_ **221**
4. **La méthanisation passive : facteurs de réussite et de rentabilité en élevage porcin,** *Anne-Sophie Langlois* \_\_\_\_\_ **233**
5. **Évaluation des performances environnementales d'élevages porcins de demain,** *Sandrine Espagnol, Nadine Guingand, Yvonnick Rousselière, Pascal Levasseur, Valerie Courboulay, Laurent Alibert, Christine Roguet, Christophe Durand* \_\_\_\_\_ **239**
6. **Effet du système de chauffage en post-sevrage sur l'ambiance, les performances et l'intégrité physique des animaux,** *Frédéric Kergourlay, Alexis Bioy, Solène Lagadec, Mathilde Hazon, Claire Walbecque, Nicolas Villain* \_\_\_\_\_ **245**
7. **Efficacité d'un additif alimentaire phyto-génique sur les émissions d'ammoniac en phase d'engraissement des porcs,** *Sandra Chamusco, Anja Keiner, Roberto Montanhini Neto, Tobias Aumiller* \_\_\_\_\_ **247**
8. **Effet d'une baisse du taux protéique sur les performances, la qualité de carcasse et les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre durant la période d'engraissement,** *Sam Millet, Josselin Le Cour Grandmaison, William Lambert, Aude Simongiovanni, Peter Demeyer, Loes Laanen, Shaojie Zhuang, Carolien De Cuyper, Laid Doudah, Marijke Aluwe, Eva Brusselman* \_\_\_\_\_ **249**
9. **Potentiel méthanogène des effluents porcins,** *Pascal Levasseur, Vincent Blazy, Francois Gervais, Sevan Kabakian, Bastien Zennaro, Olivier Azam, Hélène Carrere* \_\_\_\_\_ **251**
10. **Évolutions des formes azotées dans le mélange lisier-eaux de lavage des laveurs d'air,** *Anne-Sophie Langlois, Solène Lagadec, Mathilde Hazon, Ninog Maréchal, Ludovic Masson* \_\_\_\_\_ **253**
11. **Réduction des émissions de gaz à effet de serre issues des déjections porcines : scénarios prospectifs de 2020 à 2050,** *Pascal Levasseur et Nicolas Quéral* \_\_\_\_\_ **255**



## BIEN-ÊTRE, REPRODUCTION ET CONDUITE D'ÉLEVAGE

1. **Hiérarchie dans les groupes de truies gestantes : méthodes de calcul, caractéristiques et lien avec les données d'alimentation**, *Mathilde Lanthony, Maëva Durand, Carole Guérin, Charlotte Gaillard, Céline Tallet* \_\_\_\_\_ **257**
2. **Évaluation des impacts de la chaleur sur le taux de réussite à la saillie chez la truie**, *David Renaudeau, Benjamin Denece, Pierre Corre, Sylviane Boulot, Brigitte Badouard, Jean-Yves Dourmad* \_\_\_\_\_ **263**
3. **Etude de la prise colostrale en élevages à taux de pertes sur nés vivants élevés. Analyse de la situation en lien avec les pratiques d'élevage, l'homéothermie des porcelets et la production colostrale des truies**, *Philippe Leneveu, Anne Durand, Bleuenn Lahuec, Amélie Gilet, Eric Lewandowski, Thierry Solignac* \_\_\_\_\_ **269**
4. **Evaluation de protocoles associant tranquillisation, analgésie et anesthésie lors de la castration des porcelets**, *Valerie Courboulay, Christine Filliat, Marie Lefrançois, Armelle Prunier, Céline Tallet, Gwenola Touzot-Jourde, Françoise Pol* \_\_\_\_\_ **275**
5. **Comment améliorer les pratiques de sevrage en élevage commercial de porcs ? : conséquences sur la santé et le bien-être des animaux**, *Solenn Gavaud, Karine Haurogné, Arnaud Buchet, Inès Garcia-Vinado, Marie Allard, Mily Leblanc-Maridor, Jean-Marie Bach, Catherine Belloc, Blandine Lieubeau, Julie Hervé* \_\_\_\_\_ **281**
6. **Conséquences d'une baisse temporaire de la température ambiante, une semaine après le passage à l'aliment 2<sup>ème</sup> âge, sur les performances et la santé des porcelets sevrés**, *Noémie Lemoine, Marion Bournazel, David Brillouet, David Guillou* \_\_\_\_\_ **287**
7. **Evaluation de la puberté de cochettes Landrace Français et indentification de facteurs de variation**, *Sylviane Boulot, Armelle Prunier, Marie-José Mercat, Raphaël Comté, Loïc Flatres Grall, Aurélie Le Dreau, Hélène Quesnel, Catherine Larzul.* \_\_\_\_\_ **293**
8. **Des clés de réussite pour la conduite des truies libres en verraterie**, *Camille Gérard, Marie-Lou Bernard, Rémi Berthevas, Dorothée Desson, Gabriel Manach, Mélanie Ropars* \_\_\_\_\_ **295**
9. **Performances et comportements dans des loges de mise bas avec truies en liberté adaptées à l'élevage biologique**, *Ariane Dekeuwer, Vincent Servais, Xavier Kinif, Myriam Delhayé, José Wavreille* \_\_\_\_\_ **297**
10. **Premiers résultats sur les performances obtenues dans les maternités liberté aménagées à la station porcine de Crecom**, *Nicolas Villain et Yannick Ramonet* \_\_\_\_\_ **299**
11. **Enquête exploratoire sur les pratiques entourant l'arrêt du meulage des dents des porcelets**, *Nicolas Villain et Marie-Lou Bernard* \_\_\_\_\_ **301**
12. **Impact de la pratique des tétées alternées sur la prise colostrale**, *Philippe Leneveu, Anne-Lise Bodard, Morgane Remond, Eric Lewandowski, Patrick Bourguignon* \_\_\_\_\_ **303**
13. **Evaluation de la condition physiologique de porcelets sevrés après exposition au stress social**, *Gemma Tedo, Pol Llonch, Jose J. Pastor* \_\_\_\_\_ **305**
14. **Présentation de l'installation porcine biologique INRAE, # porganic : choix techniques et premiers résultats**, *Stéphane Ferchaud, Tony Terrasson, Stéphane Moreau, Doryan Grivault, Yvon Billon* \_\_\_\_\_ **307**

## SANTÉ ANIMALE

1. **Biosécurité et santé : caractérisation multidimensionnelle de la biosécurité dans 20 élevages porcins et mesure des états de santé associés**, *Pierre Levallois, Mily Leblanc-Maridor, Christine Fourichon, Catherine Belloc* \_\_\_\_\_ **309**
2. **Construction d'un modèle prescriptif visant à proposer des pistes d'amélioration personnalisées pour les éleveurs de porcs**, *Arnaud Buchet, Laurent Daluzeau, Justina Ivanauskaite, Ivan Trestkov, Bastien Riera, Jean-Yves Legaud, Florian Voisin, Sylvie Chouet* \_\_\_\_\_ **315**
3. **Les filières « porcs élevés sans antibiotiques » en France : caractéristiques, atouts, limites et perspectives. Projet européen Roadmap**, *Christine Roguet et Anne Hemonic* \_\_\_\_\_ **321**
4. **Synthèse : L'élevage de porcs en systèmes alternatifs : atouts et défis en termes de bien-être animal, biosécurité, santé animale et sécurité**, *Maxime Delsart, Françoise Pol, Barbara Dufour, Nicolas Rose, Christelle Fablet* \_\_\_\_\_ **327**
5. **Propagation du virus de l'hépatite E de la case à la filière : analyse de réseaux complexes et modélisation**, *Pachka Hammami, Stefan Widgren, Vladimir Grosbois, Andrea Apolloni, Nicolas Rose, Mathieu Andraud* \_\_\_\_\_ **339**

6. **Modélisation de la propagation de la peste porcine africaine : appui scientifique auprès des décideurs**, *Mathieu Andraud, Pachka Hammami, Brandon Hayes, Timothée Vergne, Gustavo Machado, Nicolas Rose* \_\_\_\_\_ **345**
7. **La supplémentation en acides aminés spécifiques améliore les performances de croissance des porcelets en post-sevrage dans un modèle d'infection naturelle**, *Mihai-Victor Curtasu, Benedict Yanibada, Angel René Alfonso Avila, Tristan Chalvon-Demersay, Marie-Pierre Létourneau-Montminy* \_\_\_\_\_ **351**
8. **Essai de gestion de la douleur lors de la castration chirurgicale de porcelets mâles associant anesthésie locale et analgésie**, *Agnès Waret-Szkuta, Enora Maze, Christophe Durand, Olivier Maniaval, Christine Meymerit, Guilhem Poudevigne, Roxane Rossel, Vasco Simoes, Mathilde Koralewski, Didier Concordet* \_\_\_\_\_ **357**
9. **Détection précoce des diarrhées chez les porcelets sevrés à partir des données d'abreuvement, d'alimentation et de poids**, *Johan Thomas, Yvonnick Rousselière, Michel Marcon, Anne Hémonic* \_\_\_\_\_ **362**
10. **Panel Inaporc, suivi des usages d'antibiotiques en élevage de porcs en France entre 2010, 2016 et 2019**, *Alexandre Poissonnet, Isabelle Corrége, Claire Chauvin, Anne Hémonic* \_\_\_\_\_ **369**
11. **SanÉco'Sim et GT-Direct, deux outils pour estimer le coût des mesures de biosécurité et envisager leur retour sur investissement**, *Alexandre Poissonnet, Alexia Aubry, Yvonnick Rousselière, Isabelle Corrége* \_\_\_\_\_ **371**
12. **Construction d'un score sanitaire d'élevage en production porcine**, *Laurent Daluzeau, Sylvie Chouet, Justina Ivanauskaite, Bastien Riera, Jean-Yves Legaud, Florian Voisin, Arnaud Buchet* \_\_\_\_\_ **373**
13. **Détection de problèmes techniques à partir de données individuelles d'abreuvement de truies gestantes**, *Ellynn Nizzi, Anne Boudon, Charlotte Gaillard* \_\_\_\_\_ **375**
14. **Etude de la consommation d'eau des porcelets en post-sevrage lors de traitements réalisés au moyen d'une pompe doseuse connectée**, *Claudio Trombani et Angele Suzanne* \_\_\_\_\_ **377**
15. **Vaccination des porcs contre *Lawsonia intracellularis* à l'aide d'un nouveau vaccin inactivé injectable : premiers résultats issus d'un cas clinique terrain**, *Claudio Trombani, Baptiste Legaud, Laurent Daluzeau, Didier Duivon* \_\_\_\_\_ **379**
16. **Prévention vaccinale de l'iléite porcine dans un élevage recourant habituellement à l'antibiothérapie**, *Fabien Larcher, Ferdinand Launay, Laurent Daluzeau, Sylvie Chouet, Martial Rigaut, Didier Duivon* \_\_\_\_\_ **381**
17. **Influence de la vaccination par voie orale contre *Escherichia coli* F4/F18 sur l'évolution des prescriptions d'antibiotiques et les performances zootechniques en élevage porcin**, *Kevin Gauvrit, Aline Lefebvre, Christian Spindler, Fabrice Boutin, Bernard Fily, Nicolas Geffroy, Mily Leblanc Maridor, Catherine Belloc* \_\_\_\_\_ **383**
18. **Prévalence des infections et évolution du pH urinaire chez les truies**, *Emma Cantaloube, Lucie Gautier, Mathieu Couteau, Fabien Larcher, Thomas Gin, Sylvie Heliez, Aurélien Urquia* \_\_\_\_\_ **385**
19. **Anémie des truies avant mise-bas : prévalence et relation avec les performances des truies**, *Lucie Gautier, Mathieu Couteau, Emma Cantaloube, Fabien Larcher, Thomas Gin, Ferdinand Launay* \_\_\_\_\_ **387**
20. **Quel impact d'une supplémentation en oligo-éléments associée ou non à un hépatoprotecteur en fin de gestation sur les performances des truies et de leurs porcelets ?**, *Mily Leblanc-Maridor, Charlene Pirard, Cindy Brebion, Florence Maupertuis, Catherine Belloc, Aude Dubois* \_\_\_\_\_ **389**
21. **Influenza de type A : intérêt de la détection virale chez les porcelets allaités**, *Agnès Jardin, Sophie Brilland, Philippe Leneveu, Nathalie Capdevielle* \_\_\_\_\_ **391**
22. **Classification des porcelets en retard de croissance et relation avec la santé et la croissance**, *Johana Bellon, Marion Girard, Giuseppe Bee, Catherine Ollagnier* \_\_\_\_\_ **393**
23. **Effet de la supplémentation en produits à base de plantes sur la physiologie des truies et des porcelets pendant la lactation et au sevrage**, *Lucile Hervé, Hélène Quesnel, Amaury Greuter, Laurent Hugonin, Nathalie Le Floc'H* \_\_\_\_\_ **395**
24. **Effet d'une combinaison levure vivante - paroi de levure comparé à un traitement avec l'oxyde de zinc sur la santé et les performances zootechniques de porcelets sevrés**, *Dorthe Carlson, Niels Ove Nielsen, Wouter De Bruin, Géraldine Kuhn* \_\_\_\_\_ **397**
25. **Impact de l'âge au sevrage sur la prévalence des diarrhées**, *Isabelle Corrége, Nathalie Quiniou, Didier Gaudré, Nathalie Le Floc'H* \_\_\_\_\_ **399**

26. **Alternative aux antibiotiques pour réduire les diarrhées de post-sevrage : interaction entre une nouvelle formulation d'oxyde de zinc et un mélange de tannins**, *Johana Bellon, Maria-Rita Mellino, Nicolas Pradervand, Sebastien Dubois, Agathe Romeo, Olivier Desrues, Giuseppe Bee, Catherine Ollagnier* \_\_\_\_\_ **401**
27. **Validation d'un automate d'hématologie et établissement d'intervalles pour les paramètres hématologiques du porcelet autour du sevrage**, *Mily Leblanc Maridor, Dorothée Picq, Corentin Montfort, Arnaud Buchet, Blandine Lieubeau, Julie Hervé, Catherine Belloc* \_\_\_\_\_ **403**
28. **Infection à *Streptococcus suis* provoquant de la mortalité aiguë chez les porcs à l'engraissement**, *Caroline Bonckaert, Emily Rolly, Charlotte Brossé, Tamara Vandersmissen, Stefan Roels, Ludivine Tillière, Frédéric Smeets* \_\_\_\_\_ **405**
29. **Description du premier cas d'identification d'un nouveau circovirus porcin, le PCV3, en France**, *Maud Contrant, Cécilia Bernard, Lionel Bigault, Christelle Fablet, Valérie Normand, Nicolas Rose, Yannick Blanchard* \_\_\_\_\_ **407**





# GÉNÉTIQUE ET QUALITÉ DES PRODUITS



# Evaluation du modèle de prédiction de la composition en acides gras du porc

Rosil LIZARDO (1), Núria TOUS (1), Enric ESTEVE-GARCIA (1), Veronika HALAS (2), Jaap VAN MILGEN (3)

(1) IRTA, Nutrición Animal, Ctra Reus-el Morell, Km 3.8, 43120 Constantí, Espagne

(2) Université de Kaposvar, Département de Nutrition Animale, Guba S. 40, 7400 Kaposvar, Hongrie

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles, France

[rosil.lizardo@irta.es](mailto:rosil.lizardo@irta.es)

## Evaluation du modèle de prédiction de la composition en acides gras du porc

Un module d'utilisation digestive et métabolique des lipides et acides gras (AG) a été couplé au modèle InraPorc de simulation de la croissance du porc. Celui-ci a été utilisé pour prédire la croissance de la masse de lipides en ajustant certains de ses paramètres afin de s'approcher au mieux des performances (consommation d'aliment, croissance journalière) réalisées par les animaux lors des essais. A son tour, la valeur de la masse lipidique est utilisée en tant qu'intrant du module d'AG afin d'estimer le dépôt de chaque AG et établir la composition en AG de l'animal entier au moment de l'abattage. Les données expérimentales basées sur cinq études et vingt régimes alimentaires ont été utilisées pour valider le module. Même si beaucoup d'AG peuvent être identifiés, les acides palmitique, stéarique, oléique et linoléique représentent plus de 95% du total des AG obtenus lors de l'analyse chimique des échantillons de porcs nourris avec des régimes standards. Leur contenu dans les études utilisées variait, respectivement, de 18,2 à 28,7, de 9,8 à 17,8, 33,1 à 51,0 et de 5,3 à 27,1% pour les AG palmitique, stéarique, oléique et linoléique. Les résultats ont montré que le module prédit assez bien les dépôts d'AG individuels au cours de la croissance, ainsi que le total d'AG observé lors de l'abattage ( $r = 0,93$  ;  $P < 0,001$ ). Les prédictions ont varié, respectivement, de 14,9 à 27,0, de 8,8 à 16,4, de 28,9 à 56,4 et 6,2 à 35,0% pour les AG palmitique ( $r = 0,89$ ;  $P < 0,001$ ), stéarique ( $r = 0,66$ ;  $P = 0,001$ ), oléique ( $r = 0,87$ ;  $P < 0,001$ ) et linoléique ( $r = 0,85$ ;  $P < 0,001$ ). D'après ces résultats, il est possible de conclure sur l'intérêt de l'utilisation du module de composition en AG couplé au modèle InraPorc afin d'étudier l'influence des stratégies alimentaires et prédire la qualité du gras du porc.

## Evaluation of the prediction model of whole-body fatty acid composition of the pig

A module for the digestive and metabolic use of lipids and fatty acids (FA) was coupled to the InraPorc simulation model. The later was used to predict the lipid mass by adjusting some parameters to approximate the best performance (feed intake, growth rate) achieved by the animals during the trials. Then, the lipid mass is used as an input to the FA module to estimate their growth and establish the FA composition in the whole animal at slaughter. Data from 5 studies and twenty experimental diets were used to validate the module. Although many FAs can be identified, palmitic, stearic, oleic, and linoleic acids account for over 95% of the total FAs obtained during chemical analysis of pork samples. Their content on the studies used in this work ranged from 18.2 to 28.7, 9.8 to 17.8, 33.1 to 51.0 and 5.3 to 27.1 % for palmitic, stearic, oleic, and linoleic, respectively. Predictions ranged from 14.9 to 27.0, 8.8 to 16.4, 28.9 to 56.4 and 6.2 to 35.0% for palmitic ( $r = 0.89$ ;  $P < 0.001$ ), stearic ( $r = 0.66$ ;  $P = 0.001$ ), oleic ( $r = 0.87$ ;  $P < 0.001$ ) and linoleic ( $r = 0.85$ ;  $P < 0.001$ ), respectively. Even if adjustments can always be done to ameliorate predictions, these results already showed that the FA module predicted quite well the deposition of total FA along growth ( $r = 0.93$ ;  $P < 0.001$ ), as well as that of individual FAs at different slaughter weights. From these results, it can be concluded about the interest of the development of the FA module coupled to the InraPorc model to study the influence of feeding strategies and to predict the quality of pork.

## INTRODUCTION

Au poids d'abattage habituel, le porc contient environ 20 à 25% de lipides, qui se répartissent majoritairement entre les tissus adipeux sous-cutané, inter et intramusculaire et le gras de la cavité abdominale (Desmoulin *et al.*, 1988). A part les tissus adipeux, les lipides sont également présents dans toutes les autres structures corporelles puisque constituants essentiels des membranes cellulaires. Les propriétés technologiques, organoleptiques ou, diététiques des tissus adipeux dépendent très fortement de leur composition en acides gras (AG) et en particulier du contenu en AG polyinsaturés (AGPI). Des valeurs d'au moins 12% d'acide stéarique et un maximum en acide linoléique compris entre 12 et 15% sont souvent indiquées en tant que référence de qualité technologique de la viande (Girard *et al.*, 1988).

La composition en AG est très fortement influencée par des facteurs comme l'alimentation ou d'autres facteurs liés à l'animal tels que le génotype, le sexe, l'âge, le poids vif ou l'état d'engraissement (Lebret et Mourot, 1998), voire par des facteurs environnementaux tels que la température (Lizardo *et al.*, 2002a). En effet, la consommation totale d'aliment, le contenu en matières grasses et leur composition en AG, ainsi que le dépôt de protéines ou de lipides corporels sont des facteurs majeurs de variation de la composition en AG des tissus. L'utilisation de porcs de génétiques très maigres, de mâles entiers ou d'aliments à forte densité énergétique par ajout d'huiles végétales augmente très fortement la proportion d'AGPI, entraînant donc un risque majeur pour la qualité technologique de la viande.

Des modèles d'aide à la prise de décision comme InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008) sont souvent utilisés pour simuler les conséquences des stratégies alimentaires sur les performances et la qualité des carcasses des porcs. Cependant, les critères de qualité de la viande tels que la composition en AG ne sont pas décrits. Par conséquent, le but du présent travail est de développer un module du dépôt des lipides corporels et leur composition en AG afin de le coupler à des modèles plus généralistes de la croissance du porc.

### 1. DESCRIPTION DU MODELE

Le module de croissance des lipides et leur composition en AG s'appuie sur celui de Lizardo *et al.* (2000, 2002) lequel, à son tour, était bâti sur un modèle d'utilisation des nutriments pour la croissance, développé par De Lange (1995). Cependant, lors de l'évaluation de ce modèle, il a été observé que le dépôt total de lipides était surestimé et entraînait, par conséquent, un biais dans le dépôt des AG individuels et donc de leur proportion dans les tissus (Lizardo *et al.*, 2002b).

Le modèle InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008) est maintenant utilisé en remplacement du modèle de De Lange (1995) pour simuler l'utilisation des régimes et les performances des porcs le long de la croissance (Figure 1). Les résultats de ces simulations sont ensuite repris pour générer des entrées permettant d'estimer l'ensemble des AG de l'animal à partir de la masse lipidique simulée par ailleurs. Parmi ceux-ci, la somme des acides palmitique, stéarique, oléique et linoléique correspond à environ 85-90% du total des AG identifiés dans le

gras ou la viande de porc. Les autres AG considérés dans le modèle sont les acides myristique, palmitoléique et linoléique. A l'exception d'animaux nourris avec des régimes particuliers, tels que ceux enrichis avec des huiles de poisson, l'ensemble des autres AG pouvant être identifiés dans le gras du porc ne dépasse pas le seuil de 2,5%. Individuellement, ils seraient donc négligeables mais pour éviter l'introduction d'un biais, ils sont regroupés en tant qu'AG mineurs dans une seule variable.

Le modèle considère une triple origine pour les AG : ceux déjà présents sur l'animal, ceux directement apportés par l'aliment et ceux synthétisés *de novo* à partir de précurseurs métaboliques (Figure 1). La façon dont chacune de ces trois sources est prise en compte et comment les différents AG se redistribuent dans le modèle ont été décrits auparavant (Lizardo *et al.*, 2002b). Le modèle précédent était développé intégralement sur le logiciel Stella® tandis que maintenant on simule d'abord sur InraPorc et on transfère et travaille après sur Excel®.

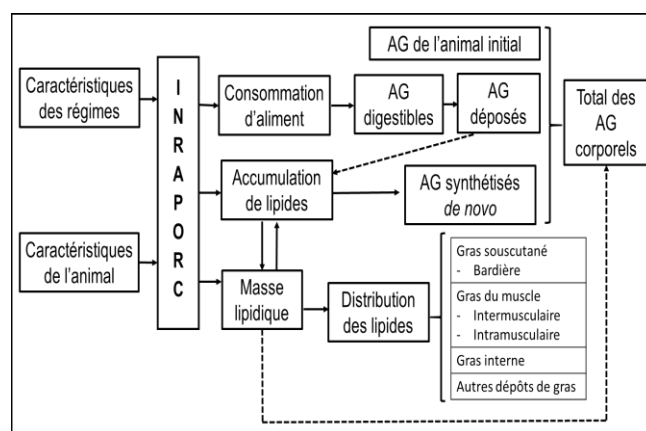
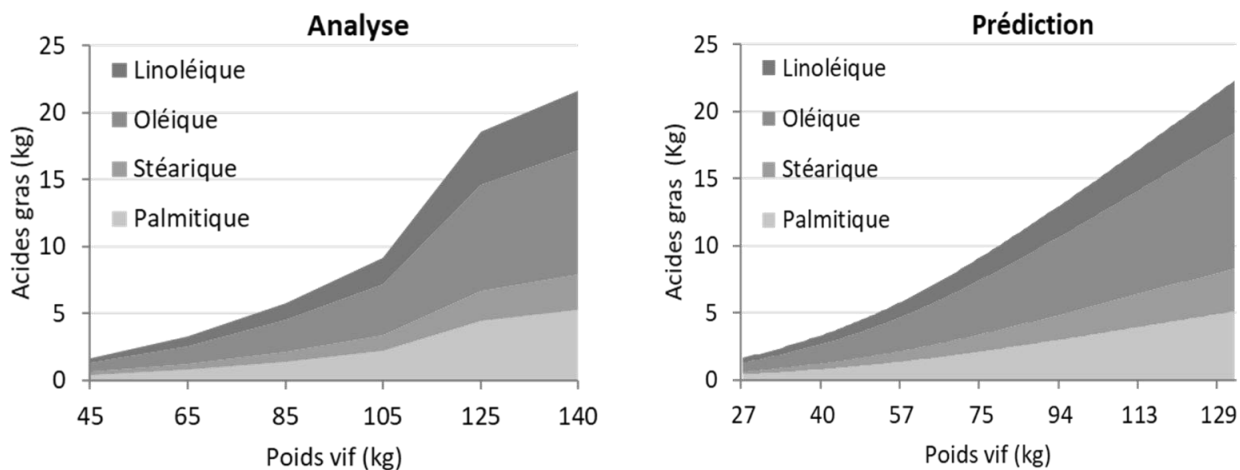


Figure 1 – Conceptualisation du modèle de croissance et composition en AG du porc

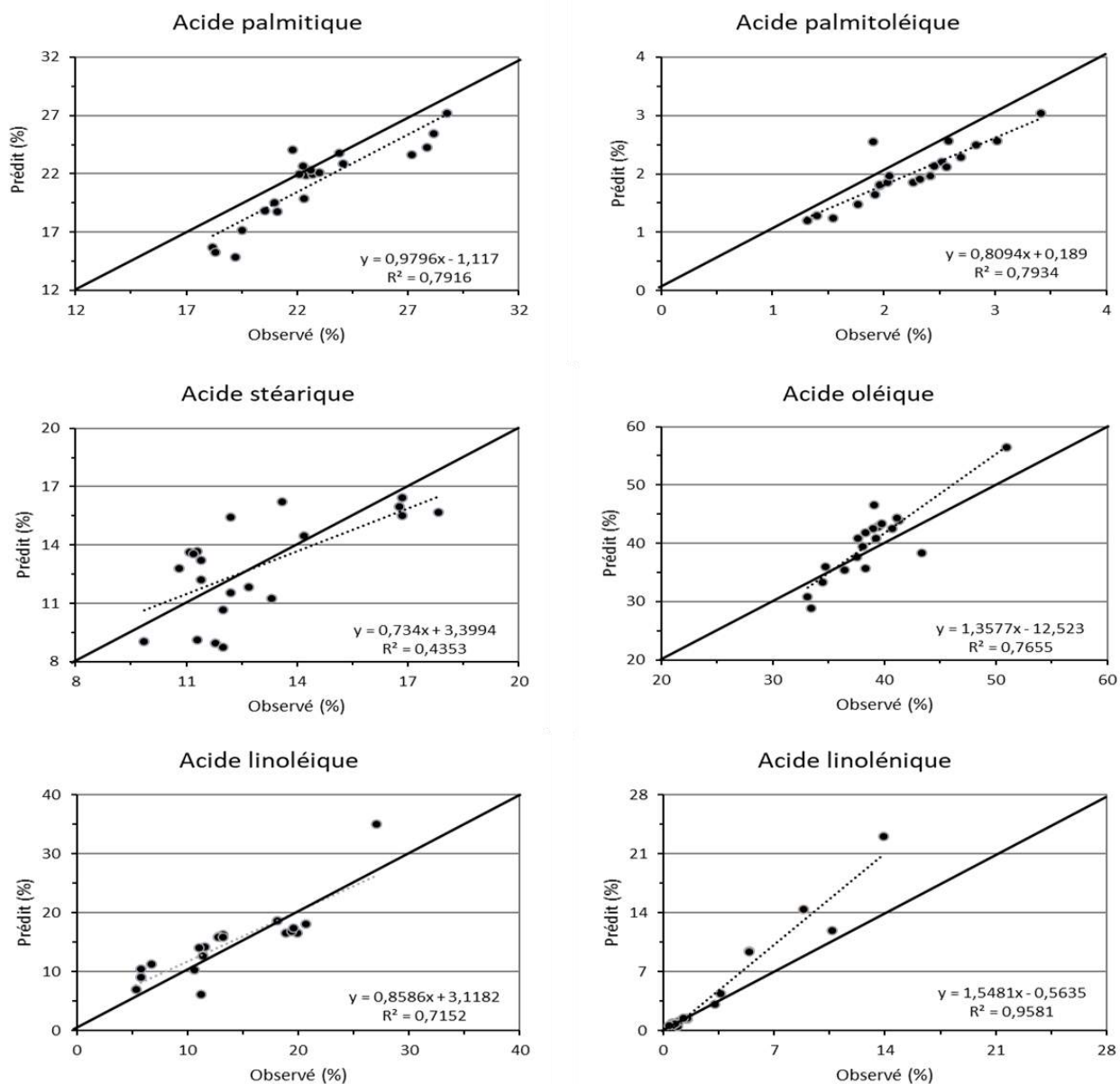
### 2. EVALUATION DU MODELE

L'influence de certains paramètres du modèle de base, tels que la consommation d'aliment, le dépôt maximal de protéines corporelles ou le ratio minimal entre le dépôt de protéines et de lipides, ainsi que d'autres critères spécifiques du module des AG sur le devenir des AG majoritaires dans la bardière, a été testée par analyse de sensibilité (Lizardo *et al.*, 2002b). Cette pièce a été choisie, d'abord par manque de données concernant l'animal entier, puis parce qu'elle est représentative du tissu adipeux sous-cutané, le dépôt adipeux le plus abondant du porc, et finalement en raison d'un plus grand nombre de données disponibles dans la littérature.

Des études ont été réalisées depuis (Tibau *et al.*, 2002 ; Kloareg *et al.*, 2007 ; Duran-Montgé *et al.*, 2010 ; Skiba *et al.*, 2015 ; Raj *et al.*, 2017) dans lesquelles le corps entier de l'animal y compris les viscères a été broyé après l'abattage et des échantillons pris pour analyse ultérieure des AG. Dans l'étude de Tibau *et al.* (2002), les porcs avaient été nourris avec un même régime alimentaire pendant l'engraissement et soumis à des abattages sériés réalisés à environ 45, 65, 85, 105, 125 et 140 kg de poids vif apportant beaucoup de données sur l'évolution de la masse et du contenu en AG au cours de la croissance (Figure 2).

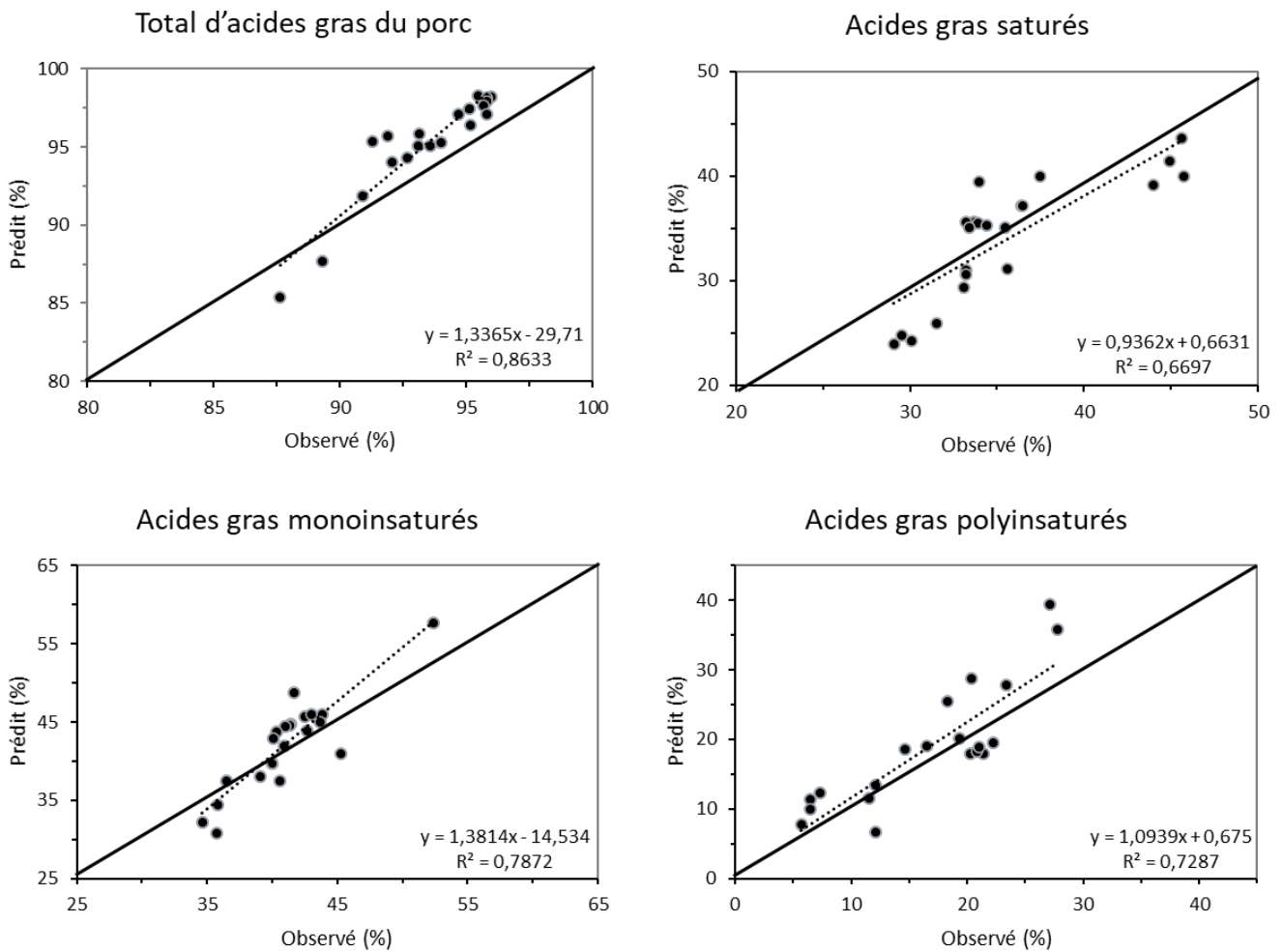


**Figure 2** – Evolution de la masse corporelle des AG palmitique, stéarique, oléique et linoléique d’après les résultats d’analyse chimique d’échantillons d’animaux abattus et entièrement broyés à 45, 65, 85, 105, 125 et 140 kg de PV (Tibau *et al.*, 2002) et les résultats de simulation le long de la croissance avec le modèle.



**Figure 3** – Comparaison entre valeurs analysées (Tibau *et al.*, 2002 ; Kloareg *et al.*, 2007 ; Duran-Montgé *et al.*, 2010 ; Skiba *et al.*, 2015 ; Raj *et al.*, 2017) et prédites par le modèle du pourcentage de chaque AG (palmitique, palmitoléique, stéarique, oléique, linoléique et linolénique) dans l’animal entier (chaque point correspond à un régime expérimental et le trait noir à la bissectrice de l’angle entre valeurs observées et prédites).





**Figure 4** – Comparaison entre valeurs analysées (Tibau *et al.*, 2002 ; Kloareg *et al.*, 2007 ; Duran-Montgé *et al.*, 2010 ; Skiba *et al.*, 2015 ; Raj *et al.*, 2017) et prédites par le modèle de la totalité des AG ou de la somme des pourcentages par famille (AG saturés, monoinsaturés et polyinsaturés) dans l'animal entier (chaque point correspond à un régime expérimental et le trait noir à la bissectrice de l'angle entre valeurs observées et prédites).

La simple observation de l'évolution des masses d'AG analysées et prédites semble indiquer une bonne estimation par le modèle. Cela étant, à 140 kg PV, il semblerait que le modèle pourrait surestimer de 2-3 points la teneur en AG oléique et stéarique, tout en sous-estimant la teneur en AG linoléique de 2 points (données non présentées). Les AG palmitique et linoléique seraient quant à eux bien estimés.

Dans les quatre autres études (Kloareg *et al.*, 2007, Duran-Montgé *et al.*, 2010, Skiba *et al.*, 2015, Raj *et al.*, 2017), les animaux d'un essai donné avaient été abattus à un poids vif similaire. En revanche, ils avaient été nourris avec une vingtaine de régimes alimentaires contenant des sources et des niveaux de matières grasses très variables. Par conséquent, la composition et/ou contenu en AG était aussi variable et donc, très intéressant pour valider et étudier les réponses lors des simulations avec le modèle. Les données observées ont été utilisées pour évaluer les résultats de la composition en AG de l'animal entier obtenus par simulation avec le modèle. Pour cela, les procédures PROC CORR et PROC REG du logiciel SAS (SAS Inst., Cary, NC) ont été utilisées.

La durée d'engraissement, la consommation moyenne journalière de chaque régime expérimental et le dépôt maximal de protéines des porcs ont été ajustés empiriquement sur

InraPorc afin obtenir un gain moyen quotidien et une consommation totale d'aliment similaires aux résultats rapportés dans ces études. Les teneurs d'AG observées dans l'animal entier variaient de 18,2 à 28,7% pour l'AG palmitique, de 1,3 à 3,4% pour l'AG palmitoléique, de 9,9 à 1,8% pour l'AG stéarique, de 33,1 à 51,0% pour l'AG oléique, de 5,3 à 27,1% pour l'AG linoléique, et de 0,4 à 13,9% pour l'AG linoléique.

Les valeurs prédites variaient entre 14,9 et 27,0% pour l'acide palmitique et concordaient ( $r = 0,89$ ) avec les observations. Des résultats similaires ont été obtenus pour l'acide palmitoléique qui variait de 1,2 à 3,0% ( $r = 0,89$  ;  $P < 0,001$ ). Bien qu'aucun écart systématique par rapport aux valeurs observées n'ait été observé pour l'acide stéarique (8,8-16,4%), les prévisions n'étaient pas très précises ( $r = 0,66$  ;  $P = 0,001$ ). Les prévisions pour les acides oléique (28,9-56,4%), linoléique (6,2-35,0%) et linoléique (5,24-23,1%) étaient plus précises (respectivement  $r = 0,87$ ,  $r = 0,85$ ,  $r = 0,98$  ; all  $P < 0,001$ ). La pente de la courbe des acides stéarique, oléique et linoléique est, quant à elle, différente de 1 ( $P < 0,01$ ) tandis que l'ordonnée à l'origine n'est en aucun cas différente de 0 ( $P > 0,05$ ). Ceci semble indiquer une sous- ou surestimation des valeurs observées lors de concentrations très élevées de ces AG et donc pas très habituelles dans le gras du porc. Dans la gamme de valeurs



plutôt observées (plus de 80%) pour le porc, le modèle semble prédire raisonnablement la totalité de la masse d'AG de l'animal entier ( $r = 0,93$  ;  $P < 0,001$ ; Figure 4), de même que les familles des AG saturés ( $r = 0,82$ ;  $P < 0,001$ ) et polyinsaturés ( $r = 0,85$ ;  $P < 0,001$ ). Malgré la bonne corrélation obtenue pour AG monoinsaturés ( $r = 0,89$  ;  $P < 0,001$ ), que ce soit la pente de la courbe ou l'ordonnée à l'origine sont très différents de 1 et 0, respectivement. Ce résultat pourrait être la conséquence de l'inclusion d'un régime synthétique lipidoprive (Duran-Montgé *et al.*, 2010), par ailleurs très rarement utilisé dans la pratique. Les résultats obtenus auparavant pour la bardière (Lizardo *et al.*, 2002b), étaient plutôt satisfaisants mais ne représentaient qu'une partie de l'animal et il fallait voir l'effet sur l'ensemble et même si des ajustements sont encore nécessaires, les résultats actuels semblent raisonnables confirmant l'intérêt de l'utilisation de ce genre d'outils pour prédire la qualité du gras de porc.

## CONCLUSION

Le couplage du module des AG avec le modèle InraPorc peut être envisageable car l'amélioration de la prédiction de masse de lipides corporels peut contribuer à son tour, à une amélioration de la prédiction des différents AG. Par ailleurs, l'utilisation des résultats de études portant sur la composition de l'animal entier montre bien que modèle peut aussi bien fonctionner pour l'ensemble de l'animal que pour certains tissus comme celui de la bardière démontré auparavant. Ainsi, au regard de ces résultats, il est possible de conclure sur l'intérêt du développement du module de composition en AG couplé au modèle InraPorc afin d'étudier l'influence des stratégies alimentaires et prédire la qualité du gras du porc.

## REMERCIEMENTS

L'étude a été réalisée dans le cadre du projet Feed-a-Gene financé par le programme H2020 de l'Union européenne (n° accord 633631).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- De Lange C.F.M., 1995. Framework for a simplified model to demonstrate principles of nutrient partitioning for growth in the pig. In "Modelling Growth in the Pig", P.J. Moughan, M.W.A. Verstegen, M.I. Visser-Reyneveld (Eds.), Wageningen Pers., Wageningen, Pays-Bas, 71-85.
- Desmoulin B., Girard J.P., Bonneau M., Frouin, A., 1983. Aptitudes à l'emploi des viandes porcines suivant le type sexuel, le système d'alimentation et le poids d'abattage. Journées Rech. Porcine, 15, 177-192.
- Duran-Montgé P., Realini C.E., Barroeta A.C., Lizardo R., Esteve-Garcia E., 2010. De novo fatty acid synthesis and balance of fatty acids of pigs fed different fat sources. Livest. Sci., 132, 157-164.
- Girard J.P., Bout J., Salort D., 1988. Lipides et qualités des tissus adipeux et musculaires de porc, facteurs de variation. I. Lipides et qualités des tissus adipeux, facteurs de variation. II. Lipides et qualités des tissus musculaires, facteurs de variation. Journées Rech. Porcine, 20, 255-278.
- Kloareg M., Noblet J., van Milgen J., 2007. Deposition of dietary fatty acids, de novo synthesis and anatomical partitioning of fatty acids in pigs. British J. Nutr., 97, 35-44.
- Lebreton B., Mourot J., 1998. Caractéristiques et qualité des tissus adipeux chez le porc. Facteurs de variation non génétiques. INRA Prod. Anim. 11, 131-143.
- Lizardo R., van Milgen J., Mourot J., Noblet J., Bonneau M., 2002. Modélisation du dépôt de lipides et de la composition en acides gras du tissu adipeux au cours de la croissance du porc. Journées Rech. Porcine, 32, 305-309.
- Lizardo R., Le Bellego L., Noblet J., van Milgen J., Mourot J., 2002. Effet de la température d'élevage et de la nature du régime sur la composition en acides gras du tissu adipeux du porc. Journées Rech. Porcine, 34, 45-51.
- Lizardo R., van Milgen J., Mourot J., Noblet J., Bonneau M., 2002. A nutritional model of fatty acid composition in the growing-finishing pig. Livest. Prod. Sci., 75, 167-182.
- Raj S., Skiba G., Sobol M., Pastuszewska B., 2017. Effects of dietary fat on the saturated and monosaturated fatty acid metabolism in growing pigs. Arch. Anim. Nutr., 71, 257-271.
- Skiba G., Polawska E., Sobol M., Raj S., Weremko D., 2015. Omega-6 and omega-3 fatty acids metabolism pathways in the body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. Arch. Anim. Nutr., 69, 1-16.
- Tibau J., Gonzalez J., Soler J., Gispert M., Lizardo R., Mourot J., 2002. Influence du poids à l'abattage du porc entre 25 et 140 kg de poids vif sur la composition chimique de la carcasse : effets du génotype et du sexe. Journées Rech. Porcine, 34, 1-7.
- Van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.Y., Sève B., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 143, 387-405.



# Production de mâles entiers en conditions Label Rouge : impacts sur la qualité de carcasse et la qualité organoleptique des produits de viande

Arnaud BUCHET (1), Frédéric PENNAMEN (2), Marie-Hélène DOHOLLOU (3), Pauline DOUSSAL (1)

(1) Cooperl Innovations SAS, 1 rue de la Gare, 22640 Plestan, France

(2) Cooperl Groupement d'éleveurs, 21 rue d'Armor Maroué, 22403 Lamballe-Armor Cedex, France

(3) Cooperl Viandes, rue de la Jeannaie Maroué, 22403 Lamballe-Armor, Cedex, France

arnaud.buchet@cooperl.com

Avec la collaboration de Mickael BENOIT, Daniela PENNDU et Anne LACOSTE

## Production de mâles entiers en conditions Label Rouge : impacts sur la qualité de carcasse et la qualité organoleptique des produits de viande

La castration à vif, provoquant une douleur pour les porcelets, est une pratique de plus en plus rejetée par la société et les consommateurs. Elle peut être une solution pour s'affranchir des odeurs indésirables dans la viande de porcs mâles entiers engendrées par l'accumulation d'androsténone et de scatol dans le gras des porcs mâles entiers à la puberté. Actuellement, le cahier des charges Label Rouge n'autorise pas la production de mâles entiers, jugée à risque pour la qualité de la viande. Depuis 2013, Cooperl a mis en place un ensemble de solutions techniques, génétiques et de détection dans les outils d'abattage permettant aux éleveurs de réduire la prévalence du phénomène et de proposer au consommateur une viande de qualité, levant ainsi les risques liés à cette production. Les objectifs de cette étude sont d'étudier les effets du sexe sur la qualité de carcasse et de viande et de comparer la qualité organoleptique de porcs mâles entiers et mâles castrés élevés dans les conditions du Label Rouge. Des porcs (52 femelles, 51 mâles castrés et 39 mâles entiers) issus du même élevage ont été élevés dans les conditions Label Rouge (LA 35/06). Les animaux nés la même semaine, et donc issus du même lot, ont été abattus le même jour. Les données de qualité de carcasse et de qualité de viande ont ensuite été collectées. Un test organoleptique triangulaire a été organisé sur des côtes échine. Les mâles entiers et castrés ont eu des croissances similaires en élevage (672 vs 671 g/jour,  $P > 0,05$ ). Les mâles entiers ont un TMP (Taux de Muscle par Pièce) plus élevé en raison d'une épaisseur de gras inférieur par rapport aux mâles castrés. Il n'y a pas de différences de pH après 24 h (5,76 vs 5,75,  $P > 0,05$ ), de taux d'exsudat (3,46% vs 3,25%,  $P > 0,05$ ) et de teneur en gras intramusculaire (3,46% vs 3,67%,  $P > 0,05$ ) entre les mâles entiers et les mâles castrés. Au cours de l'épreuve triangulaire, les consommateurs ont conclu à une similitude entre la viande issue de porcs mâles entiers et celle de porcs mâles castrés. En conclusion, l'amélioration du bien-être animal des porcs élevés en filière Label Rouge par l'arrêt de la castration ne semble donc pas de nature à changer la qualité des produits proposés aux consommateurs.

## Entire male production under "Label Rouge" conditions: impacts on carcass quality and organoleptic quality of meat products

Castration, leading to pain for piglets, is more and more rejected by society and consumers. It can be a solution to avoid boar taint, which is sometimes caused by accumulation of androstenone and skatole in the fat of entire pigs at puberty. To date, "Label Rouge" requirements do not allow for the production of entire males, which are considered to risk meat quality. Since 2013, Cooperl has implemented a set of technical and genetic solutions, as well as detection in slaughterhouses, which help farmers reduce prevalence of the phenomenon and provide high-quality meat to consumers, removing risks related to this mode of production. The objectives of this study were to investigate effects of sex on carcass and meat quality and to compare the carcass organoleptic quality of entire and castrated male pigs reared under "Label Rouge" conditions. Pigs (52 females, 51 castrated males and 39 entire males) from one farm member of Cooperl were reared under "Label Rouge" conditions (LA 35/06). Experimental pigs were slaughtered the same day, and data on carcass and meat qualities were collected. An organoleptic test was performed on pork shoulder ribs. Entire and castrated males had similar growth (672 vs 671 g/day,  $P > 0.05$ ). Entire males had higher lean meat percentage (TMP) due to lower backfat thickness than castrated males. There were no differences in pH after 24 h (5.76 vs 5.75,  $P > 0.05$ ), exudative percentage (3.46% vs 3.25%,  $P > 0.05$ ) or intramuscular fat rate (3.46% vs 3.67%,  $P > 0.05$ ) between entire and castrated males. During triangular tests, consumers concluded that meat from entire and castrated males were similar. In conclusion, improving the animal welfare of pigs reared under "Label Rouge" conditions by banning castration does not seem to change the quality of products provided to consumers.

## INTRODUCTION

La castration des porcs mâles nécessite une opération chirurgicale qui engendre une douleur pour les porcelets (Prunier *et al.*, 2005). Cette opération est largement critiquée par la société civile et les consommateurs qui sont de plus en plus sensibles à la question du bien-être animal. Cette tendance a conduit le gouvernement français à interdire la castration à vif à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2022. Cependant, la viande issue de porcs mâles entiers peut comporter un défaut de qualité de viande liée à l'accumulation d'androsténone et de scatol dans le gras en lien avec la puberté de l'animal (Zamaraskaia et Squires, 2009). Depuis 2013, Cooperl a mis en place une détection de ces odeurs sur la chaîne d'abattage par des nez humains. Des facteurs techniques et génétiques associés à un fort taux d'odeur de mâles entiers ont été identifiés par les équipes techniques de Cooperl et sont recensés pour chaque élevage dans un plan de progrès Mâles entiers odorants. L'application de ces mesures de gestion permet de maîtriser le risque de viandes odorantes. Les conditions de production communes (CPC) de la viande de porcs issue d'élevage Label Rouge n'autorisent actuellement pas la production de mâles entiers (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2017). Des discussions sont actuellement en cours à l'INAO pour lever cette interdiction. Si aujourd'hui, les éleveurs qui produisent des mâles entiers parviennent à maîtriser ces facteurs, des doutes persistent parmi les acteurs de la filière porcine française sur la qualité de la viande de porc issue d'un mode de production Label Rouge compte tenu des spécificités du Label Rouge, notamment l'âge minimum à l'abattage qui est de 182 jours.

Les objectifs de cette étude sont donc d'étudier les effets du sexe sur la qualité de carcasse et la qualité de viande et de comparer la qualité organoleptique de la viande fraîche issue de porcs mâles entiers ou castrés élevés selon le cahier des charges Label Rouge.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux expérimentaux

Des porcs, de génétique NUCLEUS (Large White x Landrace) x Piétrain, issus de 10 portées d'un élevage produisant des porcs Label Rouge (LA 35/06, OGD : Fermiers de Loire et Maine, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2017) et adhérent à la Coopérative Cooperl, ont été intégrés à l'étude. Les mâles issus de cinq portées ont été castrés, avec une prise en charge de la douleur post-opératoire par analgésie, dans la première semaine de vie tandis que les porcs mâles issus des cinq autres portées sont restés entiers.

**Tableau 1** – Composition nutritionnelle des aliments distribués aux porcs expérimentaux

	Nourrain	Croissance	Finition
Matières azotées totales (%)	15,6	15,2	14,3
Energie Nette (MJ/kg)	9,7	9,7	9,7
Lysine digestible (g/kg)	9,4	8,3	7,8
Lysine digestible/Energie Nette (g/MJ)	0,97	0,86	0,80
Omega 3 (g/kg)	0	0	7,1
Omega 6 / Omega 3	0	0	1,6

Au sevrage, à 28 jours d'âge, les porcelets de l'étude ont été logés dans une même salle de post-sevrage puis, à partir de 75 jours d'âge dans une même salle d'engraissement. Au cours de la phase d'élevage, les porcs expérimentaux ont reçu des aliments distribués à sec à volonté pour la phase nourrain et à soupe et rationnés pour les phases croissance et finition. Ces aliments ont été produits par Cooperl Nutrition (Tableau 1) dans le respect du cahier des charges porc Label Rouge (LA 35/06).

A 187 jours d'âge, les porcs expérimentaux (n= 142), 52 femelles, 51 mâles castrés et 39 mâles entiers, ont été abattus à l'abattoir Cooperl de Lamballe (22).

### 1.2. Mesures et prélèvements à l'abattoir

Les données de qualité de carcasse ont été collectées par Uniporc. Le TMP (Taux de Muscle par Pièce) a été estimé par l'Image Meater. L'odeur de mâles entiers a été déterminée sur les carcasses de porcs mâles entiers dans le gras par une méthode dite du « nez humain » adaptée de Mathur *et al.* (2012) et développée dans d'autres bassins de production européens.

Le pH 24 h après abattage a été mesuré au niveau de la longe. Les exsudats ont été mesurés selon la méthode danoise EZ-Driploss (Danish Meat Research Institute, 2018). Brièvement, environ 24 h après abattage, un morceau de muscle d'environ 10 g est prélevé au niveau de la pointe et positionné dans un tube de collecte des exsudats. La quantité de jus de viande écoulée 48 h après la collecte, soit 72 h après l'abattage, est mesurée et rapportée à la quantité de viande collectée afin de déterminer le pourcentage d'exsudation du muscle.

Des morceaux de muscle d'environ 300 g ont été prélevés 24 h après l'abattage au niveau de la pointe. La quantité de lipides totaux du muscle (gras intramusculaire) a été déterminée par hydrolyse acide, extraction à l'éther de pétrole et gravimétrie. Ces analyses chimiques ont été réalisées par le laboratoire Labexia (Quimper, France).

### 1.3. Estimation des poids de pièces

Les poids des principales pièces des carcasses des animaux expérimentaux ont été estimés à partir de l'outil autoFOM III (Fromatec, Kolding, Danemark). L'appareil mesure, à partir de 16 sondes à ultrasons, 48 paramètres d'images permettant d'estimer, à partir d'équations de prédictions calculées par le fabricant, des poids de pièces.

En raison des particularités de découpe française et de la production de mâles entiers, les équations de prédictions fournies par l'équipementier ont été recalibrées. Ainsi, 367 carcasses de porcs : 160 femelles, 48 mâles castrés et 159 mâles entiers, distribuée de manière représentative aux approvisionnements de Cooperl en termes de poids de carcasse et de TMP, ont été scannées par l'appareil puis entièrement disséquées. Chaque pièce a ainsi été pesée. Ensuite des équations de prédictions du poids de 19 pièces ont été calculées à partir d'un échantillon de calibration de 275 porcs. Le reste de l'échantillon initial, 92 porcs, a été utilisé comme échantillon de validation. Parmi les 19 pièces dont le poids a été estimé, cinq pièces ont été retenues comme étant, à dire d'experts, représentatives de la valeur de la carcasse d'un porc :

- Jambon dégraissé et désossé
- Epaulé 4D
- Echine
- Noix de carré
- Poitrine avec os

Au-delà du poids de chaque pièce, la proportion des deux pièces de chaque demi-carcasse par rapport au poids de carcasse a été calculée.

#### 1.4. Tests organoleptiques

Des côtes échine avec os issues de 10 carcasses de porcs mâles castrés et 10 carcasses de porcs mâles entiers ont été prélevées. Ces carcasses ont été sélectionnées en considérant les caractéristiques moyennes de chaque sexe : poids de carcasse chaud entre 89 kg et 105 kg, TMP entre 60,6% et 62,6% et M3 entre 71 mm et 78 mm pour les mâles entiers et TMP entre 60,0% et 62,0%, M3 et poids de carcasses chaud identiques aux mâles entiers pour les mâles castrés (Tableau 2).

**Tableau 2** – Qualité des carcasses et des viandes des carcasses de porcs mâles entiers et mâles castrés élevés dans les conditions du Label Rouge (LA 35/06) et sélectionnés pour le test organoleptique

	Mâles castrés	Mâles entiers	Ecart type Résiduel	Effet Modalité <sup>1</sup>	Effet poids de carcasse chaud <sup>1</sup>
n	10	10			
TMP (%)	60,8	61,5	1,6	ns	**
Poids de carcasse chaud (kg)	101,1	98,7	7,4	ns	-
Épaisseur de gras G3 (mm)	15,20	12,90	2,39	***	***
Épaisseur de muscle M3 (mm)	78,88	75,53	5,79	ns	*
Exsudats 48 h (%)	2,22	2,76	1,15	ns	ns
pH Longe 24 h	5,81	5,76	0,08	ns	ns
Gras intramusculaire pointe (%)	3,79	3,55	1,47	ns	ns

<sup>1</sup>\*  $P < 0,05$ , \*\*  $P < 0,01$ , \*\*\*  $P < 0,001$ , ns : non significatif

Une épreuve triangulaire conforme à la norme NF EN ISO 4120 a été organisée par le laboratoire Capinov (Landerneau, France) avec 60 personnes, consommateurs réguliers de viande de porc (au moins une fois par mois, Tableau 3) dans le but de déterminer si la viande de porc issue de mâles entiers élevés dans les conditions du Label Rouge est perçue de façon similaire à la viande de porc issue de mâles castrés Label Rouge. Brièvement, les deux produits à comparer sont présentés dans trois récipients, un produit étant doublé. L'objectif pour le consommateur est de trouver l'échantillon unique.

**Tableau 3** – Constitution détaillée du panel de consommateurs de l'étude

Variable	Descriptif	Distribution
Sexe	Hommes	39%
	Femmes	61%
Age	20-29 ans	7%
	30-39 ans	5%
	40-49 ans	16%
	50-59 ans	13%
	60-69 ans	38%
	70 et plus	21%
Fréquence de consommation de viande de porc	> 1 fois/semaine	56%
	2-3 fois/mois	39%
	1 fois/mois	5%

#### 1.5. Analyses statistiques

Le logiciel R a été utilisé pour les analyses statistiques. Une analyse de la variance (fonction `lm()` et `anova()`) avec la modalité de l'essai (femelle, mâle castré ou mâle entier) en variable explicative et le poids de carcasse chaud en covariable a été calculée pour chaque variable concernant la qualité de

carcasse et la qualité de viande (Tableau 2). Un test *ad hoc* de Tukey (fonction `clid` du package `Multcomp`) de comparaison des moyennes a été utilisé lorsque l'effet de la modalité était significatif au seuil de 5%.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1.1. Phase d'élevage des animaux

La croissance entre la naissance et l'abattage des femelles est similaire à celle des mâles entiers et des mâles castrés (respectivement 655 g/jour de vie vs 672 g/jour de vie et 671 g/jour de vie,  $P > 0,05$ ). Les âges à l'abattage observés dans cette étude sont conformes à la limite basse de 182 jours d'âge à l'abattage inscrite dans le cahier des charges Label Rouge. Par contre, l'âge à l'abattage est légèrement inférieur à la moyenne d'âge à l'abattage de 195 jours observée chez les éleveurs Label Rouge de Cooperl (étude interne, 2020). En conséquence, nous observons des croissances légèrement meilleures dans cette étude (655 à 672 g/jour de vie) comparée à la moyenne des croissances observées dans ce cahier des charges (620 à 635 g/jour de vie). Cette différence de performances peut être attribuée à l'élevage choisi pour cette étude. En effet, les performances moyennes des porcs Label Rouge issus de cet élevage en 2020 sont en accord avec ceux observés ici : âge à l'abattage de 188 jours et croissance de 660 g/jour de vie (données internes, 2020).

### 2.1.2. Qualité de carcasse

Les poids de carcasse des porcs à l'abattage ne sont pas différents entre les sexes des animaux de l'étude (Tableau 4). L'épaisseur de muscle mesurée au point P3 ne diffère pas entre les sexes ( $P > 0,05$ ). L'épaisseur de gras au point P3 est supérieure pour les femelles et les mâles castrés par rapport au G3 des mâles entiers ( $P < 0,001$ ). Le pourcentage de muscle par pièce (TMP) est différent entre les mâles entiers et les mâles castrés. Le TMP des femelles n'est pas différent des deux autres sexes. Aucune carcasse issue de mâles entiers n'a



été identifiée comme odorante dans cette étude. Les différences de qualité de carcasses observées entre les trois sexes de cette étude sont conformes avec les données de la bibliographie (Quiniou *et al.*, 2010). Les femelles ont une épaisseur de muscle identique aux mâles entiers et aux mâles castrés mais une épaisseur de gras différente des mâles entiers dans notre étude mais identique à celles publiées dans la littérature (Quiniou *et al.*, 2010).

Les poids de carcasse chauds sont supérieurs dans notre étude par rapport à l'étude précédente, respectivement 96,7 kg à 99,1 kg vs 90 kg à 95 kg (Quiniou *et al.*, 2010), en accord avec l'évolution à la hausse des poids de carcasse chaud observée par Uniporc Ouest (92 kg en 2010 vs 96 kg en 2021, UNIPORC, 2021). Par conséquent, la hausse des poids de carcasse ne semble pas avoir modifiée les différences d'épaisseurs de gras et de maigre entre les sexes.

**Tableau 4** – Qualité des carcasses et des viandes des carcasses de porcs mâles entiers, mâles castrés et femelles élevés dans les conditions du Label Rouge (LA 35/06)

	Femelles	Mâles castrés	Mâles entiers	Ecart-type résiduel	Effet Modalité <sup>1</sup>	Effet poids de carcasse chaud <sup>1</sup>
n	52	51	39			
TMP (%)	61,3 <sup>ab</sup>	60,6 <sup>a</sup>	62,1 <sup>b</sup>	1,7	***	***
Poids de carcasse chaud (kg)	96,7	99,0	99,1	7,9	ns	-
Épaisseur de gras G3 (mm)	13,74 <sup>b</sup>	14,63 <sup>b</sup>	11,67 <sup>a</sup>	2,54	***	***
Épaisseur de muscle M3 (mm)	78,05	76,23	74,69	5,28	ns	***
Exsudats 48h (%)	3,49	3,25	3,46	1,74	ns	ns
pH Longe 24 h	5,74	5,75	5,76	0,16	ns	ns
Gras intramusculaire pointe (%)	3,78	3,67	3,46	1,25	ns	*
Mâles entiers odorants (%)	-	-	0	-	-	-

<sup>1</sup> \*  $P < 0,05$ , \*\*  $P < 0,01$ , \*\*\*  $P < 0,001$ , ns : non significatif, <sup>ab</sup> pour une même ligne : les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de  $P < 0,05$ .

### 2.1.3. Estimation des poids de pièces

Les poids de pièces estimés sont identiques dans les trois sexes pour le jambon désossé (Tableau 5). Pour toutes les autres pièces : épaule, échine, noix de carré et poitrine avec os, les poids de pièces sont identiques dans les femelles et les mâles castrés, eux-mêmes différents des poids de pièces issues de mâles entiers.

La proportion de poids de pièces par rapport au poids de carcasse suit la même tendance que pour les valeurs absolues des poids. Les mâles entiers élevés dans les conditions du Label Rouge ont une proportion de poids de jambons désossés identiques ( $P > 0,05$ ), des proportions de poids d'épaules ( $P < 0,001$ ) et d'échine ( $P < 0,001$ ) plus grandes et des proportions de noix de carré ( $P < 0,001$ ) et de poitrine avec os plus petites que les mâles castrés Label Rouge.

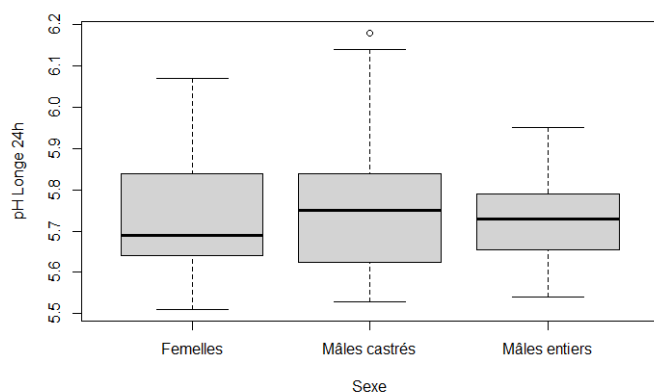
**Tableau 5** – Poids et proportion des principales pièces estimés des carcasses de porcs de sexe femelles, mâles entiers, mâles castrés élevés dans les conditions du Label Rouge (LA 35/06)

	Femelles	Mâles castrés	Mâles entiers	Ecart-type résiduel	Modalité <sup>1</sup>	Effet poids de carcasse chaud <sup>1</sup>
n	52	51	39			
Poids de carcasse chaud (kg)	96,7	99,0	99,1	7,9	ns	
Poids de jambon désossé estimé (kg)	9,26	9,17	9,21	0,26	ns	***
Jambons désossés (% poids de carcasse)	18,85	18,66	18,75	0,53	ns	***
Poids d'épaule estimé (kg)	4,67 <sup>a</sup>	4,65 <sup>a</sup>	4,79 <sup>b</sup>	0,10	***	***
Epaules (% poids de carcasse)	9,51 <sup>a</sup>	9,47 <sup>a</sup>	9,76 <sup>b</sup>	0,20	***	***
Poids échine estimé (kg)	4,18 <sup>a</sup>	4,17 <sup>a</sup>	4,27 <sup>b</sup>	0,07	***	***
Echines (% poids de carcasse)	8,5 <sup>a</sup>	8,5 <sup>a</sup>	8,7 <sup>b</sup>	0,14	***	***
Poids de noix de carré estimé (kg)	3,72 <sup>b</sup>	3,66 <sup>b</sup>	3,53 <sup>a</sup>	0,16	**	***
Noix de carré (% poids de carcasse)	7,57 <sup>b</sup>	7,44 <sup>b</sup>	7,19 <sup>a</sup>	0,33	***	ns
Poids de poitrine avec os estimé (kg)	6,71 <sup>b</sup>	6,76 <sup>b</sup>	6,57 <sup>a</sup>	0,12	***	***
Poitrines avec os (% poids de carcasse)	13,63 <sup>b</sup>	13,72 <sup>b</sup>	13,33 <sup>a</sup>	0,25	***	***

<sup>1</sup> \*  $P < 0,05$ , \*\*  $P < 0,01$ , \*\*\*  $P < 0,001$ , ns : non significatif, <sup>ab</sup> pour une même ligne : les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de  $P < 0,05$ .

Ainsi, les mâles entiers se caractérisent par une distribution de viande sur la carcasse au profit des avants, épaule et échine et au détriment de la poitrine et de la noix de carré, les arrières restant identiques quel que soit le sexe. Ces résultats confirment les données de la littérature (Kress *et al.*, 2020, Nautrup *et al.*, 2018).

A notre connaissance, alors que les produits transformés dominés par le jambon cuit et le saucisson sec représentent près de 70% des débouchés de la filière porc Label Rouge en France (Legendre, 2018), la production de porcs mâles entiers, avec une proportion relative identique de poids de jambons par rapport aux mâles castrés ne semble pas source de modification dans le marché. De plus, la plus forte proportion d'échine chez les mâles entiers par rapport aux mâles castrés et aux femelles laisse la possibilité d'une meilleure valorisation de viande fraîche plus gustative que dans la noix de carré.



**Figure 1** – pH mesuré dans la longe 24 h après l’abattage selon le sexe des animaux expérimentaux

#### 2.1.4. Qualité de viande

Les taux d’exsudats mesurés 72 h après abattage ne sont pas différents entre les porcs mâles entiers, mâles castrés ou femelles élevés dans les conditions Label Rouge (Tableau 4,  $P > 0,05$ ). Les pH mesurés 24 h après l’abattage sur le jambon ne sont pas différents entre les trois groupes d’animaux. Enfin, la teneur en gras intramusculaire mesuré dans la pointe ne diffère pas entre les porcs issus des trois sexes de l’étude. Les variables influençant les qualités de la viande de porc sont relativement bien décrites dans la littérature, la génétique et les conditions d’abattage sont les facteurs les plus influents (Kerisit, 2000).

Dans notre étude, les porcs sont tous issus de la génétique NUCLEUS, du même élevage et ont été abattus dans des conditions similaires sur un seul départ. Les verrats Piétrain Nucleus dont sont issus les animaux expérimentaux sont issus d’un noyau de sélection 100% homozygote résistant au stress (non sensibilité au gène Halothane) conformément au cahier des charges Label Rouge LA 35/06 et sélectionné sur des indicateurs de qualité de viande (pH et exsudats, NUCLEUS, 2021). L’allèle de sensibilité à l’halothane est associé à une qualité de viande dégradée mesurée par le pH 24 h après abattage et les taux d’exsudats (Merour *et al.*, 2009)

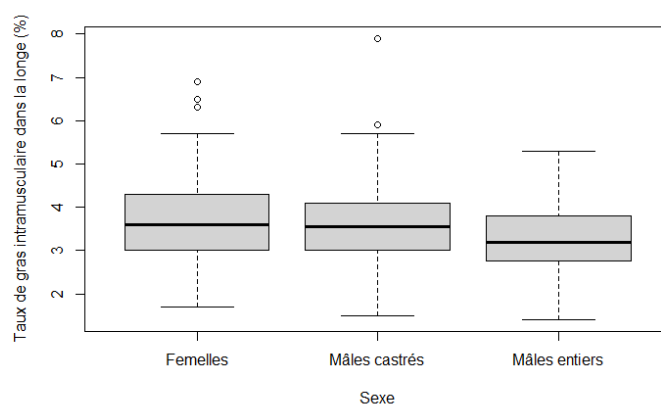
La variabilité des critères de qualité de viande au sein de chaque sexe (Figures 1, 2 et 3) laisse entrevoir une variabilité individuelle conséquente au niveau des individus. Cette variabilité individuelle semble plus forte que la variabilité entre sexes, en conformité avec la littérature (Kerisit, 2000).

#### 2.1.5. Test organoleptique triangulaire

Au cours du test triangulaire comparant des côtes échine issues de porcs mâles entiers élevés dans les conditions du Label Rouge ou de porcs mâles castrés Label Rouge, 19 consommateurs parmi les 60 personnes de l’étude ont identifié l’échantillon intrus parmi les trois échantillons présentés. Par conséquent, il n’y a pas de différence gustative entre les deux viandes ( $P > 0,05$ ).



**Figure 2** – Taux d’exsudat mesuré dans la longe 72 h après abattage selon le sexe des animaux expérimentaux



**Figure 3** – Teneur en gras intramusculaire mesuré dans la longe 72 h après abattage selon le sexe des animaux expérimentaux

## CONCLUSION

L’objectif de cette étude était de comparer la qualité de la viande de porcs femelles, mâles castrés et mâles entiers élevés dans les conditions du Label Rouge. En élevage, les croissances des mâles sont similaires à celles des femelles. A l’abattoir, les poids de carcasse sont identiques mais les TMP sont supérieurs pour les mâles entiers que pour les mâles castrés en raison d’une épaisseur de gras inférieure pour les mâles entiers. La qualité de la viande mesurée par le pH ultime, le taux d’exsudat ou la teneur en gras intramusculaire, n’est pas différente entre les sexes. La répartition des masses des pièces sur la carcasse diffère par une plus forte proportion d’avants (épaule et échine) chez les mâles entiers par rapport aux mâles castrés et une plus faible proportion de poitrine et de noix de carré, la proportion de masse de jambon restant identique entre les sexes. Ainsi, l’amélioration du bien-être animal des porcs élevés en filière Label Rouge par l’arrêt de la castration ne semble donc pas de nature à changer la qualité des produits proposés aux consommateurs ou les équilibres de la filière de production porcs Label Rouge.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Danish Meat research Institute, 2018. Instruction manual for EZ-Driploss. 16 January 2018.
- Kerisit R., 2000. Quelle est l'influence des conditions d'élevage sur la qualité de la viande de porc ? *Techni Porc*, vol. 23, n°1. 17-21.
- Kress K., Hartung J., Jasny J., Stefanski V., Weiler U., 2020. Carcass characteristics and primal cuts of gilts, boars, immunocastrates and barrows using autoFOM III data of a commercial abattoir. *Animal*, 10, 1912-1925.
- Legendre V., 2018. Segmentation du Marché : les SOQ poursuivent leur progression. *Baromètre porc IFIP*, octobre 2018.
- Mathur P.K., Napel J., Bloemhof S., Heres L., Knol E., Mulder H., 2012. A human nose scoring system for boar taint and its relationship with androstenone and skatole. *Meat Sci.*, 91, 414-422.
- Merour I., Schwob S., Hermesch S., Larzul C., 2009. Effet du génotype Halothane sur les performances de croissance, qualité de carcasse et de viande. *Techni Porc*, vol. 32, n°6, 9-13.
- Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2017. Conditions de production communes relatives à la production en Label Rouge Porc. Arrêté du 27 Juillet 2017. *Bulletin Officiel du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation n°2017-31*.
- Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2017. Cahier des charges du label Rouge n° LA 35/06 « Viandes fraîches et surgelées, préparations dérivées et abats frais de porc. Arrêté du 11 Août 2017. *Bulletin Officiel du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation n°2017-36*.
- Nautrup B., Vlaenderen I., Aldaz A., Mah C.K., 2018. The effect of immunization against gonadotropin-releasing factor on growth performance, carcass characteristics and boar taint relevant to pig producers and the pork packing industry: a metanalysis. *Res. Vet. Sci.*, 119, 182-195.
- Nucleus, 2021. Verrat Pietrain by Nucleus. Consultable sur <http://www.nucleus-sa.com>.
- Prunier A., Mounier A.M., Hay M., 2005. Effects of castration, tooth resection, or tail docking on plasma metabolites and stress hormones in young pigs. *J. Anim. Sci.*, 83, 216-222.
- Quiniou N., Courboulay V., Salaun Y., Chevillon P., 2010. Conséquences de la non castration des porcs mâles sur les performances de croissance et le comportement : comparaison avec les mâles castrés et les femelles. *Journées Rech. Porcine*, 42, 113-118.
- Uniporc Ouest, 2021. Poids chaud par année zone Uniporc Ouest. Consultable sur <http://www.uniporc-ouest.com/statistiques/stats-generales.html>.
- Zamaratskaia G., Squires E.J., 2009. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal*, 3, 1508-1521.

# Déterminisme génétique du risque d'odeur de verrat dans la population Landrace français

Catherine LARZUL (1), Marie-José MERCAT (2), Claire HASSENFRTZ (2), Céline CARILLIER-JACQUIN (1), Raphaël COMTE (3),  
Benoit BLANCHET (4), Isabelle LOUVEAU (3), Sylviane BOULOT (2), Armelle PRUNIER (3)

(1) Université de Toulouse, INRAE, ENVT, GenPhySE, 24 chemin de Borde-Rouge, 31326 Castanet-Tolosan, France

(2) IFIP-Institut du porc, Alliance R&D, La Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu, France

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 16 Le Clos, 35590 Saint-Gilles, France

(4) INRAE UE3P, 16 Le Clos, 35590 Saint-Gilles, France

[catherine.larzul@inrae.fr](mailto:catherine.larzul@inrae.fr)

## Déterminisme génétique du risque d'odeur de verrat dans la population Landrace français

L'amélioration génétique des lignées porcines peut favoriser l'arrêt de la castration des porcelets tout en minimisant les défauts de qualité de viande développés par les mâles entiers. Tous les types génétiques ne présentent pas le même niveau de risque vis-à-vis de l'odeur de verrat. Aussi, il est important de considérer une sélection lignée par lignée en estimant les paramètres génétiques des composés odorants en lien avec le développement sexuel et les caractères de production. L'étude s'est intéressée au Landrace français, une des principales lignées maternelles françaises. Environ 1000 mâles non castrés ont été élevés, ont eu une prise de sang puis ont été abattus afin de mesurer les performances de croissance et de composition corporelle, de qualité de viande, les niveaux sanguins d'hormones sexuelles et les concentrations des composés odorants du gras. Les paramètres génétiques ont été estimés sur les variables normalisées puis centrées réduites. Les héritabilités sont conformes aux attendus, très élevées pour l'androsténone ( $h^2=0,69$ ) et l'œstradiol ( $h^2=0,79$ ). Les corrélations génétiques des composés odorants sont modérées à élevées avec la testostérone et l'œstradiol mais proches de 0 avec la progestérone et le cortisol. Les corrélations génétiques avec la vitesse de croissance, le pH ultime ou la couleur sont plutôt faibles, alors qu'elles sont modérées et favorables avec l'adiposité de la carcasse. Il est donc possible d'intégrer la diminution de la teneur en molécules odorantes du gras dans les objectifs de sélection, soit directement, soit via les hormones sexuelles, tout en maîtrisant l'incidence sur les performances de production.

## Genetic determinism of boar taint in the French Landrace pig breed

Following the cessation of piglet castration, genetic improvement of pig lines can help minimize the occurrence of the defect in meat quality called boar taint, which is developed by non-castrated males. Since pig breeds differ in their risk of developing boar taint, it is important to consider line-by-line selection by estimating genetic parameters of odorant compounds in relation to sexual development and production traits. The present study focused on French Landrace, one of the main French maternal lines. Approximately 1000 non-castrated males were raised and then slaughtered to measure growth performance, body composition and meat quality, including concentrations of the fat-odorant compounds androstenone and skatole. A blood sample was taken just before slaughtering to measure plasma levels of four steroid hormones. Genetic parameters were estimated from the standardized and then centered reduced variables. As expected, heritability values were high for androstenone ( $h^2=0.69$ ) and estradiol ( $h^2=0.79$ ). Genetic correlations of boar taint compounds were moderate to high with testosterone and estradiol but close to 0 with progesterone and cortisol. Genetic correlations of the compounds were relatively low with growth rate, ultimate pH or color, but moderate and favorable with carcass leanness. It is therefore possible to include reduction in fat-odorant molecules in selection objectives, either directly or via sex hormones, while controlling their impacts on production performance.

## INTRODUCTION

Au niveau européen, l'abandon de la castration chirurgicale sans anesthésie progresse. Des réglementations qui vont dans ce sens ont été récemment adoptées dans plusieurs pays européens. En France, cette pratique est prohibée depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022. L'une des motivations premières de la castration des porcs mâles est l'amélioration de la qualité de la viande, principalement pour prévenir l'apparition d'un défaut d'odeur de la viande connu sous le nom d'odeur de verrat. Les deux principaux composants responsables de ce défaut sont le scatol (résidu produit par certaines bactéries du tube digestif) et l'androsténone (stéroïde produit par les testicules) qui s'accumulent dans les tissus gras chez les mâles entiers. Réduire le niveau de ces deux composés permet en grande partie de résoudre l'occurrence du défaut.

Afin de favoriser l'élevage de porcs mâles non castrés, des lignées sont proposées sous le label « faible odeur de verrat » (Larzul, 2021). L'essentiel de l'effort a porté sur les lignées paternelles. Cependant, l'influence des lignées maternelles sur la qualité du porc charcutier ne doit pas être négligée. Il a en effet été montré que les lignées maternelles sont plus à risque vis-à-vis de l'odeur de verrat et que les niveaux d'androsténone ou de scatol mesurés dans ces lignées sont plus élevés que dans les lignées paternelles (Larzul, 2021). Préciser le déterminisme génétique des composés odorants dans les lignées maternelles françaises est donc un préalable indispensable pour mettre en place des stratégies de sélection visant à limiter l'odeur de verrat sans pénaliser les caractères de production déjà sélectionnés.

La présente étude s'est intéressée à l'une des lignées maternelles les plus présentes dans le croisement des mères du porc charcutier, le Landrace français. Afin de promouvoir des objectifs de sélection prenant en compte le risque d'odeur de verrat, les paramètres génétiques des composés odorants, en lien avec les caractères de croissance, d'efficacité alimentaire, de composition corporelle et de qualité de la viande ont été estimés. Des hormones stéroïdiennes ont également été étudiées afin de préciser les relations génétiques entre les composés odorants et les métabolismes testiculaire et surrénalien, et éventuellement proposer des critères de sélection alternatifs aux composés odorants pour réduire le risque d'odeur de verrat.

## 1. MATERIELS ET METHODES

### 1.1. Animaux

A trois semaines d'âge, des porcelets mâles de race Landrace français ont été transférés de leur élevage de naissance vers la station de phénotypage du Rheu (UE3P, <https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>) en cases de post-sevrage, à raison de 14 porcelets provenant d'un même élevage par case. Le transfert en bâtiment d'engraissement, dans des cases de 14 porcs équipées d'un distributeur automatique d'aliment concentré avec plateau de pesée animale, a été effectué en case entière vers 26 kg pour débiter le contrôle à 35 kg de poids vif. Les animaux ont été abattus à l'abattoir de la Cooperl Arc Atlantique (Montfort, 35). Leur poids vif moyen à jeun était de 117±6 kg, pour un âge médian de 168 jours.

Pendant la période de contrôle, les porcs ont été nourris *ad libitum* avec un aliment dont la teneur en énergie nette (EN) était de 9,6 MJ/kg, la teneur en lysine digestible de 0,94 g/MJ EN, et celle de tryptophane digestible de 1,7 g/kg.

Au total, 1004 animaux, issus de 249 pères, ont été élevés sur 33 bandes entre juin 2018 et avril 2021.

### 1.2. Mesures réalisées

Le gain moyen quotidien (GMQ) a été calculé à partir du poids en début de contrôle, du poids en fin de contrôle et de la durée du contrôle. L'indice de consommation (IC) et la consommation moyenne journalière (CMJ) ont été calculés à partir des consommations enregistrées par les automates de distribution de l'aliment.

La veille du départ pour l'abattoir, à la mise à jeun, du sang a été collecté dans des tubes héparinés au niveau de la veine jugulaire. Les échantillons de sang ont été ensuite centrifugés et le plasma a été conservé à -20°C jusqu'à la mesure des concentrations de testostérone, œstradiol, progestérone et cortisol. Les concentrations ont été mesurées à l'aide de kits ELISA (ST AIA-Pack Testosterone, ST AIA-Pack hsE2, ST AIA-Pack CORT, ST AIA-PackPROGIII, Tosoh Corporation, Tokyo, Japon) mis au point pour un analyseur automatique (AIATosoh Corporation, Tokyo, Japon).

Le rendement de carcasse (RDT) est le rapport entre le poids de la carcasse avec tête 24h après abattage et le poids avant départ à l'abattoir après mise à jeun. Le taux de muscle des pièces (TMP) est calculé (Blum *et al.*, 2014) à partir des mesures effectuées automatiquement à l'abattoir (CSB Image-Meater®). Le pH (pHmètre Sydel, électrode Xerolyt) a été mesuré dans le muscle demi-membraneux 24h post mortem (pH24). Les paramètres de couleur (L\*a\*b\*) ont été mesurés (chromamètre Minolta CR300) sur une coupe fraîche du muscle fessier superficiel.

Le lendemain de l'abattage, un échantillon de bardière a été prélevé au niveau du cou et congelé pour le dosage ultérieur de l'androsténone et du scatol. Les teneurs ont été mesurées par chromatographie en phase liquide à partir du gras liquide (Batorek *et al.*, 2012).

### 1.3. Analyses statistiques

La mesure des teneurs en androsténone et en scatol ne permet pas de discriminer les teneurs inférieures à 0,2 µg/g et 0,03 µg/g, respectivement. Toutes les valeurs inférieures au seuil ont donc été ramenées à la valeur seuil (respectivement 0,2 µg/g et 0,03 µg/g pour l'androsténone et le scatol).

Pour normaliser les distributions, les mesures issues des dosages ont été transformées avant analyse avec la fonction log, exceptée la mesure de testostérone qui a subi une transformation racine carrée. Toutes les variables ont ensuite été centrées réduites.

Les effets retenus dans les modèles d'analyse étaient le poids en fin de contrôle et la date d'abattage, équivalant au lot de mesure, pour les dosages, et les caractères de qualité de viande. Pour les caractères de croissance et de consommation alimentaire, le poids en début de contrôle a été mis en covariable ainsi que l'effet fixe de la bande de contrôle et l'effet aléatoire de la case d'engraissement. Pour les mesures de composition corporelle, le modèle tenait compte du poids avant

départ abattoir et de la bande de contrôle. L'effet animal a été ajouté comme effet aléatoire dans tous les modèles afin d'estimer la variance génétique additive. Pour construire la matrice de parenté, les généalogies ont été prises en compte sur 6 générations à partir des animaux mesurés.

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel VCE6 (Neumaier et Groeneveld, 1998). Les estimations des composantes de variance ont été réalisées conjointement pour les six dosages. Les corrélations génétiques entre les mesures issues des dosages et les autres caractères ont été estimées par des analyses bi-caractères en incluant un des caractères issus de dosages et un des autres caractères.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Héritabilités

Les héritabilités des dosages sanguins et des composés odorants sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1** - Héritabilités (sur la diagonale) et corrélations génétiques pour les paramètres sanguins et les composés odorants

	Testo	Oest	Prog	Cort	Andro	Scat
Testo	0,25	0,70	0,11	-0,01	0,51	0,59
Oest		0,79	0,23	0,03	0,76	0,46
Prog			0,33	0,44	0,34	0,22
Cort				0,54	0,20	0,05
Andro					0,69	0,48
Scat						0,50

Testo : testostérone ; Oest : œstradiol, Prog : progestérone ; Cort : cortisol, Andro : androsténone ; scat : scatol.

Les erreurs standard sont de l'ordre de 0,06 pour les héritabilités et de 0,12 pour les corrélations génétiques.

Les héritabilités estimées pour ces caractères sont toutes modérées à élevées. Les héritabilités les plus élevées sont observées pour le niveau d'œstradiol plasmatique ( $h^2=0,79$ ) et le taux d'androsténone dans le gras dorsal ( $h^2=0,69$ ). Les héritabilités les plus faibles sont observées pour le niveau de testostérone ( $h^2=0,25$ ) et la progestérone ( $h^2=0,33$ ). Les héritabilités estimées pour le cortisol et le scatol sont intermédiaires, autour de 0,5.

L'héritabilité estimée pour l'androsténone est dans la fourchette haute des valeurs publiées précédemment (Larzul, 2021), la valeur moyenne étant de 0,5. Cette valeur estimée est du même ordre de grandeur que les valeurs d'héritabilité estimées dans la population Piétrain français et dans une population croisée Piétrain x Large White (Parois *et al.*, 2015 ; Dugué *et al.*, 2020b). Il était attendu que la valeur d'héritabilité de la teneur en scatol soit plus faible, conformément aux résultats publiés dans la littérature (Larzul, 2021). Il est en effet reconnu que le scatol est plus soumis aux effets environnementaux que l'androsténone.

L'héritabilité de l'œstradiol est plus élevée que celles estimées dans des populations de Landrace ( $h^2=0,65$ ) et Duroc ( $h^2=0,57$ ) norvégiens (Grindflek *et al.*, 2011) et largement plus élevée que les valeurs estimées chez le Landrace ( $h^2=0,09$ ) et Large White ( $h^2=0,42$ ) allemands (Brinke *et al.*, 2021) ou chez des Piétrain et des croisés Piétrain x Large White (Parois *et al.*, 2015 ; Dugué *et al.*, 2020b). Pour cette hormone, le résultat peut sans doute s'expliquer par une standardisation plus stricte de l'échantillonnage, par un âge et un poids plus élevés des animaux dans la présente étude. L'héritabilité de la

testostérone est du même ordre de grandeur ( $h^2=0,25$ ) que celles publiées par Grindflek *et al.* (2011) et Dugué *et al.* (2020b) (entre 0,07 et 0,32). L'héritabilité plus faible de la testostérone par rapport à l'œstradiol, une nouvelle fois confirmée par cette étude, s'explique par une production de testostérone de type pulsatile et plus sensible aux variations de l'environnement et aux sources de stress.

Il existe peu de références pour l'héritabilité du cortisol plasmatique chez le porc. Chez le Landrace en fin d'engraissement, Kadowaki *et al.* (2012) ont estimé une valeur d'héritabilité du cortisol plasmatique à 0,2 et Brinke *et al.* (2021) une héritabilité de 0,11, soit des valeurs largement inférieures à la présente estimation ( $h^2=0,54$ ). La valeur estimée dans cette étude est intermédiaire entre l'héritabilité estimée chez des porcelets Large White avant ( $h^2=0,36$ ) et après ( $h^2=0,68$ ) injection d'ACTH (Larzul *et al.*, 2015). Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour interpréter cette héritabilité. Les différences peuvent s'expliquer par la race ou encore par l'âge au prélèvement. Sachant que l'héritabilité semble plus élevée en situation de stress, il est possible que le niveau mesuré ne soit pas le niveau basal, car au moment de la prise de sang, les animaux étaient déjà isolés afin de préparer leur départ à l'abattoir. Il est également possible que l'héritabilité du cortisol soit élevée en raison de la ségrégation d'une mutation du gène NR3C1 (récepteur aux glucocorticoïdes) ayant une influence directe sur le niveau de cortisol (Murani *et al.*, 2012). La présence de cette mutation a été confirmée dans la population Large White (Larzul *et al.*, 2018a) mais aussi dans la population Landrace français (résultats non publiés).

A notre connaissance, aucune valeur de l'héritabilité de la progestérone plasmatique chez le porc mâle n'a été publiée. Cette hormone est produite par le testicule mais est aussi très probablement d'origine surrénalienne comme le cortisol chez les porcs mâles. Brinke *et al.* (2021) ont dosé ce composé chez des mâles Large White et Landrace, mais la proportion de valeurs au seuil de détection était trop importante pour pouvoir étudier le déterminisme génétique de ce caractère.

### 2.2. Corrélations génétiques

#### 2.2.1. Hormones et composés odorants

Les corrélations génétiques entre les hormones et les composés odorants sont reportées dans le tableau 1. Comme attendu, les corrélations génétiques entre la testostérone, l'œstradiol et l'androsténone sont élevées, comprises entre 0,51 et 0,76. Les valeurs sont en accord avec les valeurs publiées (Grindflek *et al.*, 2011 ; Parois *et al.*, 2015 ; Dugué *et al.*, 2020b ; Brinke *et al.*, 2021).

Si on compare les résultats de la présente étude avec des corrélations précédemment estimées dans des populations Landrace (Grindflek *et al.*, 2011), ces auteurs ont estimé des valeurs de corrélations entre ces mêmes caractères largement plus élevées (comprises entre 0,8 et 0,95). En revanche, Brinke *et al.* (2021) ont publié des corrélations du même ordre de grandeur, comprises entre 0,49 et 0,89. Dans cette dernière étude, la corrélation génétique entre œstradiol et androsténone est la corrélation la plus faible estimée ( $r_g=0,49$ ) alors que, dans la présente étude, la corrélation la plus faible a été estimée entre la testostérone et l'androsténone. Dans tous les cas, ces fortes corrélations illustrent l'existence de voies de synthèse et de dégradation communes à ces différents stéroïdes (Robic *et al.*, 2014).

Les corrélations génétiques entre, d'une part, les stéroïdes



produits par les testicules (androsténone, œstradiol et testosténone) et, d'autre part, les stéroïdes produits majoritairement par les glandes surrénales (progesténone et cortisol) sont faibles (de nulles à 0,34), la plus élevée étant entre la teneur en androsténone et la progesténone (Juniewicz et Johnson, 1984). Pour l'instant, aucun mécanisme ne permet d'expliquer la corrélation génétique entre androsténone et progesténone. Il a été montré qu'une augmentation du cortisol ou de la progesténone n'affectait pas la production de testosténone. Une possible liaison génétique positive entre androsténone et cortisol avait été suggérée par Larzul *et al.* (2019), des mâles sélectionnés sur un niveau élevé de cortisol présentant des niveaux élevés d'androsténone. Cette hypothèse n'est confirmée ni par les résultats de Brinke *et al.* (2021), qui ont estimé des corrélations génétiques nulles voire légèrement négatives entre hormones stéroïdiennes testiculaires et cortisol, ni par la corrélation génétique faible ( $r_g=0,20$ ) estimée dans la présente étude. A partir de l'ensemble de ces résultats, on peut supposer que les activités stéroïdiennes des glandes surrénales et des testicules sont génétiquement relativement indépendantes.

La teneur en scatol est modérément positivement corrélée à la teneur en androsténone, à celle de la testosténone et celle de l'œstradiol. Cette corrélation est conforme aux corrélations précédemment publiées dans la littérature (Larzul, 2021) et attendue, compte tenu des mécanismes physiologiques pouvant expliquer l'accumulation de scatol plus élevée chez les mâles non castrés. En effet, il a été montré que l'androsténone pouvait inhiber le métabolisme du scatol dans le foie (Doran *et al.*, 2002). Il est difficile d'expliquer pourquoi la corrélation entre scatol et testosténone est la plus élevée. Les corrélations génétiques entre scatol et progesténone ou cortisol sont plutôt faibles ( $r_g<0,25$ ). Brinke *et al.* (2021) ont estimé une corrélation génétique négative entre scatol et cortisol en Landrace ( $r_g=-0,21$ ) et positive en Large White ( $r_g=0,38$ ). Les écarts-types d'erreur étant de l'ordre de 0,3 dans cette étude, il est difficile de savoir si ces corrélations sont significativement différentes de 0 et ne sont donc pas forcément en contradiction avec le résultat trouvé dans la présente étude. Une corrélation plutôt positive était toutefois attendue, sachant que le stress, bien connu pour stimuler la production du cortisol, augmenterait aussi la teneur en scatol. Au niveau génétique, cette relation n'est donc pas vérifiée.

### 2.2.2. Croissance et composition corporelle

Les corrélations génétiques estimées entre les mesures sanguines, les composés odorants et les caractères de croissance et de composition corporelle sont reportées dans le tableau 2.

**Tableau 2** - Corrélations génétiques entre les paramètres sanguins et les composés odorants et les caractères de croissance, d'efficacité alimentaire et de composition corporelle.

	GMQ	IC	CMJ	TMP	RDT
Androsténone	-0,05	0,22	0,12	-0,36	-0,36
Œstradiol	0,10	0,44	0,40	-0,44	-0,39
Testosténone	-0,06	0,53	0,43	-0,51	-0,58
Progesténone	0,41	0,31	0,50	-0,09	-0,15
Cortisol	0,13	0,06	0,15	-0,09	0,05
Scatol	-0,09	0,29	0,16	-0,30	-0,45

GMQ : Gain Moyen Quotidien ; IC : Indice de Consommation ; CMJ : Consommation Moyenne Journalière ; TMP : Taux de muscle des Pièces ; RDT : Rendement Carcasse. Les erreurs standard sont de l'ordre de 0,2.

La première constatation est que la vitesse de croissance n'est génétiquement liée à aucune des mesures, si ce n'est la progesténone ( $r_g=0,41$ ). Le deuxième constat est l'absence de corrélation génétique élevée avec le cortisol, alors que celui-ci est décrit comme ayant un effet sur l'adiposité de la carcasse (Mormède *et al.*, 2011). En dehors du cortisol et du GMQ, les corrélations sont moyennes à modérément élevées et sont de même signe, quelle que soit la mesure considérée. L'indice de consommation et la consommation moyenne journalière sont positivement corrélés non seulement aux hormones testiculaires mais aussi à la progesténone, laissant supposer une relation génétique globale avec le métabolisme des stéroïdes. En revanche, le taux de muscle est négativement moyennement corrélé aux hormones testiculaires, et plus particulièrement à la testosténone. Ce résultat est contraire à l'attendu, sachant que la testosténone est connue pour son effet anabolisant sur le muscle. Il faut cependant considérer que les animaux étaient en cours de développement pubertaire et les teneurs faibles en testosténone et œstradiol témoignent de degrés de maturité sexuelle moins avancés comparés aux individus ayant des niveaux de testosténone et d'œstradiol plus élevés. Cela correspondrait à des individus qui commenceraient juste à déposer du gras.

Les corrélations génétiques entre le rendement de carcasse et les mesures sanguines suivent le même schéma que pour le taux de muscle. Il serait intéressant de vérifier si la testosténone, potentiellement liée à un développement plus important des organes génitaux, peut expliquer cette relation avec le rendement.

Les corrélations génétiques négatives entre le taux de muscle et l'androsténone, d'une part, et le scatol, d'autre part, sont cohérentes avec le fait que les lignées les plus maigres sont les moins à risque de développer les odeurs de verrat (Larzul, 2021), sachant que les composés odorants sont lipophiles et s'accumulent essentiellement dans les tissus adipeux. La corrélation génétique négative et modérée entre le rendement et le scatol pourrait avoir un lien avec le développement des viscères. En effet, le scatol est un composé produit par les bactéries du colon, et une augmentation de la proportion de viscères, conduisant à un moins bon rendement pourrait signifier une plus grande abondance de bactéries, donc un potentiel accru de production de scatol.

D'une manière générale, les relations génétiques entre, d'une part, le scatol et l'androsténone et, d'autre part, les caractères de croissance, d'efficacité alimentaire ou de composition corporelle sont considérées comme faibles ou modérément favorables (Larzul, 2021). En effet, sachant qu'une diminution des composés odorants est souhaitée, elle est compatible avec une augmentation de la teneur en muscle de la carcasse, une amélioration du rendement, une amélioration de l'efficacité alimentaire sans avoir d'incidence sur la vitesse de croissance. La même conclusion s'impose avec une diminution des stéroïdes testiculaires.

### 2.2.3. Qualité de la viande

Les corrélations génétiques estimées entre les mesures sanguines, les composés odorants et les caractères de qualité de viande du jambon sont reportées dans le tableau 3.

Le pH mesuré 24h post mortem est peu lié génétiquement aux hormones stéroïdiennes et aux composés odorants. Dugué *et al.* (2020b) ont également montré, dans une population de porcs Piétrain et chez des porcs croisés Piétrain x Large White, que le pH ultime de la viande est faiblement corrélé

génétiqnement aux composés testiculaires, à savoir l'œstradiol, la testostérone ou l'androsténone.

**Tableau 3** - Corrélations génétiques entre les paramètres sanguins et les composés odorants et les caractères de qualité technologique du jambon

	L* FS	a* FS	b* FS	pH24 DM
Androsténone	-0,13	0,36	-0,06	-0,10
Œstradiol	-0,36	0,37	-0,22	-0,09
Testostérone	-0,38	0,37	-0,28	-0,06
Progestérone	-0,18	0,09	-0,33	0,08
Cortisol	0,17	-0,00	0,11	-0,12
Scatol	-0,09	0,21	0,11	-0,04

FS : Fessier Superficiel ; DM : Demi-membraneux.

Les erreurs standard sont de l'ordre de 0,2.

Quant aux paramètres de couleur, ils sont principalement, de manière modérée, génétiquement corrélés à l'œstradiol et à la testostérone ainsi qu'à l'androsténone pour l'indice de rouge ( $r_g=0,36$ ) et à la progestérone pour l'indice de vert ( $r_g=-0,33$ ). Le cortisol n'est génétiquement lié à aucun caractère de qualité de viande.

Il n'existe quasiment pas d'études portant sur les relations génétiques entre qualité technologique de la viande et hormones stéroïdiennes ou composés odorants (Larzul, 2021). Dugué *et al.* (2020b) ont estimé des corrélations génétiques modérément négatives entre la teneur en androsténone du gras et le pH ultime dans des populations de Piétrain et croisés Piétrain x Large White (-0,20 à -0,40). Les liens entre stéroïdes et qualité de la viande pourraient résulter du stade de développement pubertaire des animaux. Ainsi, des stades moins matures pourraient être associés à des viandes plus claires et moins rouges alors que des individus plus avancés dans leur développement pubertaire auraient des viandes plus sombres avec un indice de rouge plus élevé.

### 2.3. Sélection

A partir des corrélations génétiques, il est possible d'envisager les conséquences d'une sélection contre l'odeur de verrat sur les caractères d'intérêt chez le porc en croissance.

Deux stratégies peuvent être envisagées pour limiter le risque de défaut de qualité de viande chez les mâles non castrés. Une possibilité est de sélectionner directement contre la teneur en androsténone, en la combinant ou non avec la teneur en scatol. Cette option peut impliquer de collecter un échantillon de gras par biopsie sur les candidats, mais plus probablement de prélever des échantillons de gras sur des animaux, apparentés aux candidats à la sélection, qui sont abattus. La mise en place d'une telle sélection, s'appuyant sur un contrôle des collatéraux, est lourde et onéreuse, le dosage de l'androsténone étant fait manuellement avec des débits faibles et des coûts élevés. Cependant, avec, dans le futur, la possibilité de réaliser de tels dosages directement sur les lignes d'abattage pour des coûts modérés et des rendus de résultats en temps réel, une telle stratégie peut s'envisager à moyen terme. L'alternative est de considérer une des hormones stéroïdiennes pour sélectionner de manière indirecte contre l'androsténone mais également contre le scatol. Compte tenu des héritabilités et des corrélations, le choix le plus pertinent est l'œstradiol.

La comparaison des corrélations génétiques entre les caractères d'intérêt et l'œstradiol ou l'androsténone montre que les deux stratégies conduiraient à des résultats proches en termes de tendance pour la plupart des caractères. La vitesse de croissance ne serait pas affectée par la sélection. L'indice de consommation, le taux de muscle des pièces et le rendement de la carcasse seraient améliorés et le pH ne serait pas affecté. La couleur serait indirectement modifiée de manière un peu différente selon le caractère sélectionné. L'incidence sur la clarté et l'indice de jaune serait plus limitée avec une sélection sur l'androsténone comparée à une sélection sur l'œstradiol. Les paramètres de qualité de viande ayant généralement une valeur optimale, l'effet favorable ou défavorable de la sélection ne peut être évalué qu'au cas par cas en tenant compte du niveau initial de la population.

L'une ou l'autre des sélections induira une diminution globale de la production testiculaire de stéroïdes, sans qu'il soit possible de déterminer précisément si cette diminution correspond à un décalage du développement pubertaire ou à une diminution à plus long terme chez l'animal adulte. Les résultats publiés jusqu'à présent (Brinke *et al.*, 2020 ; Dugué *et al.*, 2020a) montrent qu'il s'agit plus probablement d'un retard dans la mise en place de la puberté.

La sélection sur l'un ou l'autre composé n'aura en revanche pas d'incidence sur la réactivité de la glande surrénale. Ce paramètre est important à considérer dans la mesure où cette activité intervient dans la gestion du stress et donc dans la robustesse des individus.

### CONCLUSION

La prise en compte du risque d'odeur de verrat dans la sélection des lignées parentales permettra à terme, de proposer une solution génétique optimale pour l'élevage des mâles non castrés et ainsi de faciliter l'abandon de la castration des porcelets mâles. Jusqu'à présent, l'effort a plutôt porté sur les lignées paternelles, dont les objectifs de sélection sont compatibles avec une réduction des composés odorants responsables de l'odeur de verrat. L'estimation des paramètres génétiques sur ces caractères dans une des principales lignées maternelles françaises montre que globalement une sélection contre l'odeur de verrat aura des réponses indirectes similaires à celles des lignées paternelles. Toutefois, dans ces lignées maternelles, il est impératif d'estimer les relations génétiques entre composés odorants (chez les mâles) et caractères de reproduction (chez les femelles).

### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les entreprises de sélection Axiom et Nucléus, membres de Alliance R&D, pour la production des animaux. Ils sont extrêmement redevables au personnel de l'UE3P pour l'élevage des animaux, ainsi que pour les mesures réalisées sur l'élevage et à l'abattoir. Enfin, les auteurs remercient Christine Tréfeu et Mélinda Oiry pour leurs contributions aux analyses réalisées en laboratoire.

Ce programme a bénéficié du soutien financier de l'Institut Carnot F2E France Futur Elevage (projet NoCast - No castration: resolving the trade-off between welfare, reproduction and meat quality by genomic selection in pigs).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Batorek N., Škrlep M., Prunier A., Louveau I., Noblet J., Bonneau M., Čandek-Potokar M., 2012. Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 4593-4603.
- Blum Y., Monziols M., Causeur D., Dumas G., 2014. Recalibrage de la principale méthode de classement des carcasses de porcs en France. *Journées Rech Porcine*, 46, 39-44.
- Brinke I., Grosse-Brinkhaus C., Roth K., Pröll-Cornelissen M.J., Klein S., Schellander K., Tholen E., 2020. Genomic background and genetic relationships between boar taint and fertility traits in German Landrace and Large White. *BMC Genet.*, 21, 1–13.
- Brinke I., Grosse-Brinkhaus C., Roth K., Pröll-Cornelissen M.J., Klein S., Schellander K., Tholen E., 2021. Endocrine fertility parameters—Genomic background and their genetic relationship to boar taint in German Landrace and Large White. *Animals*, 11, 231.
- Doran E., Whittington F.W., Wood J.D., McGivan J.D., 2002. Cytochrome P45011E1 (CYP2E1) is induced by skatole and this induction is blocked by androstenone in isolated pig hepatocytes. *Chem. Biol. Interact.*, 140, 81–92.
- Dugué C., Prunier A., Grivault D., Ferchaud S., Boulot S., Mercat M.J., Larzul C., 2020a. Développement pubertaire des mâles entiers et risque d'odeur de verrat. *Journées Rech. Porcine*, 52,31-36.
- Dugué C., Prunier A., Mercat M.J., Monziols M., Blanchet B., Larzul C., 2020b. Genetic determinism of boar taint and relationship with growth traits, meat quality and lesions. *Animal*, 1, 1333–1341.
- Grindflek E., Meuwissen T.H.E., Aasmundstad T., Hamland H., Hansen M. H. S., Nome T., Kent M., Torjesen P., Lien S., 2011. Revealing genetic relationships between compounds affecting boar taint and reproduction in pigs. *J. Anim. Sci.*, 89, 680-692.
- Juniewicz P.E., Johnson B. H., 1984. Ability of cortisol and progesterone to mediate the stimulatory effect of adrenocorticotrophic hormone upon testosterone production by the porcine testis. *Biol. Reprod.*, 30, 134-142.
- Kadowaki H., Suzuki E., Kojima-Shibata C., Suzuki K., Okamura T., Onodera W., Shibata T., Kano H., 2012. Selection for resistance to swine mycoplasma pneumoniae over 5 generations in Landrace pigs. *Livest. Sci.*, 147, 20–26
- Larzul C., Terenina E., Foury A., Billon Y., Louveau I., Merlot E., Mormède P., 2015. Genetic parameters for the response to ACTH in pigs, influence of corticosteroid-binding globulin. *Animal*, 9, 1929-1934.
- Larzul C., Terenina E., Billon Y., Gress L., Mormède P., 2018a. Genetic determinism of cortisol levels in pig. *Proc. of the 11<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Volume Species - Porcine 2*, 214, 2018.
- Larzul C., Terenina E., Billon Y., Gress L., Comte R., Prunier A., 2018b. Effect of divergent selection for cortisol level on boar taint. *Proc. 69<sup>th</sup> European Association for Animal Production Annual Meeting, Dubrovnik, Croatia, Session 07, Theatre 5*, p146.
- Larzul C., 2021. How to improve meat quality and welfare in entire male pigs by genetics. *Animals*, 11, pp.699.
- Mormède P., Foury A., Terenina E., Knap P.W., 2011. Breeding for robustness: the role of cortisol. *Animal*, 5, 651-657.
- Muráni E., Reyer H., Ponsuksili S., Fritschka S., Wimmers K., 2012. A substitution in the ligand binding domain of the porcine glucocorticoid receptor affects activity of the adrenal gland. *PLoS ONE*, 7, e45518.
- Neumaier A. Groeneveld E., 1998. Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genet. Sel. Evol.*, 30, 3-26.
- Parois S., Prunier A., Mercat M.J., Merlot E., Larzul C., 2015. Genetic relationships between measures of sexual development, boar taint, health and aggressiveness in pigs. *J. Anim. Sci.*, 93, 3749-3758.
- Robic A., Faraut T., Prunier A., 2014. Pathways and genes involved in steroid hormone metabolism in male pigs: a review and update. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 140, 44-55.

# Utilisation de l'information du microbiote intestinal pour expliquer et prédire l'efficacité alimentaire chez le porc

Amir ALIAKBARI (1)\*, Vanille DERU (1)\*, Céline CARILLIER-JACQUIN (1), Olivier ZEMB (1), Alban BOUQUET (2),  
Hélène GILBERT (1)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, Chemin de Borde Rouge, Castanet Tolosan, France

(2) IFIP-Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

helene.gilbert@inrae.fr

\* ces auteurs ont contribué à part égale à cette étude

Avec la collaboration de Yvon BILLON et Benoit BLANCHET sur les élevages expérimentaux de GenESI et UE3P,  
et de Céline BARILLY et Marie-Léa DE ALMEIDA de GenPhySE.

## Utilisation de l'information du microbiote intestinal pour expliquer et prédire l'efficacité alimentaire chez le porc

La contribution du microbiote intestinal à la variabilité de l'efficacité alimentaire globale (indice de consommation IC et consommation moyenne journalière résiduelle CMJR) et de sa composante digestive (coefficients d'utilisation digestive de l'énergie, la matière organique et l'azote) a été étudiée dans le projet MicroFeed (ANR-16-CE20-0003). Dans un premier dispositif, les animaux avaient des efficacités alimentaires contrastées génétiquement (lignées divergentes CMJR). Dans un deuxième dispositif, des animaux génétiquement connectés étaient nourris avec un aliment conventionnel ou fibreux, et les CUD étaient disponibles. La contribution du microbiote fécal à la variance des caractères (microbiabilité) a été estimée avec un modèle linéaire mixte incluant ou non un effet génétique additif. Pour l'IC et la CMJR, le microbiote contribuait pour 12 à 28% de la variance, sans impact de l'aliment, et les héritabilités étaient supérieures aux microbiabilités. Pour les CUD, les microbiabilités étaient de 0,44 à 0,68, et les héritabilités étaient plus faibles (0,25 à 0,32), toutes ces estimations étant plus élevées avec l'aliment fibreux. A partir de la covariance entre caractères due à la ressemblance entre microbiotes, une corrélation microbiote peut être estimée. Elle était de 0,73 entre IC et CMJR dans le premier dispositif, indiquant que des compositions en microbiote similaires sont impliquées dans la variabilité des deux caractères. Le deuxième dispositif a permis d'estimer des corrélations microbiote modérées entre aliments pour l'IC et la CMJR (0,23 et 0,35), et plus élevées pour les CUD (0,46 à 0,55). Finalement, pour l'IC et la CMJR, les précisions des prédictions étaient similaires entre valeurs microbiotes et génétiques, alors que pour les CUD les précisions des valeurs microbiotes étaient 50% supérieures aux précisions des valeurs génétiques, intra-régime et entre régimes. Le microbiote explique donc une part plus importante dans la variabilité et la prédiction des CUD que pour l'IC et la CMJR.

## Using intestinal microbiota information to explain and predict feed efficiency in pigs

In the ANR project MicroFeed (ANR-16-CE20-0003), we quantified the contribution of intestinal microbiota to the variability in feed efficiency (feed conversion ratio (FCR) and residual feed intake (RFI)) and in digestive efficiency (digestive coefficients (DC) of energy, organic matter and nitrogen). In a first experiment, pigs were genetically contrasted for RFI (divergent lines). In a second experiment, two groups of genetically related pigs were fed a conventional or high-fiber diet, and DC were available. Linear mixed models with or without an additive genetic effect were used to estimate the percentage of variance in efficiency traits due to changes in fecal microbiota composition (microbiability). For FCR and RFI, microbiota contributed 12-28% of the variance, with no effect of the diet, and heritability estimates were higher than microbiability estimates. For DC, microbiabilities ranged from 0.44-0.68, while heritabilities were lower (0.25-0.32). All DC estimates were higher in the high-fiber diet. From the covariance between traits due to microbiota similarities, a microbiota correlation can be estimated. In the first experiment it was estimated to 0.73 between FCR and RFI, suggesting that similar microbiota composition are related to good performances in both traits. In the second experiment, moderate microbiota correlations between diets were estimated for FCR and RFI (0.23 and 0.35, respectively), and microbiota correlations for DC were higher (0.46-0.55). Finally, predictions of FCR and RFI had similar accuracies with genetics and with microbiota, whereas accuracies were 50% higher with microbiota than with genetics for DC with no effect of diet. Overall, intestinal microbiota seem to explain more of the variability of digestive-efficiency traits than of feed-efficiency traits.

## INTRODUCTION

L'amélioration de l'efficacité alimentaire des porcs en croissance est de longue date un enjeu de durabilité de la production. En effet, l'utilisation d'aliments, en particulier quand ils sont externes à l'exploitation et pour partie importés, affecte les coûts de production et l'impact environnemental de la filière, et entre en compétition avec la production de ressources végétales pour d'autres utilisations, telles que l'alimentation humaine et les biocarburants (Gilbert, 2015). Pour répondre aux enjeux de coûts et de compétition des ressources, les industriels de l'alimentation font appel de façon plus ou moins régulière à de nouvelles ressources alimentaires pour formuler les aliments. Ces ressources sont souvent des co-produits d'industries, et présentent la particularité de contenir des proportions de fibres alimentaires accrues par rapport aux ressources plus conventionnelles, ce qui les rend plus difficiles à digérer (Le Goff *et al.*, 2002) et pose la question d'améliorer spécifiquement l'efficacité digestive des porcs. En effet, les porcs ont été élevés et sélectionnés depuis les années 60 avec des aliments de plus en plus faciles à digérer, et plusieurs études ont montré que l'amélioration de l'efficacité alimentaire réalisée durant ces dernières décennies a eu peu d'effet sur l'efficacité digestive (Noblet *et al.*, 2013), en dépit de l'existence d'une variabilité génétique de cette efficacité digestive (Déru *et al.*, 2020). Le projet ANR MicroFeed (2017-2022) s'intéresse à la contribution du microbiote intestinal à la variabilité de l'efficacité alimentaire globale telle que sélectionnée habituellement et à celle de l'efficacité digestive, et à la possibilité d'utiliser cette information pour améliorer la décomposition de la variance de ces caractères et les modèles génétiques pour la sélection. En effet, le microbiote intestinal est un partenaire essentiel de l'animal pour le traitement des nutriments au niveau du tube digestif avant leur absorption. Le rôle du microbiote est renforcé lorsque l'aliment contient des fibres alimentaires, qui doivent être transformées par le microbiote en nutriments assimilables, avant absorption par le gros intestin. Dans de premières études nous avons confirmé dans deux dispositifs expérimentaux que certaines fractions du microbiote intestinal du porc sont héréditaires et corrélés génétiquement à l'efficacité alimentaire (Aliakbari *et al.*, 2021), et diffèrent selon que l'aliment distribué aux porcs est de type conventionnel ou contient des ressources alimentaires plus fibreuses (Déru *et al.*, 2021). L'objet des analyses présentées dans ce document était d'évaluer si ces liens entre composition du microbiote et caractères d'efficacité peuvent être utilisés pour mieux décomposer la variance des caractères d'efficacité avec des modèles mixtes, et si cette information améliore la prédiction des valeurs génétiques. En effet, la littérature est quasi inexistante sur ces aspects, ce qui limite les utilisations de ces données.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositifs expérimentaux et mesures

Les données de deux dispositifs expérimentaux ont été utilisées dans ces analyses. Ils s'appuient sur la même population Large White commerciale sélectionnée en France de façon collective jusqu'en 2020. Pour le dispositif 1, environ 550 porcs des neuvième et dixième générations des lignées expérimentales divergentes pour la consommation moyenne journalière résiduelle sélectionnées à INRAE depuis 1999 (Gilbert, 2015) ont été élevés sur l'élevage expérimental GenESI (Surgères,

France, <https://doi.org/10.15454/1.5572415481185847E12>), comme décrit dans Aliakbari *et al.* (2021). Pour le dispositif 2, environ 1600 porcs de la population Large White commerciale ont été élevés après sevrage à l'unité expérimentale UE3P (Rennes, France, <https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>) en 2017 et 2018, comme décrit dans Déru *et al.* (2020 ; 2021). Les porcs du dispositif 1 avaient des mesures entre les âges de 10 semaines et l'abattage : des pesées ont été réalisées en début et fin de test, et dans chaque case l'ingéré journalier était enregistré par un distributeur automatique de concentré (DAC ACEMA 64, ACEMO Skiold, Pontivy, France) grâce à l'équipement des porcs en boucles électroniques individuelles. Des mesures d'épaisseurs de lard par ultra-sons étaient réalisées en fin de test en 6 points du dos, de part et d'autre de la colonne vertébrale, aux niveaux du cou, du dos et des reins. Une estimation de la composition corporelle individuelle (ELD) était obtenue en moyennant ces 6 valeurs. Les porcs de ce dispositif avaient un accès libre à l'eau et à l'aliment pendant le test. L'aliment était un aliment granulé commercial de type croissance, contenant en moyenne 10 MJ d'énergie nette (EN) et 160 g de protéines par kg.

Dans le dispositif 2, les porcs ont été mesurés entre 35 et 115 kg de poids vif. Des DAC GENSTAR (ACEMO Skiold, Pontivy, France) équipés de plateaux de pesée des animaux ont permis d'enregistrer les poids individuels et les consommations journalières pendant toute la durée du test. Le jour suivant l'abattage à 120 kg de poids vif en moyenne, le poids de carcasse et des pièces après découpe hollandaise normalisée étaient enregistrés pour calculer un rendement de carcasse (RDT) et le taux de muscle des pièces (TMP ; Daumas et Monziols, 2011), indicateurs de la composition corporelle des animaux. Pendant la croissance, ces porcs avaient accès libre à un régime alimentaire bi-phase croissance-finition, soit conventionnel (CO ; 9,6 MJ EN/kg et 13,9 % de fibres insolubles dans les détergents neutres (NDF)), soit fibreux (F ; 8,2 MJ EN/kg et 24,0 % de NDF). Le rapport Lysine digestible/EN était le même dans les deux régimes, de 0,94 g/MJ EN pour l'aliment croissance et 0,81 g/MJ EN pour l'aliment finition. La transition alimentaire entre les aliments croissance et finition s'effectuait à 16 semaines sur 5 jours.

A partir des caractères enregistrés, le gain moyen quotidien (GMQ) et la consommation moyenne journalière (CMJ) pendant la croissance ont été calculés, ainsi que le poids métabolique moyen (PMM, Noblet *et al.*, 1999). L'indice de consommation (IC) a été obtenu comme le rapport entre CMJ et GMQ. La consommation moyenne journalière résiduelle a été estimée par la régression linéaire multiple de la CMJ sur le GMQ, le PMM et des indicateurs de composition corporelle (ELD pour le dispositif 1, TMP et RDT pour le dispositif 2). La même équation a été utilisée pour les deux aliments dans le dispositif 2.

### 1.2. Prédications de l'efficacité digestive et de la composition du microbiote

Des échantillons de fèces ont été collectés et congelés immédiatement dans l'azote liquide à l'âge de 15 semaines (dispositif 1) ou de 16 semaines (dispositif 2, juste avant la transition alimentaire) pour décrire la composition du microbiote intestinal. Dans le dispositif 2, des échantillons de fèces complémentaires ont été stockés à -20°C pour prédire l'efficacité digestive des porcs.

#### 1.2.1. Coefficients d'utilisation digestive

Les échantillons de fèces ont été lyophilisés, broyés (Grindomix GM200, Retsch), puis analysés par spectrométrie dans le proche

infrarouge (SPIR) avec un spectromètre de laboratoire (MPA, Bruker Optics, Ettlingen, Allemagne). Les CUD de l'énergie (E), de la matière organique (MO) et de la Matière Azotée Totale (MAT) (N x 6,25) ont été prédits en se basant sur leur spectre SPIR individuel et des équations de calibration établies au préalable (Labussière *et al.*, 2019). Après validation, 1 242 prédictions ont été validées, ce qui représente 654 individus nourris avec le régime CO et 588 avec le régime F.

### 1.2.2. Estimations de microbiabilités

La composition du microbiote fécal pour chaque échantillon a été obtenue, après séquençage de la région V3-V4 du gène de l'ARN ribosomal 16S, avec le package R DADA2, sans clustering. Au total, 21 757 variants d'amplicons de la séquence (ASV) ont été identifiées, dont 5 689 spécifiques au dispositif 1 et 14 366 spécifiques au dispositif 2. Ces abondances d'ASV pour chaque échantillon ont été raréfiées à un seuil de 9 000 (dispositif 1) et 10 000 (dispositif 2) séquences par échantillon pour s'affranchir de différences liées aux variations de profondeurs de séquençage. Après contrôle qualité sur l'ensemble des données, 588 animaux avaient des informations complètes dans le dispositif 1, et 1 526 dans le dispositif 2.

### 1.3. Analyses statistiques

Les mêmes analyses ont été réalisées séparément dans les deux dispositifs, à l'aide de modèles linéaires mixtes, en utilisant des approches bayésiennes avec les logiciels GIBBSF90 (Misztal *et al.*, 2015 ; dispositif 1) et BGLR (Pérez et de los Campos, 2014 ; dispositif 2). Dans le dispositif 2, les performances des porcs ont été analysées par aliment ou en combinant les aliments.

#### 1.3.1. Estimations des variances

Les effets du microbiote et de la génétique ont été modélisés comme des effets aléatoires dans des modèles linéaires mixtes. Suivant Camarinha-Silva *et al.* (2017), l'effet aléatoire du microbiote, noté  $\mathbf{m}$ , suivait une loi normale  $N(\mathbf{0}, \mathbf{M}\sigma_m^2)$ , avec  $\mathbf{M} = \mathbf{S}\mathbf{S}^T/n$ , où  $n$  est le nombre d'ASVs de  $\mathbf{S}$ , et  $\mathbf{S}$  est composée des éléments  $s_{ij}$ , valeurs centrées et réduites des logarithmes des abondances des ASV  $j$  pour chaque animal  $i$ . Pour constituer la matrice  $\mathbf{S}$ , les ASVs les plus rares ont été éliminés des jeux de données (ASVs avec plus de 1% de zéros dans le dispositif 1, soit 2 630 ASVs, et ASVs représentées dans plus de 5 échantillons et des abondances moyennes supérieures à 0,001% dans le dispositif 2, soit 2399 ASVs).

L'effet aléatoire génétique additif, noté  $\mathbf{u}$ , suivait une loi normale  $N(\mathbf{0}, \mathbf{G}\sigma_u^2)$ , avec  $\mathbf{G}$  la matrice d'apparentement obtenue d'après les pedigrees des lignées divergentes (dispositif 1) ou d'après les génotypages de 48 919 marqueurs (dispositif 2, (VanRaden 2008)).

Le modèle linéaire mixte unicaractère complet utilisé s'écrit  $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{B} + \mathbf{W}\mathbf{m} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{e}$ , avec  $\mathbf{y}$  le vecteur des phénotypes,  $\mathbf{B}$  le vecteur des effets fixes et covariables et  $\mathbf{X}$  la matrice d'incidence associée,  $\mathbf{m}$  le vecteur des effets aléatoires du microbiote défini précédemment et  $\mathbf{W}$  la matrice d'incidence associée,  $\mathbf{u}$  le vecteur des effets aléatoires génétiques défini précédemment et  $\mathbf{Z}$  la matrice d'incidence associée, et  $\mathbf{e}$  le vecteur des effets résiduels aléatoires, distribués selon  $N(\mathbf{0}, \mathbf{I}\sigma_e^2)$ .

Les estimations avec trois modèles ont été comparées :

- Modèle M :  $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{B} + \mathbf{W}\mathbf{m} + \mathbf{e}$
- Modèle G :  $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{B} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{e}$
- Modèle M+G :  $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{B} + \mathbf{W}\mathbf{m} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{e}$

Pour un modèle donné, la somme des composantes de variance a été notée  $\sigma_p^2$ . Les proportions de variance expliquées par le microbiote, appelée microbiabilité, dans les modèles M et M+G ont été obtenues par le rapport  $m^2 = \sigma_m^2/\sigma_p^2$ . Les proportions de variance expliquées par la génétique, ou héritabilité, dans les modèles G et M+G ont été obtenues par le rapport  $h^2 = \sigma_u^2/\sigma_p^2$ .

#### 1.3.2. Estimations de corrélations

Les corrélations entre caractères dues à la composante microbiote et à la composante génétique ont été estimées avec le modèle M+G dans le dispositif 1, et séparément avec les modèles M et G dans le dispositif 2. Dans le dispositif 1, un modèle bicaractère a permis d'estimer les corrélations entre IC et CMJR dues aux effets génétiques et aux effets microbiotes. Dans le dispositif 2, l'interaction pour chaque caractère entre microbiote et aliment, puis entre génétique et aliment, a été estimée en adaptant l'écriture univariée du modèle BGLR comme proposé par Lopez-Cruz *et al.* (2015), celui-ci ne permettant par des analyses multivariées. De cette façon, un coefficient de corrélation expliquant la déviation entre les composantes de variance avec un aliment ou l'autre est estimée.

#### 1.3.3. Précisions de prédiction

Les changements de précisions de prédiction en fonction des scénarios ont été appréciés à l'aide de la méthode proposée par Legarra et Reverter (2018), en calculant la corrélation entre les prédictions obtenues avec un modèle et un jeu de données complet de référence (C) et les prédictions obtenues avec le modèle à évaluer et un jeu de données dit partiel (P), dans lequel une partie des phénotypes est occultée.

Pour évaluer le gain à intégrer les deux composantes M et G dans un modèle M+G pour prédire les composantes génétiques (VG) et microbiote (VM), les différences de précisions de prédiction entre les modèles M ( $VM_{P,M}$ ) et G ( $VG_{P,G}$ ), et le modèle M+G, ont été calculées en considérant comme référence les prédictions obtenues avec le modèle M+G pour le jeu de données complet ( $VM_{C,M+G}$  et  $VG_{C,M+G}$ ).

Pour chaque modèle, nous avons ensuite évalué le gain de précision de prédiction des valeurs VG ou VM apporté par des scénarios où les animaux ont des phénotypes, par rapport à des scénarios où ils n'en ont pas (prédiction précoce de candidats à la sélection). Pour ce faire, les corrélations entre les VM avec le modèle M (ou M+G) avec le jeu de données complet,  $VM_{C,M}$  (ou  $VM_{C,M+G}$ ), et les VM avec le jeu de données partiel,  $VM_{P,M}$  (ou  $VM_{P,M+G}$ ), ont été calculées. Avec le modèle M+G, ce sont les corrélations entre les valeurs totales prédites pour chaque individu (somme de ses valeurs génétiques et microbiotes) pour le jeu de données complet ( $[VM+VG]_C$ ) et le jeu de données partiel ( $[VM+VG]_P$ ) qui ont été calculées.

Dans le dispositif 1, les jeux de données partiels ont été obtenus en excluant aléatoirement 50 phénotypes du jeu de données, pour 20 échantillonnages successifs. Les changements de précision de prédiction ont été estimés pour IC et CMJR. Dans le dispositif 2, les animaux sans phénotype ont été échantillonnés pour les deux régimes alimentaires conjointement, soit en occultant les phénotypes par familles de pères, soit en occultant les phénotypes par bandes, soit en occultant les phénotypes par bandes et familles, ce qui représentait 53 animaux par échantillonnage en moyenne. Ces stratégies d'échantillonnage permettaient d'évaluer l'effet de la connexion génétique ou environnementale sur la précision d'estimation des VG et des VM. Les échantillonnages ont été répétés 50 fois. Les changements de précision de prédiction ont été estimés pour les trois CUD uniquement.



## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Paramètres génétiques et microbiote

Pour les caractères d'efficacité alimentaire globale IC et CMJR, les héritabilités étaient estimées entre 0,30 et 0,37 avec le modèle G, dans les deux dispositifs et avec les deux aliments (Tableau 1). Avec le modèle M, les estimées de microbiabilité pour ces deux caractères étaient légèrement plus faibles, entre 0,12 et 0,28, et ne différaient pas entre aliments dans le dispositif 2. Ces estimations sont légèrement plus faibles que celle de Weishaar *et al.* (2020) pour la CMJR pour une population Piétrain, et cohérentes avec celles de Weishaar *et al.* (2020) et Camarinha-Silva *et al.* (2017) pour l'IC. Pour les CUD, les héritabilités estimées avec le modèle G étaient de l'ordre de 0,25 avec le régime CO, et de 0,32 avec le régime F, alors que les microbiabilités étaient systématiquement supérieures (0,44 à 0,60 avec le régime CO, et 0,67 à 0,68 avec le régime F). Ces estimations de microbiabilité sont cohérentes avec celles de la seule autre étude publiée pour des CUD, qui étaient autour de 0,58 avec un aliment de type CO (Verschuren *et al.*, 2020). Avec le modèle M+G, qui estime conjointement les deux composantes dans le même modèle, les estimées pour  $h^2$  et  $m^2$  restaient du même ordre de grandeur qu'avec les modèles G et M, pour tous les caractères.

**Tableau 1** – Moyennes (écart types) des distributions a posteriori des proportions de variance expliquées par la génétique ( $h^2$ ) et le microbiote ( $m^2$ ) (en %)

	$h^2$	$m^2$	$h^2$	$m^2$
Dispositif 1				
IC	35 (13)	22 (11)	31 (13)	20 (11)
CMJR	32 (10)	12 (9)	30 (10)	11 (09)
Dispositif 2				
IC CO	37 (7)	20 (5)	27 (5)	17 (5)
F	30 (7)	17 (5)	23(5)	14 (5)
CMJR CO	32 (7)	22 (5)	24 (5)	18 (5)
F	32 (7)	28 (6)	32 (9)	33 (9)
CUD E CO	25 (5)	44 (6)	22 (4)	39 (6)
F	32 (6)	67 (6)	25 (4)	59 (6)
CUD MO CO	25 (6)	44 (6)	22 (4)	40 (6)
F	31 (8)	68 (6)	24 (4)	61 (6)
CUD MAT CO	26 (7)	60 (5)	24 (4)	55 (5)
F	32 (8)	67 (6)	25 (4)	61 (6)

Ces résultats suggèrent que la composition du microbiote intestinal est plus importante pour décrire la variabilité des caractères d'efficacité digestive que d'efficacité alimentaire, et ce d'autant plus que le régime alimentaire contient des ingrédients fibreux. Ce résultat est cohérent avec la biologie des caractères, puisque le microbiote intestinal est un acteur clé de la digestion, et qu'il est fortement influencé par la nature de l'aliment ingéré. De plus, et contrairement à certains rapports de la littérature, il n'y a pas d'indication de transfert de variance génétique vers la variance due au microbiote quand on passe du modèle G au modèle M+G, ce qui suggère que, dans nos dispositifs au moins, les fractions génétiques et du microbiote sont bien identifiées dans le modèle. La disponibilité de critères faciles à mettre en œuvre qui permettent de qualifier l'identifiabilité des effets semble néanmoins indispensable pour évaluer au préalable les données de ce type. Par ailleurs, les études précédentes ayant montré qu'une part de la composition du microbiote dépend de la génétique, il serait intéressant de mettre en œuvre des modèles plus poussés qui identifient une interaction G x M dans le modèle, tels que proposés par Weishaar *et al.*, (2020) ou Christensen *et al.* (2021).

Les corrélations dues à la génétique et au microbiote sont rapportées dans le tableau 2. Dans le dispositif 1, les corrélations génétiques et microbiote entre IC et CMJR estimées avec le modèle M+G étaient du même ordre de grandeur (0,66 et 0,70, respectivement), indiquant que ces deux sources de variation des caractères ont des influences similaires sur les covariations entre les deux caractères d'efficacité alimentaire. Cela signifie que des ressemblances génétiques élevées permettent d'atteindre des potentiels génétiques semblables pour l'IC ou la CMJR, et que partager des compositions de microbiote intestinal similaires permet d'atteindre des IC ou des CMJR du même ordre de grandeur. Ces estimées ne différaient pas de celles obtenues séparément avec les modèles G et M (0,75 (0,33) et 0,64 (0,16), respectivement).

**Tableau 2** – Moyennes (écart types) des distributions à posteriori des corrélations dues à la génétique et au microbiote avec le modèle M+G

	Corrélation génétique	Corrélation microbiote
Dispositif 1 <sup>1</sup> IC - CMJR	0,66 (0,16)	0,70 (0,34)
Dispositif 2 <sup>2</sup>		
IC, CO-F	0,72 (0,06)	0,35 (0,10)
CMJR, CO-F	0,68 (0,09)	0,23 (0,09)
CUD E, CO-F	0,35 (0,08)	0,46 (0,09)
CUD MO, CO-F	0,36 (0,08)	0,46 (0,09)
CUD MAT, CO-F	0,42 (0,10)	0,55 (0,09)

<sup>1</sup>Corrélations estimées avec le modèle M+G.

<sup>2</sup>Corrélations estimées séparément avec le modèle G et le modèle M.

Dans le dispositif 2, les estimées des corrélations génétiques en fonction de l'aliment étaient fortes pour IC et CMJR, et modérées, autour de 0,38 et différentes de 1 pour les CUD, ce qui suggère des interactions génétique x aliment pour ces CUD. Dans une analyse précédente avec une approche bi-caractère fréquentiste (Déru *et al.*, 2020), les estimées de ces corrélations étaient plus élevées pour les CUD ( $> 0,71 \pm 0,20$ ) et non différentes de 1, en dépit d'estimations non significativement différentes entre les deux études. Ces interactions génétique x aliments devront donc être éclaircies par d'autres approches. Les coefficients de corrélation microbiotes entre aliments étaient plus faibles que les coefficients génétiques entre aliments pour IC et CMJR, et un peu plus élevés pour les CUD (0,46 à 0,55). Il semble donc que le potentiel génétique pour l'efficacité alimentaire est relativement peu impacté par un changement d'aliment, et que cet impact est plus marqué pour les CUD. En revanche, l'aliment modifie le potentiel microbien, en particulier pour l'efficacité alimentaire globale. Il n'existe pas de références dans la littérature pour mettre ces résultats en perspective, mais les liens biologiques très forts entre microbiote et digestion pourrait expliquer les différences d'importances relatives des facteurs génétique et microbiote entre caractères d'efficacité alimentaire et d'efficacité digestive. On sait par exemple que le microbiote contribue pour 10 à 30% de l'énergie digestible totale pour des animaux nourris avec un aliment fibreux.

### 2.2. Précisions de prédictions

Les statistiques calculées sont indicatrices du gain relatif de précision obtenu par l'utilisation d'un jeu de données partiel ou d'un modèle différent par rapport à une valeur de référence (Legarra et Reverter, 2018). Les moyennes des corrélations calculées pour chaque échantillonnage de jeu de données

partiel, ainsi que les écart-types associés, sont rapportées dans le tableau 3.

### 2.2.1. IC et CMJR

Dans un premier temps (tableau 3A), le gain de prédiction en combinant les effets dans le modèle M+G a été évalué en utilisant les prédictions du modèle M+G comme référence. Dans ce cas, pour le dispositif 1, les précisions de prédiction des valeurs génétiques étaient marginalement améliorées avec le modèle M+G pour IC (de 0,76 à 0,78), et ne montraient pas de différences de précision pour la CMJR (0,76). Pour les VM, les corrélations sont plus faibles (environ 0,55), et le gain en intégrant l'effet génétique dans le modèle était limité, de 0,01 point pour l'IC, et de 0,03 pour la CMJR. Cependant, les écart-types des corrélations étaient beaucoup plus grands que pour les corrélations entre valeurs génétiques ( $> 0,14$ ), avec quelques échantillonnages qui conduisaient à des corrélations inférieures à 0,25 qui suggèrent que certains scénarios de données manquantes conduisent à des prédictions de faible précision. Il est à noter que les corrélations étaient très élevées entre  $VG_{C,G}$  et  $VG_{C,M+G}$  ( $> 0,995$ ) et entre  $VM_{C,M}$  et  $VM_{C,M+G}$  ( $> 0,968$ ).

Dans un deuxième temps (tableau 3B), les comparaisons ont concerné les gains de précision de prédiction intra-modèle quand les animaux ont des performances propres, par rapport aux scénarios où ils n'en ont pas. Pour IC et CMJR (dispositif 1), les corrélations entre valeurs génétiques avec le modèle G étaient autour de 0,79, comme avec le modèle M+G (environ 0,77, tableau 3A), et de façon similaire les corrélations entre valeurs microbiotes avec le modèle M étaient autour de 0,58, comme avec le modèle M+G (tableau 3A). De ce fait, le gain de précision dû à l'ajout de phénotypes avec un modèle à un effet (M ou G) ne semble pas différent de celui du modèle M+G. Il faut noter que le gain de précision de prédiction lié à l'ajout de phénotypes, intra-modèle, est toujours plus élevé pour ces caractères pour les valeurs microbiennes que pour les valeurs génétiques.

Il est notable que la combinaison des prédictions microbiennes et génétiques [VM+VG] avec phénotypes augmente le gain de précision de prédiction par rapport aux prédictions microbiennes uniquement, mais le réduit par rapport aux précisions de prédictions génétiques.

**Tableau 3** – Gains de précision de prédiction A. Avec le modèle M+G ; B. Avec l'ajout de phénotypes. Les valeurs rapportées sont les moyennes des corrélations (écart type) sur 20 (dispositif 1) ou (dispositif 2), entre prédictions microbiotes et génétiques avec les jeux de données complets (C), et avec environ 50 porcs dont les phénotypes étaient manquants (P).

	A. Apport du modèle M+G				B. Apport de l'information phénotypique		
	$VG_{C,M+G}$ , $VG_{P,G}$	$VM_{C,M+G}$ , $VM_{P,M}$	$VG_{C,M+G}$ , $VG_{P,M+G}$	$VM_{C,M+G}$ , $VM_{P,M+G}$	$VG_{C,G}$ , $VG_{P,G}$	$VM_{C,M}$ , $VM_{P,M}$	$[VM+VG]_{C,M+G}$ , $[VM+VG]_{P,M+G}$
Dispositif 1							
IC	0,76 (0,05) <sup>1</sup>	0,55 (0,16)	0,78 (0,05)	0,56 (0,17)	0,79 (0,05) <sup>1</sup>	0,58 (0,17)	0,61 (0,10)
CMJR	0,76 (0,06) <sup>1</sup>	0,54 (0,14)	0,76 (0,06)	0,57 (0,15)	0,79 (0,05) <sup>1</sup>	0,59 (0,12)	0,64 (0,08)
Dispositif 2 <sup>2</sup>							
CUD E	0,49 (0,09) – 0,53 (0,11)	0,87 (0,03) – 0,88 (0,03)	0,51 (0,10) – 0,58 (0,10)	0,87 (0,03) – 0,89 (0,03)	0,52 (0,09) – 0,59 (0,09)	0,85 (0,03) – 0,87 (0,03)	0,79 (0,04) – 0,81 (0,04)
CUD MO	0,48 (0,09) – 0,52 (0,10)	0,87 (0,03) – 0,88 (0,03)	0,51 (0,09) – 0,58 (0,09)	0,87 (0,03) – 0,88 (0,03)	0,52 (0,09) – 0,59 (0,09)	0,86 (0,04) – 0,87 (0,03)	0,79 (0,04) – 0,81 (0,05)
CUD MAT	0,50 (0,11) – 0,54 (0,11)	0,88 (0,03) – 0,89 (0,03)	0,52 (0,11) – 0,59 (0,10)	0,88 (0,03) – 0,89 (0,03)	0,56 (0,09) – 0,61 (0,08)	0,87 (0,04) – 0,88 (0,03)	0,83 (0,04) – 0,83 (0,04)

<sup>1</sup>Les estimées avec le modèle G ont été obtenues avec un algorithme AIREML (approche fréquentiste)

<sup>2</sup>L'amplitude des corrélations pour les échantillonnages connectés par les familles de pères, par les bandes et non connectés est rapportée, quand les deux régimes étaient confondus

### 2.2.2. CUD

Pour le dispositif 2, les changements de précision de prédiction entre scénarios ont été étudiés pour les CUD en mélangeant les informations sur les deux régimes alimentaires (Tableau 3). Dans tous les scénarios, les gains de précisions étaient très similaires pour les trois CUD.

Le gain de prédiction en combinant les effets dans le modèle M+G (tableau 3A) était faible, de 0,02 à 0,05 points de corrélation pour les valeurs génétiques pour des écart-types de l'ordre de 0,10, et il était nul pour les valeurs microbiennes. Pour ces caractères, les gains relatifs de précision étaient toujours plus élevés pour les valeurs microbiennes (environ 0,88) que pour les valeurs génétiques (environ 0,51).

Les gains de précision de prédiction intra-modèle quand les animaux ont des performances propres pour les CUD (tableau 3B) étaient plus forts pour les valeurs génétiques avec le modèle G que pour les VM du modèle M (environ 0,57 versus 0,86). La combinaison des informations génétiques et microbiotes dans le modèle M+G ne permettait pas d'augmenter la précision des prédictions par rapport à ces modèles (tableau 3A), et les prédictions combinées [VM+VG] montraient des gains de précision intermédiaires entre ceux des VG et VM pris

indépendamment (environ 0,80). Des résultats similaires ont été obtenus avec les régimes alimentaires pris séparément, avec des précisions de prédiction légèrement plus faibles (de 0,02 à 0,10 point de corrélation). De plus, avec le dispositif considéré, les gains de précisions de prédictions pour les deux effets aléatoires ne semblaient pas affectés par le niveau de connexion génétique ou environnemental (par les bandes de contemporains) entre les populations d'entraînement et les populations à prédire. Il a été montré dans la littérature que la précision de prédiction des valeurs génétiques est affectée par la connexion génétique (Habier *et al.*, 2007), et que la composition du microbiote peut varier de façon drastique en fonction de l'environnement d'élevage (Le Scieillour *et al.*, 2019). Il est donc possible que, dans notre dispositif, les variations de conditions ne soient pas assez fortes pour révéler l'impact des connexions. Une prédiction d'un dispositif à l'autre serait dans ce cadre une perspective intéressante.

D'après les résultats de ces précisions de prédiction, la prise en compte conjointe des deux informations ne semble pas permettre d'atteindre des précisions de prédictions accrues par rapport à un modèle génomique simple. Par ailleurs, le microbiote semble une source d'information plus utile pour prédire le potentiel d'efficacité digestive individuel que les

informations génétiques. Cette observation devra être confirmée dans le cas d'enregistrements dans des élevages différents, qui pourraient générer des niveaux de variation du microbiote non représenté dans nos jeux de données. Par ailleurs, le potentiel accru du microbiote pour prédire l'efficacité digestive est à nuancer dans le cas où l'objectif est de prédire le potentiel de transmission du niveau des caractères entre générations, tel qu'habituellement capté par la génétique. En effet, les modèles utilisés ne permettent pas d'isoler la part de la prédiction des valeurs microbiennes qui dépend de la partie transmise du microbiote. Pour compléter ces éléments et conclure sur le potentiel de l'information microbienne pour consolider les valeurs génétiques, il faudrait utiliser des modèles dédiés, tels que proposés par Weishaar *et al.* (2020) et Christensen *et al.* (2021), ou appliquer un modèle qui quantifie la transmissibilité globale des caractères indépendamment de la source de cette transmission, tel que proposé par David et Ricard (2019).

## CONCLUSION

Avec ces deux dispositifs, nous avons montré que l'information de la composition du microbiote intestinal contribue à expliquer la variance des caractères d'efficacité alimentaire et digestive. Il semble de plus que cette information explique une proportion de variance plus élevée que l'information génétique pour les caractères d'efficacité digestive, et ce d'autant plus que

l'aliment contient des fibres alimentaires, ce qui était attendu étant donnée la physiologie digestive. De façon complémentaire, les corrélations entre caractères d'efficacité digestive dues au microbiote semblaient plus affectées par l'aliment que celles dues à la génétique. Finalement, en dépit de cette importance du microbiote dans la variabilité des caractères, nous n'avons pas pu montrer de gain de précision de prédiction de la part génétique transmissible des caractères en incluant cette information dans les modèles. Il est vraisemblable que des modélisations plus avancées permettant de décomposer le microbiote en sa fraction héritable et sa fraction non-héritable, ou ne distinguant pas les sources de variabilité transmissible, permettraient de conclure plus efficacement sur ce point.

## REMERCIEMENTS

Ce projet a été soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (projet MicroFeed ANR-16-CE20-0003) et l'Union Européenne (projet Horizon 2020 Feed-a-Gene sous le contrat n°6333531), qui ont soutenu l'acquisition des données moléculaires et le financement des contrats de thèse de A Aliakbari et V Déru. Les auteurs souhaitent remercier les entreprises de sélection Axiom et Nucléus pour avoir fourni les animaux et pour le co-financement de la thèse de V Déru via France Génétique Porc. Les Dr Francesco Tiezzi et Christian Maltecca sont également remerciés pour leur contribution à la section 2.2.2.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aliakbari A., Zemb O., Billon Y., Barilly C., Ahn I., Riquet J., Gilbert H., 2021. Genetic relationships between feed efficiency and gut microbiome in pig lines selected for residual feed intake. *J. Anim. Breed. Genet.*, 138, 491-507.
- Camarinha-Silva A., Maushammer M., Wellmann R., Vital M., Preuss S., Bennewitz J., 2017. Host genome influence on gut microbial composition and microbial prediction of complex traits in pigs. *Genetics*, 206, 1637-1644.
- Christensen O., Börner V., Varona L., Legarra A., 2021. Genetic evaluation including intermediate omics features. *Genetics*, 219, iyab130.
- Dumas G., Monziols M., 2011. An accurate and simple computed tomography approach for measuring the lean meat percentage of pig cuts. 57th ICoMST, 7-12 August 2011, Ghent, Belgium, Paper 061.
- David I., Ricard A., 2019. A unified model for inclusive inheritance in livestock species. *Genetics*, 212, 1075-1099.
- Déru V., Bouquet A., Hassenfrazt C., Blanchet B., Carillier-Jacquin C., Gilbert H., 2020. Impact of a high-fibre diet on genetic parameters of production traits in growing pigs. *Animal*, 14, 2236-2245.
- Déru V., Bouquet A., Zemb O., Blanchet B., Carillier-Jacquin C., Gilbert H., 2021. Influence d'une alimentation avec une teneur accrue en fibres sur le microbiote intestinal du porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 53, 251-252.
- Gilbert H., 2015. Sélection pour l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance : opportunités et challenges. *Journées Rech. Porcine*, 47, 19-30.
- Habier D., Fernando R.L., Dekkers J.C.M., 2007. The impact of genetic relationship information on genome-assisted breeding values. *Genetics*, 177, 2389-2397.
- Le Goff G., Dubois S., Van Milgen J., Noblet J., 2002. Influence of dietary fibre level on digestive and metabolic utilization of energy in growing and finishing pigs. *Anim. Res.*, 51, 245-259.
- Le Sciellour M., Zemb O., Hochu I., Riquet J., Gilbert H., Giorgi M., Billon Y., Gourdine J.L., Renaudeau D., 2019. Effect of chronic and acute heat challenges on fecal microbiota composition, production, and thermoregulation traits in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 97, 3845-3858.
- Legarra A., Reverter A., 2018. Semi-parametric estimates of population accuracy and bias of predictions of breeding values and future phenotypes using the Ir method. *Genet. Sel. Evol.*, 50, 53.
- Lopez-Cruz M., Crossa J., Bonnett D., Dreisigacker S., Poland J., Jannink J.L., Singh R.P., Autrique E., de los Campos G., 2015. Increased Prediction accuracy in wheat breeding trials using a marker × environment interaction genomic selection model. *G3 Genes|Genomes|Genetics*, 5, 569-582.
- Misztal I., Tsuruta S., Lourenco D., Aguilar I., Legarra A., Vitezica Z., 2015. Manual for BLUPF90 family of programs. Available from [http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90\\_all2.pdf](http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all2.pdf).
- Noblet J., Gilbert H., Jaguelin-Peyraud Y., Lebrun T., 2013. Evidence of genetic variability for digestive efficiency in the growing pig fed a fibrous diet. *Animal*, 7, 1259-1264.
- Noblet J., Karège C., Dubois S., van Milgen J., 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J. Anim. Sci.*, 77, 1208-1216.
- VanRaden P.M., 2008. Efficient methods to compute genomic predictions. *J. Dairy Sci.*, 91, 4414-4423.
- Verschuren L.M.G., Schokker D., Bergsma R., Jansman A.J.M., Molist F., Calus M.P.L., 2020. Prediction of nutrient digestibility in grower-finisher pigs based on faecal microbiota composition. *J. Anim. Breed. Genet.*, 137, 23-35.
- Weishaar R., Wellmann R., Camarinha-Silva A., Rodehutschord M., Bennewitz J., 2020. Selecting the hologenome to breed for an improved feed efficiency in pigs—a novel selection index. *J. Anim. Breed. Genet.*, 137, 14-22.

# La génétique Large White en élevage biologique : influence du blocage temporaire des truies autour de la mise bas sur la survie des porcelets

Laurianne CANARIO (1), Stéphane FERCHAUD (2), Stéphane MOREAU (2), Catherine LARZUL (1), Armelle PRUNIER (3)

(1) GenPhySE, INRAE / INPT ENSAT / INPT ENVT, 31326 Castanet-Tolosan, France

(2) GenESI, INRAE, Venours, 86480 Rouillé, France

(3) PEGASE, INRAE, Agrocampus Ouest, 35590 Saint Gilles, France

*laurianne.canario@inrae.fr*

*Avec la collaboration de l'équipe de Porganic et la participation des organisations de sélection AXIOM et Nucleus*

## **La génétique Large White en élevage biologique : influence du blocage temporaire des truies autour de la mise bas sur la survie des porcelets**

Nous avons étudié l'effet du type de logement autour de la mise bas sur les performances de truies Large White, par la comparaison de deux groupes génétiquement similaires. Dans une même bande ( $n = 4$  pour chaque rang de portée), des couples de sœurs ont été inséminés avec un même verrat. Une sœur était 100% libre de mouvement dans son enclos individuel pendant la période de maternité (L), l'autre bloquée dans une cage de contention autour de la mise bas (B). Les 24 couples de sœurs ont été évalués sur leurs trois premiers rangs de portée. Les causes de mortalité, l'allocation des ressources, la croissance des porcelets et le comportement des truies ont été analysés. La prolificité tend à augmenter entre la 1<sup>ère</sup> et la 3<sup>ème</sup> portée chez les truies B ( $P = 0,06$ ). De façon globale, dans les deux groupes, le taux de survie 48 h post- mise bas variait entre 75% et 88%. Des pertes avaient lieu jusqu'au sevrage, aboutissant à un taux de survie global qui variait entre 64 à 75% et ne différait pas entre les trois rangs de portées. Une grande variabilité du taux de survie a été observée entre rangs de portée et entre truies et sœurs. Le nombre de porcelets sevrés au rang 1 a été plus important chez les truies L que chez les truies B. Au rang 2, la prolificité était plus forte chez les truies B que chez les truies L (16,8 vs 14,4 nés-vivants,  $P = 0,01$ ) mais le taux de survie qui tend à différer entre les deux groupes (60,2% en B vs 69,7% en L,  $P = 0,10$ ) a conduit à des tailles de portées équivalentes au sevrage (9,9 sevrés en B et 9,6 en L,  $P = 0,68$ ). Les truies qui se montrent plus maternelles au retour de leurs porcelets à J1 ont eu un meilleur taux de survie de leur portée jusqu'au sevrage, notamment celles qui ont subi une contention temporaire *peripartum* (chez les truies B, 82% chez celles qui se montrent maternelles vs 68% chez les autres ;  $P = 0,02$ ).

## **Large White genetics in organic farming: influence of temporary crating of sows during the farrowing period on piglet survival**

We studied effects of housing type around farrowing on the performance of Large White sows, with comparison of two groups genetically similar. In one batch ( $n = 4$  per parity), pairs of sisters were inseminated with the same boar. One sister was 100% free to move in its individual pen during the maternity period (L), while the other was restricted to a crate around farrowing (B). The 24 pairs of sisters were evaluated over their first 3 parities. Causes of piglet death, resource allocation, piglet growth and sow behaviour were analysed. Prolificacy tended to increase between the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> litter in B sows ( $P = 0.06$ ). The piglet survival rate 48 h after farrowing varied from 75-88%. Mortality occurred until weaning, resulting in an overall survival rate of 64-75%, which did not differ among the 3 parities. Survival rate varied greatly among parities and between sows and sisters. The number of piglets weaned in parity 1 was higher in L sows than in B sows. In parity 2, prolificacy was higher in B sows than in L sows (16.8 vs 14.4 live born piglets, respectively;  $P = 0.01$ ), but the survival rate that tends to differ between the two groups (60.2% vs 69.7%, respectively;  $P = 0.10$ ) led to equivalent litter sizes at weaning (9.9 vs 9.6, respectively;  $P = 0.68$ ). Sows that were more maternal after the return of their piglets on day 1 had higher litter survival to weaning, especially those that underwent temporary *peripartum* restraint (in B sows: 82% for those showing maternal behaviour vs 68% for the others;  $P = 0.02$ ).

## INTRODUCTION

En production biologique, lorsque les truies sont élevées en bâtiment, les éleveurs ont parfois recours à un blocage temporaire des truies autour de la mise bas dans une cage de contention pour limiter les pertes par écrasement (FiBL 2011). Cette pratique qui s'avère assez efficace (Hales *et al.*, 2016) est tolérée par le cahier des charges de l'élevage biologique même si le précepte général est que les animaux soient libres pendant toute leur vie. Le compromis entre bien-être, performance de production des truies et santé des porcelets est complexe à gérer. Afin de définir des pistes d'amélioration de la survie postnatale des porcelets, nous développons des travaux en considérant que l'environnement (le logement de la truie) et la génétique sont des leviers d'action à combiner pour accroître les performances en lactation. Pour cela, il est essentiel de tenir compte des effets liés à la truie et donc de s'intéresser à leur capacité d'adaptation, en plus des caractères plus classiques qui décrivent les qualités maternelles. En effet, les truies peuvent être affectées par leurs conditions de logement, avec des répercussions sur la survie des porcelets. Les deux paramètres du blocage importants pour la survie des porcelets sont sa période et sa durée.

Nous avons analysé la variabilité de la survie des porcelets dans une population Large White par la comparaison de couples de sœurs, logées différemment pendant la phase *peripartum*. Le potentiel de survie du porcelet n'est pas uniquement dépendant de la truie, il est aussi soumis aux influences d'effets paternels, raison pour laquelle les sœurs ont été inséminées avec le même verrat. Ainsi, la problématique de l'effet du logement est traitée indépendamment des aspects génétiques. Nous avons analysé les performances des truies sur leurs trois premiers rangs de portée et établi des relations avec les performances de leurs mères en système conventionnel (bloquées de l'entrée en maternité jusqu'au sevrage). Ces travaux ont été menés dans le cadre des programmes européens *eranet CoreOrganic POWER* et *H2020 PPILOW* (<https://projects.au.dk/coreorganiccofund/core-organic-cofund-projects/power/>; <https://www.ppilow.eu/>).

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux

Pour étudier une solution génétique de réduction de la mortalité des porcelets, la station expérimentale INRAE Porganic (doi: 10.15454/1.5572415481185847E12) a été peuplée en 2019 avec 48 jeunes truies Large White provenant d'élevages du noyau de sélection. Elles sont donc issues d'une population intensément sélectionnée, en particulier pour la prolificité et la croissance maigre. Les truies G1 sont les filles de truies qui avaient montré de bonnes aptitudes maternelles en élevage conventionnel et de verrats Large White améliorateurs pour la survie postnatale des porcelets. En première portée, les jeunes truies ont été inséminées avec de la semence de verrats Piétrain, puis en rangs de portée 2 et 3 avec de la semence de verrats Large White. L'élevage fonctionne en système de bandes espacées de six semaines, avec un sevrage à 49 jours. La surface de l'enclos individuel est de 10 m<sup>2</sup>, avec la possibilité de refermer une cage de contention de taille standard autour de la truie tandis qu'elle est à l'auge. La surface de la courette

extérieure est de 6,25 m<sup>2</sup>. Les règles de blocage des truies se sont allégées du rang 1 aux rangs suivants, les truies étant bloquées dès l'entrée en maternité en rang 1 et seulement à partir du dimanche qui précède la semaine de mise bas pour les rangs 2 et 3 (Tableau 1). Les truies bloquées étaient libérées le lundi qui suit la semaine de mises bas (environ 4 jours après la mise bas). En rang 1, il était possible d'égaliser les tailles de portées en procédant à des adoptions/retraits intra-type de logement mais pas aux rangs suivants, de façon, dans ce dernier cas à évaluer la capacité d'investissement de la truie dans l'élevage de sa progéniture jusqu'au sevrage. L'abréviation 1B correspond au lot de truies de rang 1 qui ont été bloquées autour de la mise bas, 1L au lot de truies de rang 1 libres pendant toute la période en maternité, etc. pour 2B, 2L, 3B et 3L. Le changement de maternité qui donne accès à une courette extérieure a été opéré 11 jours post mise bas en rang 1 et 20 jours post mise bas aux rangs suivants.

**Tableau 1** – Age moyen de la portée (en jours) au moment de la libération des truies bloquées et lors du changement de maternité

	1B	1L	2B	2L	3B	3L
Age à la libération (j)	4,4	4,3	4,0	4,4	3,3	4,6
Age au transfert (j)	11,4	11,3	19,5	19,8	20,3	21,6

### 1.2. Mesures zootechniques

Les données zootechniques comprennent la survie des porcelets de J0 à J49. Quotidiennement, les porcelets morts ont été collectés, pesés et examinés extérieurement, puis classés comme porcelets morts par agression de la truie (blessures associées à une morsure), porcelets faibles (poids plus léger qu'à la mesure précédente), porcelets écrasés (langue pendante à l'extérieur de la bouche, corps aplati) et porcelets mourant d'autres causes. La fin de mise bas a été définie comme l'heure de naissance approximative du dernier porcelet né. La croissance des porcelets a été évaluée par des pesées à J1 (24 h après la fin de mise bas +/-6 h), J21 et J49. Le poids de la portée a été calculé à chaque stade de pesée. Les truies étaient pesées en entrée et sortie de maternité, et leur épaisseur de lard dorsal a été évaluée par ultra-sons et calculée comme la moyenne des six mesures avant/milieu/arrière du dos.

### 1.3. Mesures comportementales

Un protocole d'évaluation du comportement des truies a été appliqué par un observateur sur les rangs de portée 2 et 3 pour mesurer leur réactivité à l'entrée en maternité, leur réaction lors de la 1<sup>ère</sup> intervention d'un animalier après la mise bas, leur réaction à la séparation d'avec leur portée à J1 au moment de la pesée des porcelets par des observations lors du retrait et du retour de la portée. Les notations incluaient l'appréciation des changements de posture (entre debout, assis, coucher ventre et coucher latéral), de l'intensité des vocalisations (0 : aucun grognement, 1 : <3 grognements, 2 : ≥3 grognements rythmés), de l'attention générale à l'environnement (1 = tête et oreilles dressées), de l'attention aux porcelets de type simple (1 = renifle 1 ou plusieurs porcelets ; 2 = renifle + grognements) ou maternelle (vocalise, renifle et grogne, les entoure avec un intérêt marqué), et pour finir le niveau de difficulté de l'intervention (1 = difficile ; 2 = très difficile selon l'attitude agressive de la truie envers l'intervenant).

**Tableau 2** – Moyennes estimées de la production pondérale et de la mobilisation des réserves corporelles par les truies allaitantes

Caractère	1B	1L	2B	2L	3B	3L
Poids de la portée à la naissance (kg)	22,9	23,4	24,5 <sup>a</sup>	22,1 <sup>b</sup>	26,0	26,0
Poids de la portée à 21 jours (kg)	-	-	49,0	51,9	72,9	76,0
Perte d'épaisseur de lard dorsal (mm)	-	-	3,5	3,6	6,0	6,4
Poids en entrée de maternité (kg)	237,1	237,0	262,4	261,8	283,4	280,7
Poids en sortie de maternité (kg)	204,2	199,4	221,1	218,7	232,4 <sup>x</sup>	225,0 <sup>y</sup>
Perte de poids en lactation (kg)	32,3	38,1	40,4	40,4	53,9	56,9

<sup>a, b</sup> différence significative  $P < 0,05$ ; <sup>x, y</sup> tendance  $P < 0,10$ ; - mesures non réalisées en P1. Seules sont indiquées les différences intra-rang de portée relation faible chez les truies B ( $y = -1,4x + 91,7$ ;  $R^2 = 0,08$ ) et les truies L ( $y = -2,0x + 98,7$ ;  $R^2 = 0,16$ ), ce qui traduit une grande variabilité entre truies pour une même taille de portée, avec un seuil à environ 17 porcelets au-delà duquel le taux de survie semble diminuer plus fortement.

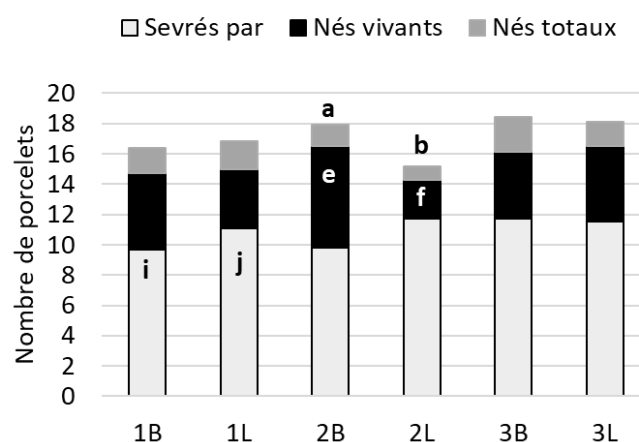
#### 1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SAS (SAS Institute, 2003). Les estimations des moindres carrés ont été obtenues avec les procédures MIXED ou GENMOD du logiciel SAS. Les tailles de portées ont été calculées comme la somme des porcelets vivants à un moment donné. Les poids individuels des porcelets ont été additionnés pour calculer le poids des portées et les gains de poids de portée. Si l'effet du rang de portée était significatif ( $P < 0,05$ ), les caractères ont été analysés avec un modèle mixte comprenant l'interaction entre le type de logement des truies (L ou B) et le rang de portée (3 niveaux) comme effets fixes, et la bande de mise bas (12 niveaux) et l'identité de la truie en effets aléatoires. Lorsque l'interaction avec le type de logement était significative, les estimations ont été obtenues séparément pour les trois rangs de portée. Le taux de survie au sevrage a été analysé en fonction du comportement. Dans le modèle final pour chaque série de mesure du comportement (à l'entrée en maternité, lors de la 1<sup>ère</sup> intervention, lors du retrait des porcelets à J1, lors du retour des porcelets à J1) ont été retenues l'interaction rang de portée x type de logement, les interactions significatives entre type de logement et comportement et autrement les effets simples de la classe comportementale qui étaient significatifs. Le modèle incluait les effets aléatoires de la truie et de la bande de mise bas. Les performances de prolificité des truies ont été comparées à celles de leur mère par régression simple, intra-rang de portée.

## 2. RESULTATS

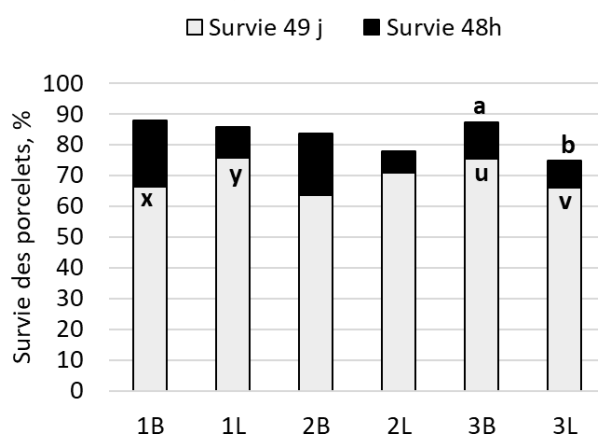
### 2.1. Production numérique en fonction du rang de portée

Les résultats de productivité numérique sont présentés sur les figures 1 et 2. La prolificité tend à augmenter entre la 1<sup>ère</sup> et la 3<sup>ème</sup> portée chez les truies B ( $P = 0,06$ ). En rang 2, la productivité des truies B était en moyenne supérieure de 2,7 porcelets à celle des truies L. Le nombre de porcelets sevrés était inférieur à 10 en 1B, 2B et 2L et supérieur à 11 dans les trois autres catégories. Les truies 1B et les truies 1L ont dû élever respectivement 14,6 (écart-type 1,4) et 15,0 (écart-type 2,6) porcelets. Les truies 1L ont sevré plus de porcelets que les truies 1B mais aucune différence entre les deux lots de truies n'a été observée aux rangs suivants. Pour l'ensemble des truies, le taux de survie 48h post- mise bas variait entre 75% et 88%. Des pertes substantielles avaient lieu jusqu'au sevrage, aboutissant à un taux de survie global qui variait entre 64 et 75% et ne différait pas entre les trois rangs de portées. Avec une prolificité semblable, les truies 3L ont eu néanmoins un pourcentage de pertes en porcelets plus élevé que les 3B. Le taux de survie est faiblement lié au nombre de porcelets nés vivants, selon une



**Figure 1** – Production numérique en fonction du rang de portée et du type de logement *peripartum*

Seules sont analysées les comparaisons intra rang de portée. Les lettres qui se suivent alphabétiquement indiquent que les différences sont significatives au seuil  $P < 0,05$ .



**Figure 2** – Taux de survie à 2 j et 49 j de lactation en fonction du rang de portée et du type de logement *peripartum*

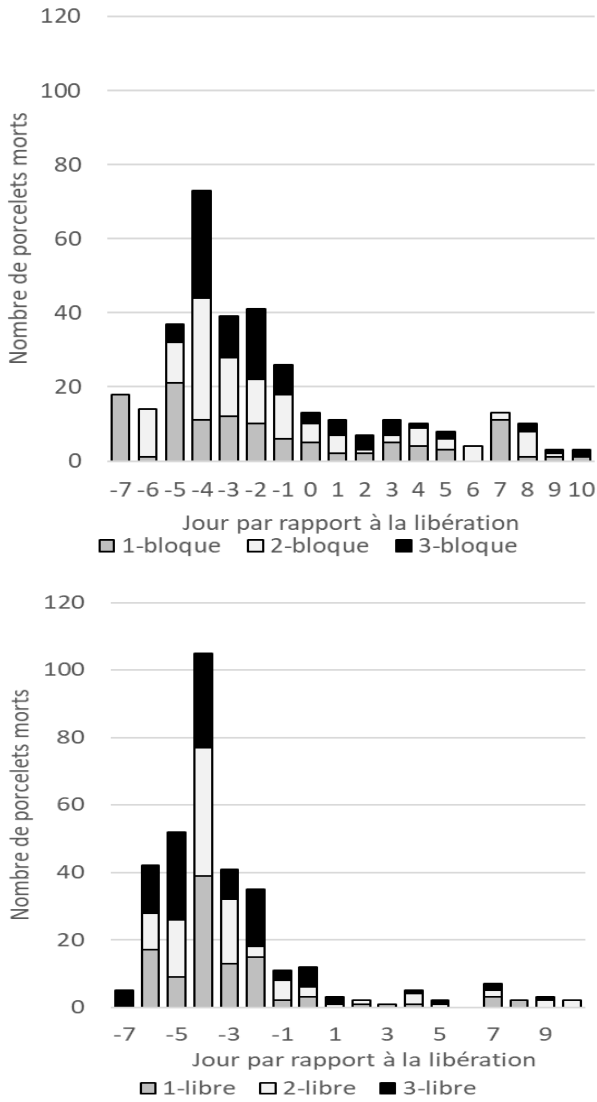
Seules sont analysées les comparaisons intra rang de portée. Les lettres qui se suivent alphabétiquement indiquent que les différences sont significatives au seuil de  $P < 0,05$ .

### 2.2. Mortalité des porcelets

La cinétique des pertes cumulées est présentée sur les figures 3a et 3b pour les truies bloquées et libres respectivement. Sur



les trois rangs de portée cumulés, 88,2% des pertes des truies L se produisent avant la libération des truies B. Ces dernières enregistrent des pertes substantielles après la libération (27,3% vs 11,8% pour les L). Le nombre moyen de porcelets morts post libération des truies B était supérieur à celui des truies L évaluées sur la même période, en rang 1 (2,6 vs 1,3 ;  $P = 0,04$ ) et en rang 2 (2,8 vs 1,1 ;  $P = 0,005$ ). L'analyse des différentes causes de mort dans les 10 premiers jours de lactation (Figure 4) montre des pertes plus importantes par écrasement en rang 3 chez les truies L que chez les truies B. En rang 2, les truies B ont plus de pertes par faiblesse-faim-froid que les truies L, en lien avec leur taille de portée supérieure (Figure 1). Intra-rang de portée, de façon non significative, les pertes à 10 jours sont plus nombreuses sur les truies B que sur les truies L, avec un peu plus de porcelets écrasés (0,31 vs 0,11 porcelet en moyenne).



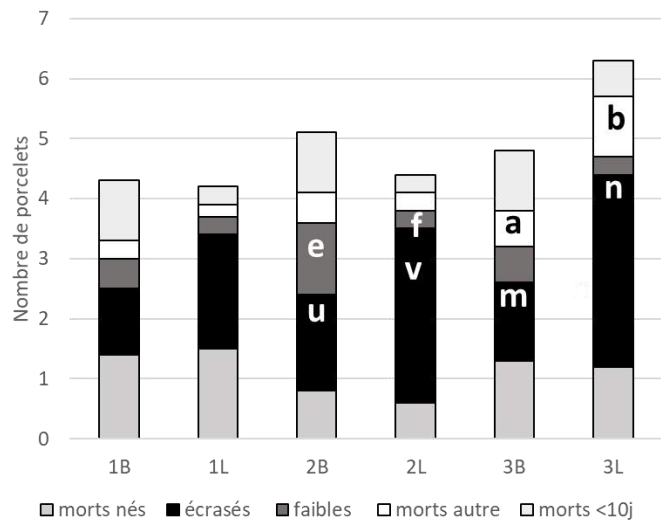
**Figure 3** – Cumul du nombre de porcelets morts en fonction de l'écart (j) par rapport à la libération des truies bloquées (a) et libres (b) autour de la mise bas

Les truies sont transférées dans la maternité donnant accès à une courette extérieure après 7 jours (rang 1) et 15 jours (rangs 2 et 3) après la libération.

**2.3. Production pondérale, investissement corporel et stabilité des performances**

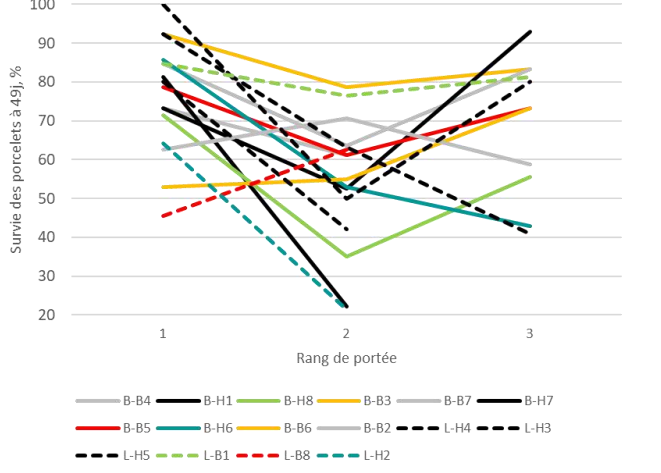
La production en poids de portée à la naissance diffère entre les rangs 1 et 3 ( $P = 0,01$  et  $0,03$  pour les truies B et L respectivement). Le poids de portée à 21j augmente entre les rangs 2 et 3 ( $P = 0,015$  dans les deux groupes). La perte de poids

des truies est supérieure au rang 3 par rapport aux deux rangs précédents ( $P < 0,04$ ) pour les truies L et B. La comparaison intra-rang de portée des performances entre truies L et truies B en poids de portée à la naissance et à 21 j est présentée dans le tableau 2. La seule différence observée concerne les truies B qui ont produit des portées plus lourdes que leurs sœurs L en rang 2. La production à un rang donné dépend de la production aux rangs précédents. Les truies L qui ont beaucoup investi au rang 1 produisent une plus petite portée au rang 2 puis une plus grande portée en rang 3 (non montré). La figure 5 illustre par la représentation des individus extrêmes, l'amplitude des variations intra-individu en taux de survie avec le rang de portée. Des contrastes marqués entre sœurs sont observés.



**Figure 4** – Les différentes causes de mortalité des porcelets selon le rang de portée et le type de logement *peripartum*.

Seules sont mises en avant les comparaisons intra rang de portée. Les 4 premières catégories décrivent la mortalité pré-libération des truies bloquées ; morts <10j : pertes entre la libération et 10j de lactation. Les lettres qui se suivent alphabétiquement soulignent les différences pour un niveau de significativité de  $P < 0,05$ .



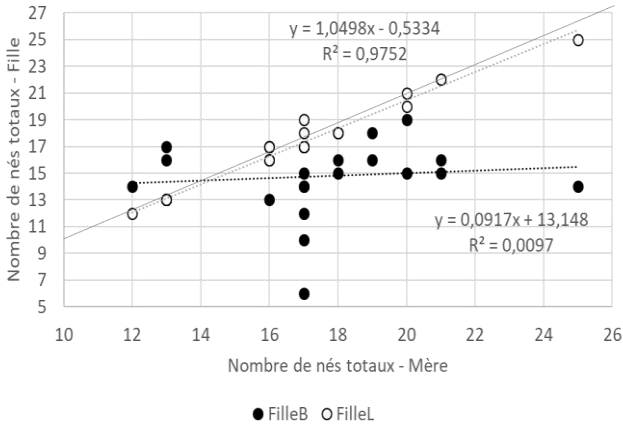
**Figure 5** –Taux de survie en fonction du rang de portée des truies B (-) et L (---) les plus (noir) et moins (gris) variables

Chaque courbe représente une truie différente. Couples de sœurs : B-H6 et L\_H2 ; B\_H8 et L\_B1 ; B-B5 et L-B8. B-B3 et B\_B6 sont des sœurs élevées dans le même environnement i.e., bloquées en *peripartum*.

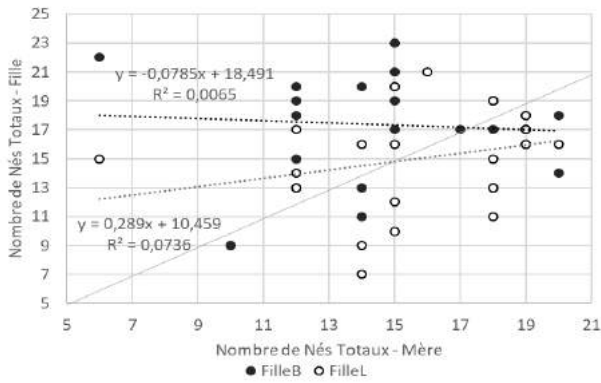
**2.4. Relations entre performance des truies et de leurs mères**

La relation entre taille de portée des truies et de leurs mères au rang de portée 1 diffère entre les deux lots de sœurs, donc selon

le type de logement *peripartum*. Elle est forte et positive pour les truies L qui ont un niveau de production quasi identique à celui de leur mère (Figure 6). Pour une taille de portée >15, les truies B ont systématiquement eu une prolificité inférieure à celle de leurs mères. La tendance s'inverse en rang 2 (Figure 7).

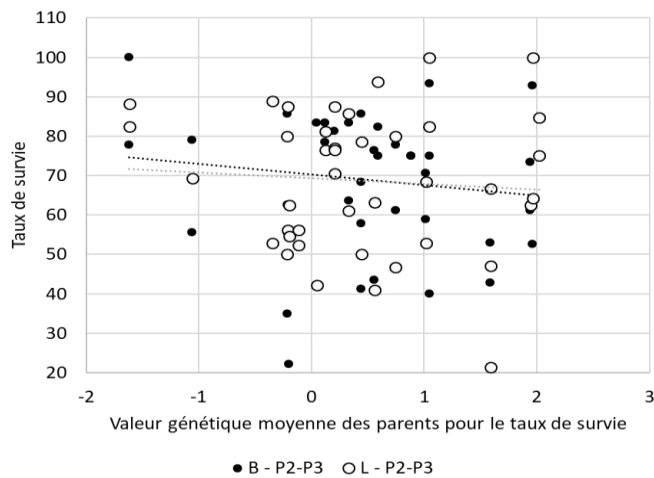


**Figure 6** – Comparaison du nombre de nés totaux des filles B et L à celui de leurs mères, toutes étant en 1<sup>er</sup> rang de portée



**Figure 7** – Comparaison du nombre de nés totaux des filles B et L à celui de leurs mères, toutes étant en 2<sup>nd</sup> rang de portée.

Les valeurs génétiques ont été estimées à partir des performances des reproducteurs dans la population Large White. Le taux de survie des porcelets jusqu’au sevrage observé chez les filles B et L n’est pas lié à la moyenne des valeurs génétiques de leurs parents pour ce même caractère.



**Figure 8** – Comparaison du taux de survie des filles B et L à la valeur génétique moyenne de leurs parents, en rangs 2 et 3.

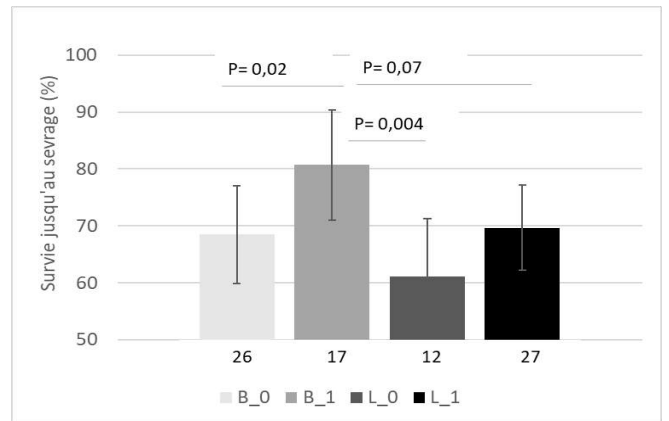
**2.5. Relations entre la survie des porcelets et les observations de comportement des truies**

**2.5.1. Relations avec la survie jusqu’à 48h post mise bas**

A l’entrée en maternité, les truies qui ne vocalisent pas ont un meilleur taux de survie à J2 que celles qui vocalisent. La différence entre les truies L qui expriment le comportement et celles qui ne le l’expriment pas est significative (90% vs 77% ; P = 0,015). Les truies debout qui explorent ont un plus fort taux de survie à J2, avec une différence significative pour les truies B (100% vs 90% ; P = 0,01) et les truies L (89% vs 79% ; P = 0,04). Les truies attentionnées lors du retrait de la portée à J1 ont un meilleur taux de survie, avec une tendance chez les truies B (90% vs 81% ; P = 0,07) et les truies L (81% vs 74% ; P = 0,11).

**2.5.2. Relations avec la survie jusqu’au sevrage**

La réaction des truies à l’entrée en maternité influence aussi le taux de survie de leur portée jusqu’au sevrage. Les truies L qui sont immobiles (67% vs 52% ; P < 0,01) et qui vocalisent ont un meilleur taux de survie que celles qui se déplacent et ne vocalisent pas (68% vs 52% ; P = 0,01). Les truies B qui explorent (N=6) ont un meilleur taux de survie que les 3 autres catégories (80% vs 60-64% ; P<0,03). Au retour de la portée à J1, les truies L ont un comportement plus maternel envers leurs porcelets que les truies B (rang 2 : 69,6% vs 36,4% ; P = 0,05). Les truies plus maternelles ont un taux de survie supérieur, et la différence est significative parmi les truies B mais pas entre les deux catégories de truies L (Figure 9). A ce moment, sans lien avec le logement, les truies qui n’explorent pas l’environnement (75% vs 68%), ne reniflent pas leurs porcelets (76% vs 67%) mais sont mobiles (agitées en bloqué) (79% vs 65%) ont un meilleur taux de survie.



**Figure 9** – Effet de la réaction maternelle des truies au retour de la portée sur le taux de survie jusqu’au sevrage

Les effectifs sont indiqués sous chaque barre. Les différences significatives entre lots d’animaux sont indiquées par la p-value correspondante.

**3. DISCUSSION**

Les taux de perte sous la mère sont en accord avec les précédents travaux sur la production biologique qui mentionnent une moyenne de 30% (Prunier *et al.*, 2014 ; Schild *et al.*, 2020a, b). Dans ces conditions, les niveaux de pertes des truies LW ne sont pas supérieurs à ceux de truies croisées ou de lignées plus rustiques (Leenhouders *et al.*, 2013). La taille de portée des truies était pourtant assez élevée, du fait de l’origine génétique pure des mères qui sont issues du noyau de sélection. Les tailles de portées très élevées (> 17) sont plus à risque, il est donc opportun de limiter la taille de portée en production biologique. Les truies ont été mises à la reproduction tardivement, ce qui était favorable à un bon développement et

un niveau de maturité assez élevé dès la 1<sup>ère</sup> reproduction. Les truies ont eu des intervalles sevrage-saillie fécondante très faibles, et le succès de reproduction était élevé. Nous avons observé une relation très forte entre prolificité des truies et celle de leurs mères (en système conventionnel) au rang 1 chez les truies L. L'héritabilité de ce caractère est  $< 0,20$ . Les verrats choisis au sein de la population Large White avaient un potentiel génétique (valeur génétique estimée) favorable à la survie des porcelets sous leur mère. L'héritabilité du taux de survie des porcelets était substantielle ( $h^2 = 0,10$ ). Mais nous n'avons pas mis en évidence de relation entre le taux de survie observé et la valeur génétique moyenne des parents sur ce même caractère. Il s'agit de résultats partiels compte tenu du faible nombre d'animaux. Cette relation sera ré-évaluée après plusieurs générations de sélection. La population génétiquement identique de sœurs bloquées était moins prolifique que leurs sœurs et leurs mères. Outre les effets maternels, la génétique du porcelet peut aussi influencer sa survie par des effets paternels. Pourtant les portées croisées Piétrain x LW (rang 1) et pures LW (rang 2) étaient de taille similaire et le taux de survie de leurs portées était équivalent. Ce résultat dépend des effets d'hétérosis au rang 1 et de l'expérience maternelle aux rangs suivants.

Les cages de mises bas ont comme fonction de limiter l'écrasement des porcelets dans la période *peripartum*. Les truies libres de mouvement auraient plus de mouvements à risque dans les 24 h post-mise bas. L'efficacité de la contention n'a été mise en évidence qu'en 3<sup>ème</sup> rang de portée, en lien avec le gros gabarit des truies qui se couchaient plus brusquement, et l'effet pressenti de la saison chaude sur les 2 dernières bandes de mise bas. La libération des truies semble induire des pertes supplémentaires. Cette pratique aurait donc un effet à retardement qui est défavorable à la survie des jeunes porcelets. Contrairement à King *et al.* (2019), Illmann *et al.* (2021) dans une étude du blocage quatre jours postpartum, n'ont pas observé d'effet de l'ouverture de la cage sur le risque de blessure des porcelets.

La stabilité de performances est un caractère d'intérêt. Il convient de privilégier les descendantes des truies qui maintiennent un bon niveau de production au fil des portées comme futures reproductrices. Les observations par les animaliers des réactions des truies entre l'entrée en maternité et 24h post-mise bas permettent de qualifier les truies au plan maternel. Le taux de survie des porcelets dépend du comportement des truies. L'interprétation peut différer selon le recours ou pas à de la contention *peripartum*. La capacité d'adaptation s'apprécie par la différence de performance entre les sœurs. Ce critère sera pris en compte dans la stratégie de sélection sur la survie postnatale qui démarre sur cette population, de même que le comportement des truies dans les deux types de logement. Hansen *et al.* (2017) qui ont évalué l'effet du blocage de J-1 à J+1 ont souligné des différences subtiles de comportement avec une moindre qualité de la nidification des truies B, qui sont plus nerveuses (Lawrence *et al.*, 1994) que des truies L. Le comportement des truies est transmissible à la descendance (Rydmer et Canario, 2014) et évolue en parallèle de la sélection réalisée pour accroître les performances (Girardie *et al.*, 2020). La réactivité des truies lors de la séparation d'avec la portée est un caractère qui témoigne de l'attachement des truies à leur progéniture et qui est héritable ( $h^2 > 0,15$ ). De plus, l'adaptation de la truie à l'environnement de maternité influence la survie de sa progéniture *peripartum*, comme montré par Canario *et al.* (2009) dans la comparaison de truies Large White et Meishan. Les relations avec la survie des porcelets seront ré-évaluées après plusieurs générations de sélection.

## CONCLUSION

Dans ce dispositif qui associe génétique et environnement, le taux de survie des porcelets jusqu'au sevrage ne variait pas selon que les truies étaient bloquées ou non autour de la mise bas. Les observations comportementales peuvent contribuer à la gestion des troupeaux de truies allaitantes. En production biologique, l'amélioration des performances passera par l'utilisation de nouveaux critères de sélection.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Canario L., Billon Y., Mormède P., Poirel D., Moigneau C. 2009. Temperament, adaptation and maternal abilities of Meishan and Large White sows kept in a loose-housing system during lactation. 60th Annual Meeting of EAAP, Barcelona, Italy. Book of abstracts, 8, p282.
- FiBL 2011. Organic pig production in Europe: health management in common organic pig farming. <https://organic-farmknowledge.org/tool/38216>
- Girardie O., Espinoza C., Perry C., Lapoumeroulie M., Gogué M., Herel O., Bidanel, J.P., Canario L. 2020. Evolutions génétiques du comportement des truies et de leurs porcelets en début de lactation. 52 Journées de la Rech. Porc., Paris, Fr.
- Hansen C.F., Hales J., Weber P.M., Edwards S.A., Moustsen V.A., 2017. Confinement of sows 24 h before expected farrowing affects the performance of nest building behaviours but not progress of parturition Appl. Anim. Behav. Sci., 188, 1-8.
- Illmann G., Goumon S., Chaloupková H., 2021. Assessment of lying down behaviour in temporarily crated lactating sows. Animal, 15, 100130.
- King, R., Baxter, E., Matheson, S., Edwards, S., 2019. Temporary crate opening procedure affects immediate post-opening piglet mortality and sow behaviour. Animal, 13, 189-197.
- Lawrence A.B., Petherick J.C., McLean K.A., Deans L.A., Chirnside J., Vaughan A., Clutton E., Terlouw E.M.C., 1994. The effect of environment on behaviour, plasma-cortisol and prolactin in parturient sows. Appl. Anim. Behav. Sci., 39, 313-330.
- Leenhouders J.I., Merks J.W.M., 2013. Suitability of traditional and conventional pig breeds in organic and low-input production systems in Europe: Survey results and a review of literature. Anim. Genet. Resour., 53, 169-184.
- Prunier A, Dippel S, Bochicchio D, Edwards S, Leeb C., Lindgren K., Sundrum A., Dietze K., Bonde M., 2014. Characteristics of organic pig farms in selected European countries and their possible influence on litter size and piglet mortality. Organic Agriculture, 4 (2), 163-173.
- Rydmer, L., Canario, L. 2014. Behavioral genetics in pigs and relations to welfare. In: Grandin Temple, Deesing Mark, Genetics and the Behavior of Domestic Animals (p. 397-434).
- Schild S.A., L. Foldager, L. Rangstrup-Christensen, L. J. Pedersen, 2020 a. Characteristics of piglets born by two highly prolific sow hybrids. Front. Vet. Sci., 7, 355.
- Schild S. L. A., Baxter E. M., Pedersen L. J., 2020 b. A review of neonatal mortality in outdoor organic production and possibilities to increase piglet survival. App. Anim. Behav. Sci., 231, 105088.

# Etude des paramètres génétiques des poids et rendements de pièces estimés à partir d'un scanner à ultrasons

Aurélie LE DREAU (1), Pauline BRENAUT (2), Alban BOUQUET (2), Arnaud BUCHET (3), Cyrille MELI FOAGUAM (3),  
Bruno LIGONESCHE (1)

(1) SAS NUCLEUS, 7 rue des orchidées, 35650 Le Rheu, France

(2) IFIP – Institut du porc, BP 35104, 35561 Le Rheu, France

(3) Cooperl Innovation SAS, 1 rue de la gare, 22640 Plestan, France

a.ledreau@nucleus-sa.com

## Study of genetic parameters of weight characteristics and meat-cut yields estimated using a ultrasound scanner

The economic value of a carcass depends not only on its weight or quality, but also on the relative proportions of its meat cuts. Indeed, some cuts, such as the ham or loin, have more value than other cuts. It would therefore be interesting to increase the weight of these specific cuts while maintaining a standard carcass weight. AutoFom III™ is a tool that scans the back of a pig using 16 ultrasound probes by measuring thicknesses along the carcass. It then uses equations to estimate the weights and yields of the cuts. These estimates can be used to calculate a value for each carcass based on the mean price of each cut. The aim of this study was to estimate genetic parameters of these new measurements in the Pietrain breed and their relationship with traits measured in breeding candidates. Eight thousand Pietrain pigs from two breeding farms were studied for both measurements from AutoFom and traits of selection interest, such as growth and conformation. The heritabilities of cut weights and yields were relatively high (0.43-0.52). The genetic correlations between estimated cut weights and yields and traits of selection interest, especially backfat thickness, were relatively strong and favorable. The selection objectives currently in place are therefore already helping to improve the economic value of carcasses.

## INTRODUCTION

La valeur économique d'une carcasse ne dépend pas uniquement de son poids brut ou de sa qualité, mais aussi de la proportion entre les différentes pièces qui la composent. En effet, certaines pièces, comme le jambon ou la longe, sont mieux valorisées que le reste de la carcasse. Il serait donc plus intéressant d'augmenter spécifiquement le poids de ces pièces tout en maintenant un poids de carcasse standard. L'AutoFom III™ est un outil qui permet de prédire les poids et rendements de pièces des carcasses entières. Cette étude a pour but d'estimer les paramètres génétiques de ces prédictions en race Piétrain ainsi que leurs relations avec les caractères d'intérêt en sélection.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. L'AutoFom

L'AutoFom est un appareil basé sur une technologie non invasive de scanner à ultrasons. Il consiste en un arceau dans lequel sont insérés 16 capteurs qui scannent le dos du porc de façon à obtenir une image dont sont extraites des variables appelées paramètres d'image qui sont ensuite utilisées pour la prédiction des poids et rendements de pièces.

L'AutoFom est installé depuis 2016 à l'abattoir Cooperl de Lamballe et permet de prédire les poids de pièces des porcs charcutiers depuis 2018. Ainsi, les carcasses sont triées et

orientées vers différents circuits. Dans cette étude, nous nous limiterons aux caractères prédits les plus intéressantes économiquement, à savoir le poids de jambon désossé (PJD) et le poids de la noix carré (PNC) qui doivent être plus élevés, et le rendement matière grasse de la poitrine (RMGP), que l'on veut réduire. Ces variables, avec le poids de carcasse chaud, permettent de prédire une valeur économique de la carcasse.

### 1.2. Equation de prédiction

L'équation de prédiction des poids et rendement de pièces actuellement utilisées ont été établies à partir et pour les porcs charcutiers. Les animaux Piétrain ayant une conformation très différente, une nouvelle équation de prédiction spécifique à cette race a été établie. Pour cela, une phase de dissection des carcasses suivie d'une phase de modélisation des données est nécessaire. Deux cent huit carcasses ont donc été disséquées (159 carcasses pour la calibration des équations et 49 pour la validation). Ces carcasses ont été sélectionnées pour être représentatives de la population Piétrain sur les caractères de poids chaud et de TMP.

### 1.3. Animaux

Les animaux étudiés sont issus de deux élevages de sélection. Ces animaux ont été testés à 4,5 mois d'âge et leurs performances ont été standardisées pour un poids de 100 kg, permettant ainsi d'obtenir l'âge (A100), l'épaisseur de lard (L100) et l'épaisseur de muscle (X5100) à 100 kg. Une partie de

ces animaux disposent aussi d'un Indice de Consommation (IC) individuel. Les animaux abattus ont en plus les mesures prédites par l'AutoFom. Le pedigree a été extrait sur cinq générations et compte 20 951 individus.

#### 1.4. Méthode

Un nettoyage des données a été réalisé pour écarter les valeurs anormales en supprimant les valeurs au-delà de 4 écart-types autour de la moyenne. Le nombre de données disponibles pour chaque caractère, ainsi que les moyennes et écart-types, sont détaillés dans le tableau 1.

**Tableau 1** – Nombre, moyennes et écart-types des caractères étudiés (voir abréviations dans le texte)

Caractère	Nombre de données	Moyenne ± écart-type
<b>A100</b>	17773	135,6 ± 10,0
<b>L100</b>	17773	7,9 ± 1,1
<b>X5100</b>	17773	73,0 ± 5,6
<b>IC</b>	2002	2,22 ± 0,16
<b>PJD</b>	8072	9,93 ± 0,59
<b>PNC</b>	8072	4,04 ± 0,30
<b>RMGP</b>	8072	26,73 ± 2,95
<b>Valeur économique</b>	8072	2,60 ± 0,03

Les caractères étudiés ont été corrigés pour les effets d'environnement grâce à des modèles linéaires réalisés sur le logiciel (v.4.0.2, package nlme). Les modèles utilisés décrits ci-après :

$A100 = Bande + Halothane + Rang\ portée + Nb\ nés\ totaux + |Portée| + |Animal|$

$L100\ et\ X5100 = Bande + Halothane + |Portée| + |Animal|$

$IC = Bande + Halothane + Case + Poids\ début\ contrôle + |Animal|$

$Car.\ AutoFom = Bande + Halothane + Poids\ chaud + |Animal|$

$Valeur\ économique = Bande + Halothane + |Animal|$

$|*| = effet\ aléatoire$

Les estimations des paramètres génétiques ont ensuite été réalisées à l'aide du logiciel DMU.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les paramètres génétiques estimés sont présentés dans le tableau 2. Ces résultats ont été comparés à ceux utilisés depuis 2018 dans l'évaluation génétique Piétrain réalisée par l'IFIP. Les héritabilités sont globalement similaires à celles calculées par l'IFIP. Elles sont un peu plus faibles pour l'âge à 100 kg, l'épaisseur de lard à 100 kg et le pH (respectivement 0,30, 0,36 et 0,24 ici contre 0,38, 0,44 et 0,35 pour celles de l'IFIP).

Les héritabilités des poids et rendement de pièces estimés par l'AutoFom sont relativement élevés, variant de 0,52 à 0,54. Il en est de même pour la valeur économique de la carcasse avec une héritabilité de 0,52. Les corrélations phénotypiques et génétiques entre ces variables sont élevées. Ces fortes corrélations s'expliquent notamment par le fait que les données prédites par l'AutoFom le sont toutes à partir de paramètres d'images, et donc à partir de données très semblables, en particulier lorsque les pièces sont proches.

Les corrélations génétiques entre les caractères de l'AutoFom et l'A100 sont faibles. Elles sont plus élevées et principalement favorables avec les caractères de conformation (L100 et X5100). En effet, l'objectif de sélection actuel tend vers une diminution de l'épaisseur de lard et une augmentation de l'épaisseur de muscle, ce qui amènerait génétiquement à une augmentation des poids de pièces intéressantes (jambon, poitrine et noix carrée). La corrélation des prédictions AutoFom avec l'IC est aussi favorable, puisque la sélection sur des IC faibles entraîne une augmentation de la valeur économique des carcasses.

### CONCLUSION

Cette étude montre que l'objectif de sélection actuel participe à améliorer les poids des pièces intéressantes et ainsi à augmenter la valeur économique des carcasses. La collecte des données se poursuit et il pourra être envisagé par la suite d'intégrer ces caractères dans l'objectif de sélection Piétrain.

**Tableau 2** – Paramètres génétiques estimés (héritabilités sur la diagonale, corrélations phénotypiques en-dessous et corrélations génétiques au-dessus) (voir abréviations dans le texte)

	<b>A100</b>	<b>L100</b>	<b>X5100</b>	<b>IC</b>	<b>PJD</b>	<b>PNC</b>	<b>RMGP</b>	<b>Val. Eco.</b>
<b>A100</b>	0,30	-0,25	0,39	0,24	0,08	0,10	-0,05	0,04
<b>L100</b>	-0,13	0,36	-0,06	0,28	-0,84	-0,47	0,88	-0,73
<b>X5100</b>	0,32	0,00	0,32	0,22	0,17	0,63	-0,14	0,42
<b>IC</b>	0,42	0,28	0,17	0,36	-0,37	-0,32	0,44	-0,41
<b>PJD</b>	0,02	-0,62	0,12	-0,37	0,52	0,67	-0,94	0,92
<b>PNC</b>	0,00	-0,36	0,34	-0,25	0,68	0,53	-0,61	0,90
<b>RMGP</b>	-0,01	0,66	-0,11	0,41	-0,90	-0,59	0,53	-0,88
<b>Val. éco.</b>	-0,05	-0,55	0,22	-0,37	0,92	0,89	-0,86	0,52

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bouquet A., Brenaut P., 2018. Objectifs de sélection Piétrain 2018 - IFIP - communication interne,
- Madsen P., Jensen J., 2013. A user's guide to DMU, A package for analysing multivariate mixed models, version, 6, 1-33,
- R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL <https://www.R-project.org/>.

# Modélisation de stratégies pour améliorer la sélection de l'efficacité alimentaire en cas d'interactions GxE

Alban BOUQUET (1) et Hélène GILBERT (2)

(1) IFIP-Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

(2) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, 24 Chemin de Borde Rouge, 31320 Castanet Tolosan, France

helene.gilbert@inrae.fr

## Modelling strategies to improve selection for feed efficiency in the presence of G x E interactions

Feed efficiency is selected from records of selection nuclei for a small proportion of candidates for selection. This is sub-optimal when G x E interactions exist between selection and production farms. The present study aimed at setting reference values for collecting new data in this context. Breeding schemes for a pig sire line were run with the ZPlan+ software, varying the proportions of phenotyped candidates, magnitude of G x E interactions and genetic parameters for a proxy of feed efficiency. When no records were available in the production environment, recording feed efficiency of 50% of the male candidates led to a genetic progress of  $-0.25\sigma_g$  after one selection cycle. When G x E interactions occurred, the genetic gain was reduced to  $-0.12\sigma_g$  when the genetic correlation between the environments was 0.50, and by  $-0.20\sigma_g$  when it was 0.80. Recording a proxy with 0.40 heritability and 0.50 genetic correlation with feed efficiency in the selection environment led to a 5-30% gain in genetic progress compared to scenarios with no proxy, if less than 30% of the male candidates were phenotyped for feed efficiency in the selection herds. The gains in genetic progress were largest when females and males were measured for the proxy. However, the highest break-even cost was obtained when measuring proxies only from males with no records for feed efficiency, with maximum break-even costs of 25€ per animal, and ranges of 5-10€ for the most realistic scenarios. This study was performed within the ANR MicroFeed (ANR-16-CE20-0003) project.

## INTRODUCTION

L'amélioration de l'efficacité alimentaire repose sur l'enregistrement de performances en élevages de sélection pour une fraction des candidats à la sélection. Ces animaux sont parents ou grands-parents des porcs croisés élevés dans les fermes de production. En présence d'interaction génétique x environnement (G x E) entre environnements de sélection et de production, cette stratégie est suboptimale : les meilleurs animaux en sélection ne sont alors pas toujours les meilleurs en production. Ces interactions sont typiquement quantifiées par l'estimation de corrélations génétiques entre caractères mesurés dans les deux environnements, une corrélation inférieure à 0,80 étant indicatrice d'interactions G x E pénalisant la réalisation des performances dans l'environnement non considéré pour la sélection (Mulder et Bijma, 2005). Ces corrélations génétiques pour l'efficacité alimentaire sont estimées entre 0,50 et 0,70 (Wientjes et Calus, 2017). Les causes de ces corrélations sont des effets environnementaux (alimentation, conditions d'ambiance, sanitaire...), et génétiques (races pures vs porcs croisés) différents entre sélection et production. Tusell *et al.* (2016) ont isolé la composante génétique en estimant ces corrélations entre des animaux de race pure et croisés élevés dans un même élevage, et ont trouvé des corrélations proches de 1 pour l'efficacité alimentaire, suggérant que l'essentiel des interactions rapportées par Wientjes et Calus (2017), pour ce caractère,

correspond à des différences environnementales. Notre étude a pour objectif d'identifier les conditions de collecte de données complémentaires qui consolideraient les gains génétiques pour l'efficacité alimentaire dans un contexte de G x E.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Schémas de sélection modélisés

Les schémas de sélection ont été simulés avec le logiciel ZPlan+ (Täubert *et al.*, 2010), selon une structure typique de lignée paternelle, avec 1000 truies, 100 verrats et 8000 candidats à la sélection par cycle (4000 mâles et 4000 femelles). Neuf caractères ont été simulés, avec des paramètres génétiques usuels de populations paternelles. Les âges à 100 kg (A100), épaisseur de lard dorsal (ELD) et épaisseur de muscle (X5) étaient mesurés sur tous les candidats et candidates à la sélection. Les taux de muscle des pièces (TMP), rendement de carcasse (RDT) et indice de qualité de la viande (IQV) étaient mesurés après abattage sur 50% des candidats non retenus au contrôle en ferme (collatéraux). L'indice de consommation (IC) dans l'environnement de sélection était mesuré sur une fraction « propmal » des mâles candidats. L'IC dans un environnement alternatif (ICalt), de même héritabilité que IC et avec une corrélation génétique ( $r_g$ ) variant entre 0,3 et 1 avec IC, était mesuré sur une fraction des collatéraux. Un caractère fictif (FIC), mesuré sur tous les candidats, d'héritabilité 0,30 et non corrélé aux autres caractères, captait les pertes de charge d'un schéma de sélection pour obtenir des prédictions de progrès



génétique réalistes. Un objectif de sélection  $H = 33\%*FIC + 67\%*(50\%*ICalt + 10\%*A100 + 15\%*TMP + 15\%*IQV + 10\%*RDT)$  a été simulé.

Les paramètres variables étaient : la proportion de candidats avec des mesures pour IC (0 à 100%), propmal, et la proportion de collatéraux mesurés pour ICalt (0 à 1200). Un proxy, mesuré sur tous les candidates et candidats à la sélection, ou uniquement sur les mâles non mesurés pour IC, a été simulé avec une héritabilité ( $h^2$ ) de 0,20 ou 0,40 et une corrélation génétique  $r_{gp}$  variant de 0,30 à 0,70 avec IC.

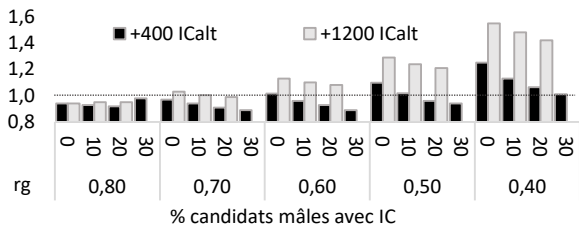
**1.2. Critères de comparaison des scénarios**

Le gain de progrès génétique sur ICalt par cycle a été évalué par scénario, par rapport à des scénarios sans mesure d'ICalt ni du proxy. Le coût de la mesure additionnelle pour atteindre le seuil de rentabilité a été évalué, en supposant 50% du gain génétique transmis à la descendance (voie maternelle non considérée) et un écart type génétique de 0,10 pour ICalt, trois millions de porcs produits par cycle, 90 kg de gain de poids en croissance-finition, 250 € par tonne d'aliment, et 50 € par mesure de IC.

**2. RESULTATS ET DISCUSSION**

**2.1.1. Mesures d'ICalt**

Quand il n'y a pas de mesures ICalt (scénario actuel), augmenter propmal permet d'augmenter le progrès génétique sur ICalt grâce aux corrélations génétiques entre caractères, en particulier pour des valeurs faibles de propmal (< 50%). Le progrès génétique sur ICalt est doublé entre le scénario où aucun candidat n'est mesuré pour IC et celui où 40% des candidats le sont, passant de -0,13 (propmal = 0%) à -0,26 (propmal = 40%) écart type génétique pour  $r_g = 1$ , et de -0,07 à -0,13 pour  $r_g = 0,50$ . En valeur absolue, ce gain est donc d'autant plus grand que la corrélation entre IC et ICalt est élevée.



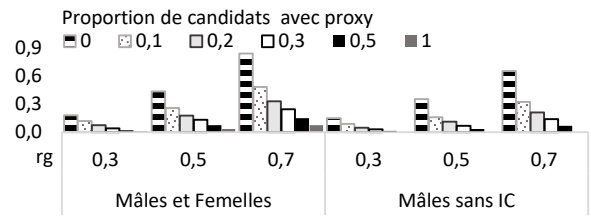
**Figure 1** – Rapport entre progrès génétiques avec IC et quand ICalt remplace IC pour 400 ou 1200 candidats mâles

Quand  $r_g < 0,6$  et propmal < 0,3, mesurer ICalt sur plus de 800 collatéraux augmente de 10 à près de 60% le progrès génétique par rapport à des mesures IC (Figure 1). Plus  $r_g$  et propmal sont faibles, plus le gain de progrès génétique est possible avec une faible proportion de collatéraux mesurés pour ICalt.

**2.1.2. Mesure de proxy**

La mesure d'un proxy permet d'autant plus d'augmenter le progrès génétique sur ICalt que  $r_{gp}$  est élevée et propmal est

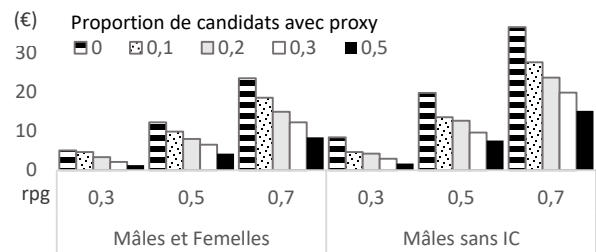
faible (Figure 2). Le gain est plus important quand les mâles et les femelles sont mesurés, certainement car les femelles n'ont aucune mesure IC dans le scénario de base.



**Figure 2** – Progrès génétique relatif par cycle sur ICalt avec mesure d'un proxy ( $h^2=0,40$ ) sur tout ou partie des candidats

**2.1.3. Seuil de rentabilité**

Les gains de progrès génétique ne sont rentables que s'ils compensent au moins le coût des mesures associées. Pour  $r_g > 0,80$ , il est toujours rentable d'augmenter la capacité de mesure de IC (seuils > 50 €). Si  $0,50 < r_g < 0,80$ , le seuil de rentabilité se situe entre 50 et 100% de candidats phénotypés. Le coût d'équilibre d'une mesure de proxy augmente quand  $r_{gp}$  augmente et propmal diminue (Figure 3). De plus, ce coût est plus faible si tous les candidats à la sélection sont mesurés que si seuls les mâles sans IC sont mesurés, en lien avec le nombre réduit d'animaux à mesurer dans ce dernier cas. Avec des  $r_{gp}$  de 0,30 à 0,40, le coût maximum de la mesure doit être compris entre 5 et 10€ pour être rentable.



**Figure 3** – Coût d'équilibre du proxy, avec  $h^2 = 0,4$  et  $r_g = 0,50$

**CONCLUSION**

Les directions des changements de progrès génétiques en fonction des paramètres simulés étaient attendues. Néanmoins, ces résultats apportent des repères techniques quant aux évolutions possibles des schémas de sélection en fonction des caractéristiques génétiques des caractères et des coûts des leviers disponibles. En particulier, nous mettons en évidence qu'en présence de G x E des mesures d'ICalt ou de proxys pourraient efficacement compléter les mesures réalisées sur les candidats à la sélection, si leur coût ne dépasse pas 5 à 10€. Ce type de coût semble à terme réaliste pour des mesures sur des fèces, telles que celles discutées dans Aliakbari et al. (2022). Leur sensibilité, en particulier aux hypothèses faites sur les coûts alimentaires et à la mesure d'autres cohortes (femelles sélectionnées), devra être évaluée.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Aliakbari A., Déru V., Carillier-Jacquien C., Zemb O., Bouquet A., Gilbert H., 2022. Utilisation de l'information du microbiote intestinal pour expliquer et prédire la variabilité de l'efficacité alimentaire. Journées Rech. Porcine, 54, 19-24.
- Mulder H.A., Bijma P., 2005. Effects of Genotype x Environment Interaction on Genetic Gain in Breeding Programs, J. Anim. Sci., 83, 49-61.
- Täubert H., F Reinhardt F., Simianer H., 2010. A New Software to Evaluate and Optimize Animal Breeding Programs, WCGALP Leipzig.
- Tusell L., Gilbert H., Riquet J., Mercat M.J., Legarra A., Larzul C., 2016. Pedigree and Genomic Evaluation of Pigs Using a Terminal-Cross Model. Gen. Sel. Evol., 48, 32.
- Wientjes Y.C.J., Calus M.P.L., 2017. BOARD INVITED REVIEW: The Purebred-Crossbred Correlation in Pigs: A Review of Theory, Estimates, and Implications. J. Anim. Sci., 95, 3467-3478.

# Suivi génomique des origines raciales lors de la création d'une lignée synthétique porcine

Audrey GANTEIL (1,2), Bertrand SERVIN (1), Vincent COUSIN (2), Carolina GARCIA-BACCINO (2),  
Bruno LIGONESCHE (2), Catherine LARZUL (1)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, 31326 Castanet-Tolosan, France

(2) SAS NUCLEUS, 35650 Le Rheu, France

[c.garciabaccino@nucleus-sa.com](mailto:c.garciabaccino@nucleus-sa.com)

## Genomic monitoring of breed origins during creation of a synthetic pig line

When creating a synthetic line, two or more breeds are crossed to produce animals that combine the desired characteristics of the parental populations. In this context, it is relevant to ensure whether the genomic balance among the breeds involved in the initial cross is maintained over several generations. In principle, this balance can be monitored using dense genotypes of individuals from the line. In this study, we report the development and use of monitoring methods in a new synthetic pig line created by three-way crossbreeding between Pietrain x Large White (PLW) sows and Duroc boars. The offspring of this crossbreeding are the first generation of the line (G0). In G1, the proportions of PLW and Duroc were available, allowing the selection of individuals balanced between the two origins. All founders of the line and animals from the first three generations (G0, G1 and G2) were genotyped for ~50K SNPs. To estimate the proportions of Duroc, Large White and Pietrain origins independently, we used a new method that combines genotypes and pedigree data. For each crossbred animal, each of its chromosomal fragments is assigned to one of the three parental breeds. In G2, we obtained the following mean average proportions:  $0.50 \pm 0.07$  from Duroc,  $0.24 \pm 0.05$  from Large White and  $0.25 \pm 0.05$  from Pietrain, which are consistent with the expected proportions. Optimal results are obtained when all ancestors up to purebred founders are genotyped.

## INTRODUCTION

La création d'une nouvelle lignée synthétique implique le croisement de deux ou plusieurs races aux aptitudes généralement complémentaires. Après le croisement fondateur de la lignée, les animaux sont conduits sur deux ou trois générations sans sélection afin de favoriser le mélange des génomes des races fondatrices (Legault *et al.*, 1996). Grâce à l'information génomique, il est désormais possible de caractériser avec précision les compositions génomiques des animaux en termes d'origine raciale. Cette analyse permet de s'assurer que, d'un point de vue génomique, la représentativité des races fondatrices demeure proche des proportions attendues au fil des générations. L'objectif de cette étude est de présenter l'application d'une nouvelle méthode d'assignation des origines raciales chez des animaux croisés dans le cadre du projet de création d'une nouvelle lignée synthétique porcine de l'entreprise de sélection NUCLEUS.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif de création de la lignée

La lignée synthétique de NUCLEUS est issue d'un croisement trois voies comprenant un premier croisement entre des verrats Piétrain et des truies Large White, puis d'un second croisement entre les truies Piétrain x Large White (PLW) et des verrats Duroc. Après ce croisement, la lignée a été fermée. Il a été ensuite convenu de ne pas appliquer de sélection sur les trois premières générations de la lignée : G0, G1 et G2.

Une méthodologie spécifique de maximisation de la diversité, basée sur l'exploitation des données génomiques, a été appliquée en G1 et G2 (Ganteil *et al.*, 2021). En G1, les proportions en Duroc et PLW des animaux ont été calculées grâce à l'utilisation du programme *breed origin to alleles* (BOA) (Vandenplas *et al.*, 2016). Ces informations ont été prises en compte pour le choix des reproducteurs afin de ne garder que des animaux aux proportions proches de celles attendues : 0,50 en Duroc et 0,50 en PLW.

### 1.2. Données disponibles

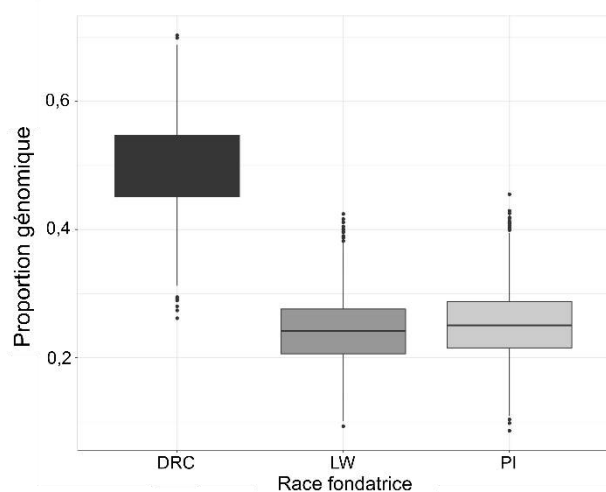
Les animaux fondateurs Duroc, Large White, Piétrain et PLW, les reproducteurs retenus en G0, ainsi que les animaux issus des deux générations suivantes, G1 et G2, ont été génotypés. Les génotypages ont été réalisés avec la puce porcine Illumina SNP60. La généalogie entre les animaux de la lignée et leurs fondateurs était également connue. Dans cette étude, nous nous sommes focalisés sur les animaux G2. Nous disposons ainsi de 2 986 animaux G2 génotypés pour lesquels nous souhaitons estimer la composition génomique raciale.

### 1.3. Détermination des origines raciales

La méthode que nous avons utilisée pour estimer les proportions des origines raciales chez les animaux de la lignée exploite à la fois les données génomiques et les données généalogiques. La première étape de cette méthode consiste à phaser le génome d'un animal afin d'identifier, pour chaque paire de chromosomes, le chromosome maternel et paternel. Ensuite, le programme identifie pour chaque animal d'intérêt,

l'origine ancestrale de chaque fragment chromosomique. A l'échelle du génome entier, il est possible ensuite d'estimer une proportion génomique en Duroc, Large White et Piétrain.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION



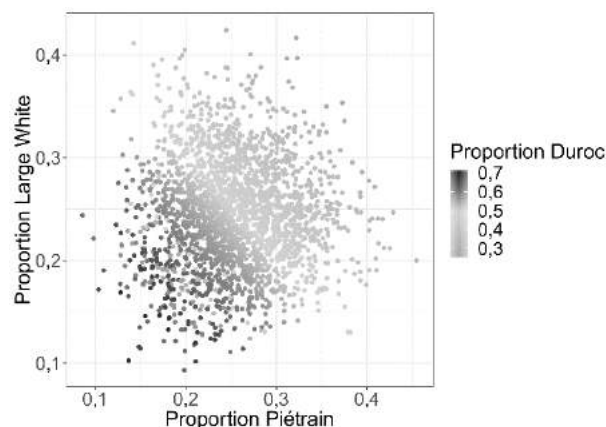
**Figure 1** – Composition génomique raciale de la population G2.

DRC : Duroc, LW : Large White, PI : Piétrain

L'assignation raciale totale moyenne des G2 obtenue avec cette nouvelle méthode pour les trois origines fondatrices de la lignée est de  $0,93 \pm 0,09$ . Avec l'utilisation de la méthode BOA pour l'assignation des origines Duroc et PLW, nous avons obtenu une assignation totale moyenne pour la population G1 de  $0,85 \pm 0,027$  (Ganteil *et al.*, 2021). La nouvelle méthode présente un meilleur pourcentage d'assignation raciale total que la méthode BOA, mais, dans les deux cas, l'absence d'assignation raciale n'est pas liée au même phénomène. Avec la méthode BOA, l'absence d'assignation est due à la similitude de certains fragments chromosomiques entre deux races ; il est alors impossible d'assigner le fragment à l'une des deux origines. Contrairement à la nouvelle méthode d'assignation, BOA ne tient pas compte du pedigree pour attribuer les fragments chromosomiques aux ancêtres de races pures. Or, avec la nouvelle méthode d'assignation, c'est la combinaison des données génomiques avec les données pedigree qui permet d'assigner l'ensemble du génome d'un animal par rapport aux trois races fondatrices de la lignée, dans le cas où, l'ensemble de ses ascendants jusqu'aux fondateurs est génotypé. Bien que notre jeu de données soit globalement complet en termes de génotypes pour les ascendants des animaux G2, l'absence de génotypes dans certaines familles ne nous permettait pas d'obtenir systématiquement des assignations raciales complètes du génome. Pour les animaux G2 concernés, il est alors impossible de relier l'ensemble de leurs fragments chromosomiques à leurs ancêtres de races pures.

De manière arbitraire, nous avons considéré qu'un animal était correctement assigné lorsque la proportion de génome avec une origine raciale connue était supérieure à 0,90.

Ainsi, le pourcentage d'animaux G2 correctement assignés était de 77%. En G2, les proportions génomiques raciales attendues sont de 0,5 en Duroc, 0,25 en Large White et 0,25 en Piétrain. Nous avons obtenu les proportions raciales suivantes :  $0,50 \pm 0,07$  en Duroc,  $0,24 \pm 0,05$  en Large White et  $0,25 \pm 0,05$  en Piétrain (Figure 1). Ces proportions sont donc proches de celles attendues. Ce résultat est satisfaisant et montre qu'il n'y a pas eu de dérive vers l'une des trois races fondatrices.



**Figure 2** – Répartition de la population G2 selon les trois origines raciales. Chaque point représente les proportions génomiques raciales d'un animal.

Ces informations de composition génomique raciale peuvent être visualisées aussi à l'échelle individuelle (Figure 2). Les animaux aux proportions raciales attendues se situent au centre du nuage de points. Ce graphique nous permet de visualiser la diversité de profils en termes d'origine raciale existant en G2. Ils résultent des ségrégations chromosomiques et des recombinaisons qui ont eu lieu lors des méioses précédentes.

## CONCLUSION

Cette méthode d'assignation des origines raciales nous permet d'avoir des résultats précis grâce à l'exploitation à la fois des données génomiques et des données généalogiques. Par rapport à la précédente méthode d'assignation utilisée dans ce projet, il est désormais possible d'obtenir les proportions génomiques des trois races fondatrices pour les animaux de la lignée. Lorsque que la couverture en génotypes est complète pour une même famille, des animaux d'intérêt jusqu'aux fondateurs de la lignée, cette méthode permet d'obtenir l'assignation totale du génome.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Aurélie Le Dréau et Emilie Normand du service R&D de NUCLEUS pour la gestion des biopsies nécessaires à ce projet. Merci également à Laurent Guéry du service technique de NUCLEUS et aux éleveurs impliqués dans ce projet.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ganteil A., Rodriguez-Ramilo S.T., Lignesche B., Larzul C., 2021. Maximisation de la diversité génétique au cours de la création d'une lignée synthétique porcine. Journées Rech. Porcine, 53, 7-12.
- Legault C., Ménissier F., Mérat P., Ricordeau G., Rouvier R., 1996. Les lignées originales de l'INRA: Historique, développement et impact sur les productions animales. INRA Prod. Anim., Hors série, 41-56.
- Vandenplas J., Calus M.P.L., Sevillano C.A., Windig J.J., Bastiaansen J.W.M., 2016. Assigning breed origin to alleles in crossbred animals. Genet. Sel. Evol., 48, 61.



# ÉCONOMIE ET SOCIOLOGIE



# Temps de travail dans les élevages de porcins bretons conventionnels et biologiques : évolution et facteurs de variation

Caroline DEPOUDENT (1), Catherine CALVAR (2), Jeanne LE MEVEL (1), Jean-Yves LELIEVRE (3), Claire WALBECQUE (4)

(1) Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne, 24 route de Cuzon, CS 26032, 29 322 Quimper Cedex, France

(2) Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne, avenue Borgnis Desbordes, BP 398, 56 009 Vannes Cedex, France

(3) Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne, Cap Cideral, rue Pierre Simon Laplace, 22 600 Loudéac, France

(4) Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne, rond-point Maurice Le Lannou, CS 74 223, 35 042 Rennes Cedex, France

caroline.depoudent@bretagne.chambagri.fr

## Temps de travail dans les élevages de porcins bretons conventionnels et biologiques : évolution et facteurs de variation

Cet article présente les dernières références de temps de travail dans les élevages de porcs bretons conventionnels et biologiques, avec respectivement 19 et 14 élevages enquêtés. Les temps de travaux ont été évalués en recueillant les semainiers d'activités. Un temps de travail global sur l'atelier porcin a ainsi été calculé, puis rapporté par truie présente et par an. Une description détaillée des bâtiments, équipements et pratiques d'élevage a également été recueillie. En élevage conventionnel, le temps de travail moyen obtenu est de 19h37 par truie et par an ( $\pm 5h33$ ). L'écart entre le tiers des élevages les plus efficaces et le tiers des élevages les moins efficaces sur le temps total s'élève à 11h32/truie/an. Il provient notamment des écarts sur les tâches quotidiennes (7h09) et les mises bas (1h45). En élevage biologique, indépendamment du mode d'élevage et du taux d'engraissement, le temps de travail moyen est de 43h35/truie/an ( $\pm 23h20$ ). Un effet très net de la taille d'élevage est observé, avec 61h22/truie/an ( $\pm 19h38$ ) pour les élevages de moins de 40 truies et 25h49/truie/an ( $\pm 7h32$ ) pour ceux de plus de 40 truies. Le temps de travail moyen est près de deux fois plus important dans les élevages avec naissance en plein air que dans ceux avec naissance en bâtiment (62h32  $\pm$  27h39 vs 33h03/truie/an  $\pm$  12h23). Si le temps de travail moyen a peu évolué sur la dernière décennie en productions conventionnelle et biologique, une diversité très importante entre élevages persiste. Ces écarts soulignent les leviers potentiels d'amélioration du temps de travail, soit par une meilleure organisation, soit par des aménagements ou investissements.

## Working time on conventional and organic pig farms in Brittany: evolution and factors of variation

This article presents the latest references for working time on conventional and organic pig farms in Brittany, with 19 and 14 farms surveyed, respectively. Working time was evaluated by collecting weekly activity records. Total working time on the pig farm was thus calculated and then expressed per present sow and per year. Detailed descriptions of housing, equipment and husbandry practices were also collected. The mean working time on conventional farms was 19:37/sow/year ( $\pm 5:33$ ). The difference in total working time between the "most efficient" and "least efficient" third of conventional farms was 11:32/sow/year, due mainly to differences in the time spent on daily tasks (7:09) and farrowing (1:45). On organic farms, regardless of the type of housing or fattening rate, mean working time was 43:35/sow/year ( $\pm 23:20$ ). A clear effect of farm size was observed, with 61:22/sow/year ( $\pm 19:38$ ) on farms with less than 40 sows and 25:49/sow/year ( $\pm 7:32$ ) on farms with more than 40 sows. Mean working time was nearly twice as long on farms with outdoor farrowing than on farms with indoor farrowing (62:32  $\pm$  27:39 vs 33:03  $\pm$  12:23/sow/year, respectively). Although mean working time has changed little over the last decade on both conventional and organic farming, it still varied greatly among farms. These differences highlight potential ways to decrease working time, either through better organisation or through investments.

## INTRODUCTION

Le secteur agricole, et notamment celui de l'élevage, a depuis longtemps la réputation de demander beaucoup de travail, et de laisser peu de temps libre aux personnes qui y travaillent (Gelin, 2021). La part du travail dans le coût de revient (8% en 2018 ; Hoste, 2020) et l'importance du travail salarié dans les exploitations porcines nécessitent de maîtriser ce facteur. En effet, optimiser le temps de travail est un enjeu de rentabilité pour les exploitations porcines. Afin d'accompagner les éleveurs dans la maîtrise de ce temps, des références sont régulièrement publiées depuis les années 90. Cet article présente les dernières références produites en 2020 en Bretagne pour des élevages conventionnels et des élevages biologiques.

**Tableau 1** – Récapitulatif des études de temps de travail réalisées sur les élevages porcins français entre 1992 et 2019

Année de publication	Auteurs	Elevages enquêtés			Méthode	Temps de travail (h/truie présente/an)		
		Type C : conventionnel B : bio	Nombre d'élevages	Taille moyenne, (truies)		Moyenne des élevages	¼ ou 1/3 inférieur	¾ ou 1/3 supérieur
1994	Le Borgne et al.	C	64	133	Déclaratif / tâche	27 h24	18 h24	37 h12
2002	Le Borgne et Quentric	C	52	216	Déclaratif / tâche	20 h17	15 h36	26 h00
2003	Le Moan et al.	C	67	204	Déclaratif / tâche	21 h46	16 h04	28 h32
2004	Le Borgne et al.	C	14	196	Suivi réseau	22 h06		
2005	Bartolomeu	C	20	204	Déclaratif / tâche	22 h44	16 h03	30 h05
2006	Calvar et Maupertuis	B	15	41	Déclaratif / tâche	42 h00		
2009	Le Moan et al.	C	36	315	Déclaratif / tâche	19 h52		
2010	Grannec	C	23	160	Bilan travail	21 h12		
2010	Renaud	C	149	198	Déclaratif / tâche (postal)	20 h43	14 h42	27 h51
2015	Tricard et al.	C	47	285	Semainiers	18 h12	14 h05	23 h23
2019	InterPIG <sup>1</sup>	C	182	226	Valorisation données GT	16 h12		

<sup>1</sup>Cité par Depouzent et al., 2021.

Sur les 35 dernières années, on observe une diminution globale du temps de travail par truie et par an, avec une réduction de 41% entre l'étude de Le Borgne *et al.* (1994) et les résultats d'InterPIG (2019). Dans toutes les études, les auteurs constatent une très grande variabilité du temps de travail entre élevages. Ainsi, les écarts entre le tiers supérieur et le tiers inférieur sont très marqués (de +66% à +102%) et certains auteurs, comme Tricard (2015), signalent des écarts allant du simple au triple entre les temps de travail minimum et maximum de leur échantillon.

Les facteurs de variation identifiés dans les différentes études sont :

- la taille d'élevage (Le Borgne *et al.*, 2004 ; Bartolomeu, 2005 ; Grannec, 2010 ; Renaud, 2010 ; Tricard, 2014) : elle permet de réaliser des économies d'échelle. En outre, plus l'élevage est grand, plus la proportion de main-d'œuvre salariée est importante. Les contraintes de maîtrise des coûts liés au travail sont donc accrues ;
- le niveau d'automatisation de la distribution d'aliment (Le Borgne *et al.*, 2004 ; Bartolomeu, 2005 ; Renaud, 2010 ; Tricard, 2014) ;
- la spécialisation de la main-d'œuvre sur l'atelier porc voire par stade physiologique (Le Borgne *et al.*, 2004 ; Renaud, 2010) ;
- les types de sol : la présence de litière est associée à un temps de travail accru, tout comme l'élevage en plein air ;
- les aspects humains, comme le profil de l'éleveur (Renaud, 2010 ; Tricard, 2014). Les éleveurs ayant un profil de type entrepreneur présentent en moyenne un temps de travail par truie et par an plus faible.

## 1. BIBLIOGRAPHIE

En 2020, 6 330 personnes (Agreste, 2021) travaillent dans les 5 276 sites d'élevages porcins bretons (Chambres d'agriculture de Bretagne, 2021). Ce sont pour moitié (49%) des exploitants, et pour moitié des salariés, majoritairement permanents.

En élevage porcine, la production de références sur le temps de travail remonte aux années 90. Entre 1992 et 2015, dix études consacrées à ce sujet ont ainsi été publiées (Tableau 1). Le réseau InterPIG produit également des références permettant des comparaisons internationales (Roguet *et al.*, 2011).

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Recueil des données

Les données de temps de travail ont été recueillies par enquête, lors d'une rencontre avec l'exploitant en charge de l'atelier porcine. Une première partie consistait à recueillir des données descriptives sur les caractéristiques de l'élevage :

- composition de l'équipe, répartition des tâches entre les personnes ;
- systèmes de production (bâtiment ou plein air), et niveau d'équipement des différents postes de travail ;
- pratiques sur les différentes activités (ex : nombre de vaccinations, de soins aux porcelets).

Dans un second temps, des semainiers récapitulants de manière chronologique les activités étaient complétés. Pour chaque personne étaient ainsi détaillées, par quart d'heure, l'ensemble de ses activités sur la période séparant deux bandes (par exemple trois semaines en conduite en sept bandes en conventionnel). Cette méthode, adaptée du Bilan Travail, est identique à celle utilisée par Tricard *et al.* (2015).

### 2.2. Analyse des données

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons au temps de travail consacré à l'élevage de porcs « stricto sensu », c'est-à-dire le temps consacré à toutes les tâches nécessaires à l'élevage des animaux, hors fabrication des aliments à la ferme, gestion du traitement des déjections ou vente directe. En effet, ces trois activités ne sont pas présentes sur tous les élevages et, lorsqu'elles le sont, nécessitent des temps de travaux très



variables selon le type d'installation. Des références sur ces tâches peuvent être trouvées dans des études spécialisées, comme celle de Calvar et Roy (2007).

Les données de temps de travail collectées ont été sommées pour obtenir le temps de travail global sur l'atelier porcin, puis rapportées à la truie présente et à l'année. Le temps de travail a été calculé sur 52 semaines sans prendre en compte la gestion des congés pris par les éleveurs et leurs salariés (remplacement, augmentation temporaire du temps de travail, etc.). En production conventionnelle, les groupes « tiers le plus efficace » et « tiers le moins efficace » sont construits sur le temps de travail total par truie.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. En élevage porcin conventionnel

##### 3.1.1. Caractéristiques de l'échantillon

Cent quinze élevages porcins bretons conventionnels ont été sollicités pour participer à l'enquête. Parmi eux, 19 ont accepté. Ces 19 élevages sont tous naisseurs-engraisseurs, avec un taux d'engraissement moyen de 97%. Leur nombre de truies est compris entre 100 et 700 truies, avec une moyenne à 254 truies. Cet effectif est un peu plus faible que la moyenne des élevages

bretons suivis en GTTT en 2016, à savoir 299 truies (Chambres d'agriculture de Bretagne, 2017). Les conduites en 4, 5, 7 et 10 bandes sont présentes au sein de l'échantillon. La SAU des élevages est comprise entre 59 et 300 ha, avec une moyenne à 137 ha. Douze élevages comportent un deuxième atelier de productions animales (bovins, ovins ou volailles). Treize élevages sont multisites, avec une distance moyenne de 4,2 km entre sites. Onze élevages sont uniquement sur caillebotis. Parmi les huit élevages utilisant de la paille, trois l'utilisent en gestante, et sept en quarantaine.

##### 3.1.2. Temps de travail

Le temps de travail moyen obtenu est de 19h37 par truie et par an, avec un écart-type de 5h33. Comme dans les enquêtes précédentes, les écarts entre élevages sont importants, avec un minimum à 11h59/truie/an et un maximum à 35h17 (Tableau 2). Le naissage représente 49% du temps, le post-sevrage et l'engraissement 34% et les autres tâches 17%. Cette répartition est identique, à 1 point près, à celle obtenue en 2015 par Tricard *et al.*. Les activités quotidiennes représentent 43% du temps de travail total, ce qui est très proche des 45% et 46% obtenus respectivement par Tricard *et al.* (2015) et Renaud (2010). Elles sont composées de l'alimentation (la plus grosse part du temps), de la surveillance (hors mises bas), du nettoyage des cases (verraterie, maternité) et des soins.

**Tableau 2** – Temps de travail moyen et comparaison avec le tiers le plus efficace et le tiers le moins efficace sur le temps de travail

	Population totale (n=19)	Tiers le plus efficace <sup>1</sup> (n=6)	Tiers le moins efficace <sup>1</sup> (n=6)
<b>Total temps de travail, dont :</b>	<b>19 h37 (5 h33)</b>	<b>14 h08 (2 h03)</b>	<b>25 h40 (5 h48)</b>
<b>Total naissage, dont :</b>	<b>9 h35 (3 h12)</b>	<b>6 h40 (1 h45)</b>	<b>13 h19 (2 h24)</b>
Activités quotidiennes	4 h40 (2 h20)	2 h42 (1 h06)	6 h42 (3 h06)
Mises bas	2 h40 (1 h17)	2 h01 (0 h43)	3 h46 (1 h48)
Reproduction	0 h49 (0 h19)	0 h51 (0 h23)	1 h00 (0 h16)
Lavage	0 h40 (0 h12)	0 h33 (0 h04)	0 h51 (0 h12)
Déplacements d'animaux	0 h28 (0 h13)	0 h23 (0 h17)	0 h32 (0 h13)
Vaccination	0 h16 (0 h11)	0 h09 (0 h03)	0 h28 (0 h10)
<b>Total PS-engraissement, dont :</b>	<b>6 h37 (2 h16)</b>	<b>4 h43 (1 h52)</b>	<b>8 h49 (2 h09)</b>
Activités quotidiennes	3 h50 (2 h01)	2 h25 (1 h22)	5 h34 (2 h32)
Déplacements d'animaux	0 h52 (0 h25)	0 h45 (0 h33)	1 h01 (0 h28)
Lavage	1 h13 (0 h31)	0 h55 (0 h14)	1 h29 (0 h10)
Vaccinations	0 h12 (0 h07)	0 h13 (0 h07)	0 h13 (0 h07)
Identification	0 h08 (0 h09)	0 h13 (0 h08)	0 h07 (0 h07)
<b>Total autres tâches</b>	<b>3 h25 (1 h25)</b>	<b>2 h44 (1 h29)</b>	<b>3 h33 (1 h26)</b>

temps moyen (écart-type)

<sup>1</sup> Elevages triés sur le total temps de travail total

##### 3.1.3. Facteurs de variation

Le nombre limité d'élevages enquêtés ne permet pas d'analyse statistique des facteurs de variation. Seules des tendances peuvent être identifiées. L'écart entre les deux tiers extrêmes sur le temps de travail total est de 11h32/truie/an (Tableau 2). Il provient notamment des écarts sur les tâches quotidiennes (7h09) et les mises bas (1h45).

Le tiers le plus efficace a une taille moyenne de 344 truies présentes ( $\pm 194$ ). Le tiers le moins efficace a une moyenne de 235 truies ( $\pm 86$ ). En termes de taille, le tiers inférieur est le plus hétérogène, avec à la fois les élevages les plus grands de l'échantillon (plus de 400 truies) et un élevage d'une centaine de truies. L'homogénéité de l'échantillon en termes d'automatisation et de présence d'un atelier d'au moins 40 ha de cultures ne permet pas de tester l'influence de ces facteurs. En revanche, les modalités d'organisation du travail, et notamment la proportion de travail réalisée à plusieurs, ont sans doute une influence sur le temps de travail par truie et

par an. Ainsi, le tiers le moins efficace compte deux élevages où la proportion de travail réalisé en binôme est supérieure à 90% du temps pour au moins deux actifs, et un élevage où elle est supérieure à 20% pour l'ensemble des actifs.

#### 3.2. En élevage porcin biologique

##### 3.2.1. Caractéristiques de l'échantillon

Quatorze élevages avec truies ont été enquêtés, dont neuf avec un naissage en bâtiment et cinq avec un naissage en plein air (Tableau 3). Le nombre de truies varie de 18 à 120 (56 truies en moyenne). Les élevages enquêtés illustrent la diversité des élevages bretons biologiques, avec toutefois un effectif de truies moyen supérieur à celui des élevages biologiques français (25 truies selon Agence Bio, 2020). La moitié des éleveurs sont naisseurs-engraisseurs partiels : ils engraisent en moyenne 77% de leurs porcelets. Une autre production animale existe aussi dans cinq élevages.

**Tableau 3 – Caractéristiques des élevages biologiques enquêtés**

	Elevage avec Naissance Bâtiment (N BAT)	Elevage avec Naissance Plein air (N PA)	Total échantillon
Nombre élevages	9	5	14
Nombre truies présentes (min-max)	66,6 (30-120)	37,4 (18-70)	56 (18-120)
Nombre porcs vendus/an (min-max)	945 (300-2500)	334 (120-600)	727 (0-2500)
Taux d'engraissement,% (min-max)	89 (55-100)	62 (15-100)	77 (0-100)
SAU totale, ha (min-max)	63 (33-100)	59 (18-88)	62 (18-100)
SAU bio dédiée aux porcs, ha (min-max)	41 (0-70)	40 (15-65)	41 (0-70)

Lors du remplissage des semainiers, les temps de travaux enregistrés par les travailleurs ont souvent été globalisés par tâche, notamment l'alimentation et le paillage. Il n'a donc pas été possible de différencier ces tâches quotidiennes en fonction de l'atelier de naissance et de celui de sevrage-vente, ni d'analyser les résultats pour des éleveurs naisseurs-engraisseurs à 100%, comme cela est fait pour l'analyse du temps de travail en élevage conventionnel (Tricard *et al.*, 2015).

L'enquête a été réalisée sur des élevages qui sont en cours de mise en conformité des bâtiments pour respecter les nouvelles orientations de la réglementation (aire extérieure partiellement découverte). Au moment de l'enquête, l'accès à l'extérieur est absent dans quelques élevages pour certains bâtiments, en particulier en maternité (89% élevages enquêtés) et en post-sevrage (70% des élevages). Les bâtiments de post-sevrage et d'engraissement sont tous sur litière accumulée. Quelques élevages sont sur litière raclée en verraterie-gestante et en maternité.

Les cinq élevages avec mise bas en plein air ont des phases de conduite des truies en bâtiment, en verraterie et parfois en gestation. Le post-sevrage est aussi réalisé en plein air dans deux élevages. L'engraissement des porcs est toujours réalisé en bâtiment.

L'alimentation est majoritairement manuelle en verraterie-gestante et en maternité quel que soit le système de production. Elle est davantage mécanisée en post-sevrage et en engraissement, mais ce n'est pas une généralité. L'abreuvement est lui fréquemment automatisé pour tous les stades. Le paillage est souvent manuel. Dans la majorité des élevages en bâtiment, le curage est effectué systématiquement à la fin de chaque bande pour tous les stades sauf en verraterie-gestante où il est réalisé en milieu de bande. Le lavage n'est pas systématique et la désinfection des salles est peu pratiquée. En plein air, les cabanes de verraterie-gestante et de maternité sont curées à chaque bande. Elles ne sont ni lavées ni déplacées en hiver. Selon les élevages, les déplacements de cabanes sont variables le reste de l'année : à chaque bande, toutes les deux bandes ou de temps en temps.

Peu de données technico-économiques ont été recueillies dans les élevages de porcs biologiques enquêtés, ce qui ne permet pas d'étudier le lien entre performances et temps de travail.

### 3.2.1. Temps de travail

Indépendamment du mode d'élevage et du taux d'engraissement, le temps de travail - tous élevages avec naissance confondus - est en moyenne de 43h35 par truie présente et par an ( $\pm 23h20$ ). Un effet très net de la taille d'élevage est observé, avec 61h22/truie/an en moyenne ( $\pm 19h38$ ) pour les sept élevages de moins de 40 truies et de 25h49/truie/an ( $\pm 7h32$ ) pour les sept élevages de plus de 40 truies (Tableau 4).

Le temps de travail total lié à l'alimentation est plus élevé pour les élevages de moins de 40 truies (56% du temps) que pour ceux de plus de 40 truies (49% du temps). Ceci s'explique par une automatisation de l'alimentation. A l'inverse, le temps dédié au paillage et au curage est plus élevé pour les élevages de plus de 40 truies (24% du temps vs 14% pour les moins de 40 truies). Ces deux tâches sont loin d'être entièrement mécanisées, même dans les élevages de taille importante.

**Tableau 4 – Temps de travail en fonction de la taille d'élevage**

	Nombre d'élevages	Nombre de truies	Temps de travail, h/truie présente/an
≤ 40 truies	7	31	61h22
> 40 truies	7	81	25h49
Total	<b>14</b>	<b>56</b>	<b>43h35</b>

### Elevages avec naissance en plein air (N PA)

Le temps de travail sur les cinq élevages avec naissance en plein air est de 62h32 par truie présente et par an ( $\pm 27h39$ ). Certains éleveurs travaillent en couple sur certaines tâches (castration, sevrage) pour réduire la pénibilité.

Dans ces élevages, l'alimentation (54%) constitue la tâche principale des éleveurs et les opérations de paillage et de nettoyage (16%) constituent le deuxième poste (Figure 1). Le suivi des activités spécifiques au naissance, mise à la reproduction et mises bas représente 8% du temps, tout comme les transferts et tris d'animaux. Les éleveurs enquêtés soulignent qu'ils interviennent peu ou pas au moment des mises bas. Le temps de travail lié au naissance en plein air (surveillance des clôtures, fauche de l'herbe sous les fils, déplacement des cabanes et changement de parcs pour les truies) constitue seulement 2% du temps de travail hebdomadaire. Ce sont des tâches occasionnelles qui peuvent être ponctuellement gourmandes en temps de travail et contraignantes.

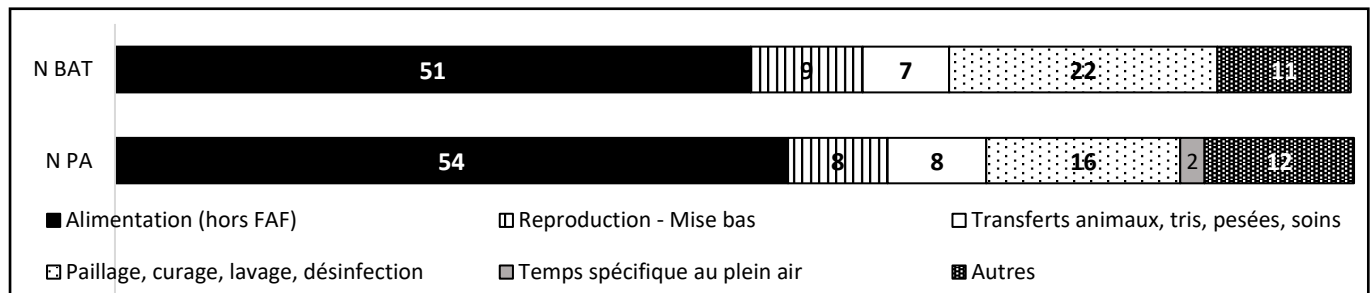
### Elevages avec naissance en bâtiment (N BAT)

Le temps de travail des neuf élevages avec naissance en bâtiment est en moyenne de 33h03 par truie présente et par an ( $\pm 12h23$ ). Constitué de deux sites éloignés, un élevage affiche un temps de travail très élevé ramené à la truie présente (62h05/truie/an) au regard des autres élevages. Le temps de travail prend en effet en compte le temps de transfert d'animaux mais aussi de transfert d'aliment entre les deux sites. En excluant cet élevage de l'échantillon, le temps moyen ramené à la truie présente est de 29h25/truie/an ( $\pm 6h16$ ). Les élevages avec des tailles de cheptel élevées sont plus efficaces opérationnellement, car

souvent davantage mécanisés. Les trois élevages de plus de 90 truies ont un temps de travail de moins 27 h par truie présente et par an.

Dans ces élevages en bâtiment, l'alimentation (51%) constitue la tâche principale des éleveurs et les opérations de paillage et de

nettoyage (22%) sont le deuxième poste (Figure 1). Le suivi des activités spécifiques au naissage (mise à la reproduction et mises bas) viennent en troisième place, devant le transfert des animaux. Le temps de paillage et nettoyage des bâtiments est toutefois plus élevé qu'en plein air en lien avec le mode de logement.



**Figure 1 - Répartition des tâches en élevage N Bât et N PA (% temps)**

NB : Le poste « autres » regroupe les fonctions générales : entretien, réparation, gestion, commercialisation (hors vente directe), gestion des déjections.

## 4. DISCUSSION

### 4.1. La méthode des semainiers : une méthode fiable mais fastidieuse

La méthode des semainiers, employée dans nos enquêtes, présente de nombreux avantages : en s'appuyant sur le déroulement des journées, elle oblige les enquêtés à identifier toutes les activités réalisées de leur arrivée à leur départ, sans risque d'oubli ou de surestimation de certains temps. Elle permet donc d'acquérir des données de bonne qualité, qui peuvent si besoin être couplées avec les données d'autres ateliers pour réaliser un Bilan Travail sur l'exploitation. Néanmoins, cette méthode est chronophage, et peut rebuter les éleveurs ayant des exploitations avec un personnel nombreux. Il pourrait donc être intéressant, pour de prochaines enquêtes, de faire précéder l'entretien avec l'éleveur par un recueil automatisé par géolocalisation. Cette dernière méthode nécessite toutefois l'accord de l'ensemble du personnel de l'exploitation, et des moyens financiers supérieurs.

### 4.2. Une forte hétérogénéité des temps de travaux

Comme dans les études précédentes, nous observons une diversité très importante des temps de travaux. Si le tiers inférieur des élevages n'a besoin en conventionnel que de 16 h/truie/an ou moins depuis le début des années 2000, le tiers le plus élevé a toujours besoin de plus de 23 h pour réaliser les mêmes tâches. De même, en production biologique, le temps moyen des élevages de moins de 40 truies représente plus du double de celui des élevages de plus de 40 truies.

Les références étant utilisées notamment pour calibrer les volumes de travail lors d'agrandissements ou d'installations, il semble essentiel de ne pas communiquer sur une référence moyenne, mais plutôt sur différentes références adaptées à différentes situations :

- environ 14 h/truie/an pour un élevage conventionnel cohérent, bien équipé, bien organisé, et sur un seul site ;
- environ 19 h/truie/an pour un élevage conventionnel « moyen » ;
- environ 25 h/truie/an pour un élevage biologique de grande taille (> 40 truies) ou conventionnel cumulant plusieurs des facteurs suivants : moins de 200 truies, multisite, bâtiments

- peu cohérents, alimentation partiellement manuelle (hors quarantaine), part importante de travail en binôme ;
- environ 60 h/truie/an pour un élevage biologique de petite taille ( $\leq 40$  truies) avec naissage plein air.

### 4.3. Comparaison entre conventionnel et biologique

Le taux d'engraissement moyen de l'échantillon des élevages biologiques est plus faible que celui des élevages conventionnels (77 vs 97%) et inclut de très faibles valeurs (15% par exemple dans un élevage). La comparaison des valeurs de temps de travail entre les deux systèmes ne se fait donc pas à configuration d'élevage égale.

Néanmoins, le temps de travail en élevage de porcs naisseur-engraisseur biologique reste très élevé en comparaison de l'élevage conventionnel, avec 43h35 vs 19h37/truie présente/an. Toutefois, ce n'est pas la production biologique ou son cahier des charges en tant que tel qui engendre ce temps de travail supplémentaire mais bien la structuration de l'élevage (ateliers de plus petite taille, plein air) et des bâtiments paillés ainsi qu'un recours important au travail manuel. Pour les élevages de plus grande taille, pour la plupart issus d'une conversion du conventionnel vers le bio, le temps de travail se rapproche de celui d'un élevage analogue en conventionnel ou sous label avec des bâtiments litière. Dans, l'enquête, les trois élevages biologiques en bâtiment de plus de 90 truies ont ainsi un temps de travail de moins 27 heures par truie présente et par an.

Le temps de travail en élevage porcine biologique présente une variabilité particulièrement élevée du fait de la diversité des systèmes rencontrés. La tendance actuelle de développement de la production s'accompagne d'une évolution des structures avec davantage d'installations en bâtiment et un agrandissement des ateliers. Ceci facilite la mécanisation, voire l'automatisation. Si l'automatisation permet d'économiser du temps et d'améliorer les conditions de travail, elle reste toutefois onéreuse et parfois difficile à adapter à la configuration des bâtiments.

### 4.4. La charge de travail, un facteur à ne pas négliger

Les données de temps de travail sont un indicateur important pour aider les éleveurs à trouver des sources de gain de temps, et donc potentiellement de réduction des charges

économiques. Pour que cette maîtrise des charges ne se fasse pas au détriment du confort de travail, voire de la santé des éleveurs, le temps de travail doit être analysé conjointement à des indicateurs de charge de travail comme le temps de travail hebdomadaire moyen des exploitants, les nombres de week-ends et de semaines libres. Les données des semainiers en fournissent une première approche, et montrent que certains éleveurs disposent de peu de temps libre et de peu de marges de manœuvre. Par ailleurs, cette analyse doit également intégrer le temps de travail consacré à la fabrication d'aliment à la ferme, à la gestion des effluents, et aux autres ateliers. Dans ce cadre, un Bilan Travail complet, ou une analyse par enregistrement automatique sur une longue période peuvent être intéressants.

## CONCLUSION

Sur la base des enquêtes réalisées dans 19 élevages porcins conventionnels et 14 élevages porcins biologiques, on constate

que la structuration du temps de travail évolue peu, avec une moitié du temps consacrée aux tâches quotidiennes et une autre aux événements liés à la conduite des animaux. Le temps de travail moyen a peu évolué sur la dernière décennie et les différences entre élevages restent importantes. Il est donc essentiel, lors d'un conseil auprès d'éleveurs, de choisir la référence la mieux adaptée à la configuration de l'élevage. Enfin, pour s'assurer de la vivabilité du travail sur l'exploitation à moyen et long terme, le temps de travail doit aussi être appréhendé dans sa globalité, en intégrant les autres activités sur l'exploitation comme la fabrication d'aliment et les autres ateliers, et en tenant compte du volume de travail hebdomadaire de chaque actif.

## REMERCIEMENTS

Merci aux éleveurs ayant participé à ces enquêtes. Ces enquêtes ont été réalisées avec le soutien du Programme Régional pour le Développement Agricole et Rural Bretagne.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence Bio, 2020. Les chiffres. <https://www.agencebio.org>.
- Agreste, 2021. Bilan annuel de l'emploi agricole (BAEA) - Résultats 2019 et estimations 2020. Chiffres et données, n°6. 208 p.
- Bartolomeu D., 2005. Les temps de travaux en élevage points-clés et facteurs de variation. *Techniporc*, 28, 3-10.
- Calvar C., Maupertuis F., 2006. Temps de travail en élevage porc biologique. *Terragricoles Bretagne*, 19, 20-23.
- Calvar C., Roy H., 2007. Fabrication d'aliment à la ferme – Temps de travail, performances et coût de revient. *Journées Rech. Porcine*, 39, 201-202.
- Chambres d'agriculture de Bretagne, 2017. Analyse des résultats techniques et technico-économiques des élevages Porcs – Bretagne 2016. 6p.
- Chambres d'agriculture de Bretagne, 2021. Agriculture et agroalimentaire de Bretagne en clair – les chiffres. 52p.
- Depoudent C., Hostiou N., Le Clerc L., 2021. Travailler en élevage porc en France : facteurs d'attractivité et contraintes. *Inrae Prod Anim*, 34(2), 109-122.
- Gelin M., 2021. Attentes des jeunes. In : *Susciter des vocations durables en élevage : zoom sur les filières porc et lait*. Space, Rennes, 16/09/2021. 8 p.
- Grannec M.L., 2010. Référentiel travail –synthèse de 23 bilans travail, Institut de l'Élevage/Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, 19 p.
- Hoste R., 2020. International comparison of pig production costs 2018 – Results of InterPIG. 33 p.
- InterPIG, 2019. Résultats des performances et coûts de production 2018. Non publié.
- Le Borgne M., Quentric O., 2002. Temps de travail : une meilleure efficacité. *Atout Porc Bretagne*, 30-32.
- Le Borgne M., Le Bris B., Quillien J.P., 1994. Enquête dans 89 ateliers porcins de Bretagne. *EDE Bretagne*. 30 p.
- Le Borgne M., Le Cozler Y., Le Moan L., Quinio P.Y., 2004. Mise au point de systèmes optimisés en exploitation porcine en Bretagne. *Méthodologie d'approche globale Années 1999 à 2003. Savoir-faire en organisation du travail. Rapport d'étape 2003. Action Porcherie verte AC 11a*. 6-9.
- Le Moan L., Pichodo X., Roy H., Quinio P.Y., Kerguillec Renault E., Le Borgne M., Le Cozler Y., Pellois H., Bartolomeu D., Donet P., Sallard R., 2003. Temps de travail en élevage porc. *Chambres d'agriculture de Bretagne et des Pays de la Loire*, 41 p.
- Le Moan L., Larour G., Pellois H., 2009. Conduites en bandes, partie 3 – organisation du travail et conduites en bandes. *Chambres d'Agriculture de Bretagne*, 78 p.
- Tricard A., Depoudent C., Grannec M.-L., 2015. Evaluation et gestion du temps de travail en élevage porc. *Journées Rech. Porcine*, 47, 215-220.
- Renaud H., 2010. Le temps de travail en élevage porc : facteurs de variation et voies d'amélioration, rapport d'étude IFIP, 88p.
- Roguet C., Renaud H., Dufлот B., 2011. Productivité du travail en élevage porc : comparaison européenne et facteurs de variation. *Journées Rech. Porcine*, 43, 251-252.

# Trajectoires individuelles d'évolution des élevages de porcs en France : mécanismes, déterminants et perspectives de la concentration structurelle

*Christine ROGUET, Bérengère LECUYER, Lisa LE CLERC*

*Ifip-institut du porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu, France*

*christine.roguet@ifip.asso.fr*

## **Trajectoires individuelles d'évolution des élevages de porcs en France : mécanismes, déterminants et perspectives de la concentration structurelle**

Réalisée en 2021 et financée par Inaporc, cette étude décrit comment s'opère la concentration structurelle des élevages à une échelle individuelle et explicite les déterminants d'évolution et leurs effets. Elle s'appuie sur l'analyse dans BDPORC des trajectoires d'évolution des élevages de 2014 à 2020 et des entretiens avec huit techniciens de coopératives et 31 éleveurs dans trois territoires contrastés de France. Entre 2014 et 2020, le nombre de sites sortant plus de 300 porcs est passé linéairement de 10 794 à 9 492 et leur production moyenne de 3 116 à 3 618 porcs. C'est le résultat de la disparition des sites les plus petits et de l'augmentation de la production des sites actifs sur toute la période (71% des sites P « ayant sorti plus de 300 porcs au moins une année sur 2014-2020 », +1,255 M de porcs produits). Dans toutes les régions, le solde en porcs produits entre la cessation (14% des sites P, -1,645 M porcs) et l'entrée en activité (3% des sites P, +0,344 M porcs) est négatif. L'impact sur la production est limité, voire plus que compensé, par l'augmentation de la production des sites restés naisseurs-engraisseurs, liée notamment au fort gain de prolificité, et dans une moindre mesure de celle des sites devenus engraisseurs à la suite de l'arrêt du naissage (8,2% des sites P, +0,179 M porcs). Les évolutions sont déterminées par les goûts des éleveurs, pour le porc, les projets ou le travail à plusieurs, par la recherche d'autonomie de leur exploitation, de valorisation de leurs produits, et de rationalisation du travail. Le manque de porteurs de projets et l'arrêt du naissage pourraient conduire certaines coopératives à investir davantage dans les élevages pour garantir l'approvisionnement en porcelets de leurs adhérents et maintenir leurs volumes de production.

## **Individual trajectories of pig farming in France: mechanisms, determinants and prospects of structural concentration**

Carried out in 2021 and supported by Inaporc, this study described how the structural concentration of farms operates at the individual scale and explains determinants of changes and their effects. It was based on analysis of trajectories of pig farms in BDPORC from 2014-2020 and interviews with 8 technicians of cooperatives and 31 farmers in three contrasting territories of France. From 2014-2020, the number of farms that produced more than 300 pigs decreased linearly from 10,794 to 9,492, and their mean annual production increased from 3,116 to 3,618 pigs. This result is due to the disappearance of smaller farms and the increase in production of farms that remained active throughout the period (71% of P farms "≥ 300 pigs produced in at least one year from 2014-2020, +1.255 M pigs produced). In all regions, the balance of pig production between cessation (14% of P farms, -1.645 M pigs) and entry into activity (3% of P farms, +0.344 M pigs) was negative. The impact on production was limited, or even more than offset, by the increase in production from farms that remained farrow-to-finishing, in particular due to the large gain in prolificity, and to a lesser extent to that of farms that became finishers after ceasing farrowing (8.2% of P farms, +0.179 M pigs). The changes were determined by the breeders preferences' for pig production, projects or collective work, or by the search for farm self-sufficiency, greater value for their products and streamlining of the work. The lack of project leaders and the cessation of farrowing could lead some cooperatives to invest more in farms to guarantee a supply of piglets to their members and maintain their production volumes.

## INTRODUCTION

Après une période de forte croissance dans les années 1980 et 1990, la production porcine en France a commencé à baisser au début des années 2000 sous l'effet d'un durcissement de la réglementation environnementale, d'une perte relative de compétitivité de la filière (Rieu *et al.*, 2014) et d'une dégradation de la rentabilité (Roguet, 2020). Entre 2000 et 2020, le nombre de porcs charcutiers produits en France est passé de près de 27 à 24 millions (M) de têtes (-10,0%). Du fait de l'alourdissement des carcasses, la production en tonnes n'a baissé que de 1,2%. Dans le même temps, et dans tous les pays, la production porcine se concentre dans des élevages toujours moins nombreux et plus grands (Rieu et Roguet, 2012 ; Perrot *et al.*, 2015 ; Roguet *et al.*, 2015, 2017).

Réalisée en 2021 et financée par Inaporc, la présente étude a pour objectifs de décrire et comprendre comment s'opère cette concentration à une échelle individuelle et d'explicitier les déterminants d'évolution des élevages et leurs effets.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Base de données BDPORC

Dans le cadre de l'obligation de traçabilité des animaux de rente, les Bases de Données Nationales d'Identification recensent en continu des données exhaustives sur les sites d'élevage et leurs mouvements d'animaux. La gestion de la base sur les porcins a été confiée en 2009 à l'association BDPORC. Les flux de porcins sont rattachés à un détenteur, une exploitation et un site d'élevage (Figure 1). Un détenteur (personne physique ou morale) peut détenir une ou plusieurs exploitations, composées d'un ou plusieurs sites d'élevage. Tout détenteur doit déclarer les mouvements de porcins en provenance ou à

destination de son ou ses sites. Les porcins sont de cinq types : porcelets (PO) de 8 kg (08) ou 25 kg (25), porcs charcutiers (CH), réformes (RF) et reproducteurs (RP) mâles et femelles. Les mouvements d'animaux sur un lieu sont de deux types : chargement (C) pour les départs ou déchargement (D) pour les arrivées.

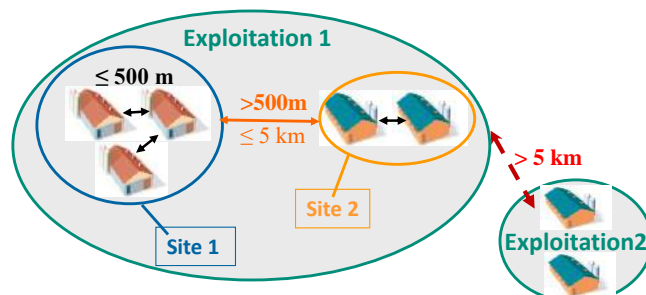


Figure 1 – Définition des termes site et exploitation

### 1.2. Traitements des données de BDPORC

Les données de BDPORC (localisation et mouvements) ont été analysées avec le logiciel R (R Core Team, 2018), packages Tidyverse et TraMineR.

#### 1.2.1. Champ de l'analyse

Les DOM-TOM et la Corse réalisent moins de 0,5% de la production française de porcs charcutiers, de même que les sites chargeant (sortant) moins de 300 porcelets ou porcs charcutiers (POCH) par an dans l'hexagone (Tableau 1). Environ 70% de ces « petits » sites présentent des anomalies de notification rendant impossible leur caractérisation.

Ainsi, l'étude porte sur les sites situés dans l'hexagone et sortant 300 POCH et plus pour l'analyse par année, ou sortant 300 POCH et plus au moins une année sur la période 2014-2020 pour l'analyse des trajectoires individuelles.

Tableau 1 - Nombre de sites et de porcs charcutiers produits en France métropolitaine (hors Corse) par an

Année	Nombre de sites (BDPORC) <sup>1</sup>					Nombre de porcs charcutiers produits (BDPORC)					Nombre de porcs charcutiers produits (SSP) <sup>2</sup>
	Total 1	≥ 300 A 2	≥ 300 P 3	2 / 1	3 / 1	Total 4	≥ 300 A 5	≥ 300 P 6	5 / 4	6 / 4	
2014	14 433	10 794	11 143	74,8%	77,2%	23 139 478	22 978 926	23 024 750	99,3%	99,5%	23 486 013
2015	14 171	10 490	11 006	74,0%	77,7%	23 139 174	22 985 538	23 050 766	99,3%	99,6%	23 465 760
2016	14 012	10 250	10 754	73,2%	76,7%	23 292 540	23 140 879	23 206 950	99,3%	99,6%	23 580 874
2017	13 817	9 943	10 446	72,0%	75,6%	22 793 944	22 646 030	22 709 895	99,4%	99,6%	23 172 599
2018	13 946	9 810	10 267	70,3%	73,6%	22 776 383	22 618 426	22 679 541	99,3%	99,6%	23 346 502
2019	14 203	9 555	10 037	67,3%	70,7%	22 763 942	22 594 175	22 661 043	99,3%	99,5%	23 495 914
2020	14 192	9 492	9 841	66,9%	69,3%	23 207 729	23 042 252	23 085 906	99,3%	99,5%	23 502 260
20/14	-1,7%	-12,1%	-11,7%			+0,3%	+0,3%	+0,3%			+0,1%

<sup>1</sup>A : Sites ayant chargé plus de 300 porcs dans l'année. P : Sites ayant chargé plus de 300 porcs au moins une année sur la période d'étude (2014-2020).

<sup>2</sup>Production en France, y compris DOM TOM et Corse, d'après le Service de la Statistique et de la Prospective pour comparaison de l'évolution

Source des tableaux et figures (sauf Figure 1, auteurs) : BDPORC, traitement Ifip

#### 1.2.2. Caractérisation de l'activité des sites

Les seuils de D-RP > 10 ou C-RF > 10 ont été retenus pour caractériser la présence de truies sur un site. Le nombre de porcelets déchargés dans des élevages caractérisés comme ayant des truies diminue fortement à partir de ces seuils. Or, le déchargement de porcelets caractérise normalement des élevages sans truies.

L'orientation des sites (naissage, post-sevrage, engraissement et les combinaisons possibles) a été calculée à partir de la

présence ou non de truies et des flux de porcelets et de porcs charcutiers selon la méthode présentée par Aubry *et al.* (2013).

#### 1.2.3. Analyse exploratoire du multisite

En 2020, la France comptait 14 192 sites pour 13 494 exploitations et 12 950 détenteurs (Tableau 2). Près de 8% des détenteurs avaient plusieurs sites et produisaient près de 20% des porcs charcutiers du pays.

Bien que l'échelle « détenteur » soit plus pertinente pour reconstituer les structures de production multisites, l'unité d'analyse retenue par la suite est le site car l'information sur les



détenteurs est manquante dans nos données pour les années 2014, 2015 et 2017.

**Tableau 2** – Proportions de sites, exploitations et détenteurs selon le nombre de sites par détenteur en 2020 (sites ayant chargé au moins un porcelet ou porc charcutier : POCH ≥ 1)

Nb sites / détenteur	Sites	Exploitations	Détenteurs	Porcs charcutiers produits
1	84,3%	88,6%	92,4%	79,8%
2	11,9%	8,6%	6,5%	15,3%
3	2,3%	1,5%	0,9%	3,0%
4	0,6%	0,5%	0,2%	1,0%
5 et plus	0,9%	0,8%	0,1%	0,9%
Total	14 192	13 494	12 950	23,208 M

POCH = porcelets (PO) + porcs charcutier (CH)

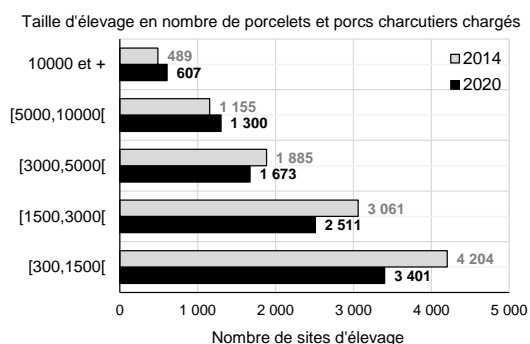
### 1.2.4. Trajectoires individuelles

Pour analyser les trajectoires individuelles des sites d'élevage, leur activité a été simplifiée en quatre états. Chaque année, un site peut être E pour les post-serveurs et/ou engraisseurs, N pour les naisseurs (8 ou 25 kg), NE pour les naisseurs-engraisseurs ou nd (non disponible) quand aucun mouvement de porcs n'a été enregistré sur le site, qu'il n'y en ait effectivement pas eu ou qu'ils n'aient pas été notifiés dans BDPORC. L'enchaînement de ces états au cours des sept années de la période étudiée constitue la trajectoire de chaque site. Les 511 séquences différentes obtenues ont été classées en sept groupes après analyse des trajectoires avec une méthode de classification ascendante hiérarchique du package TraMineR :

- Trois groupes (E, N, NE) pour les sites qui ont déclaré des mouvements chacune des sept années et qui n'ont pas changé d'orientation. Nous considérons que si l'orientation change une seule année entre 2015 et 2019, le site n'a pas changé d'orientation. Sinon, l'élevage est considéré comme entrant ou ayant changé d'orientation.
- Deux groupes pour les élevages qui ont arrêté leur activité (pas de mouvements déclarés en 2020 ou pendant plusieurs années consécutives jusqu'en 2020) ou qui ont débuté leur activité au cours de la période (pas de mouvements déclarés en 2014 ou pendant plusieurs années consécutives depuis 2014).
- Un groupe pour les élevages qui ont changé d'orientation. Nous considérons qu'un élevage a changé d'orientation s'il a une orientation en début de période puis une autre en fin de période.
- Le dernier groupe regroupe toutes les autres séquences.

### 1.3. Entretiens de salariés de groupements et d'éleveurs

L'analyse quantitative a été complétée par des entretiens



téléphoniques avec des responsables techniques de groupements et des éleveurs dans trois zones : Ouest (Finistère et Basse-Normandie), Est (Rhône-Alpes et Champagne-Ardenne), Sud (Aveyron et Dordogne). Ces trois territoires ont été choisis pour couvrir une diversité de situations : éleveurs en groupements ou indépendants, exploitations mixtes ou spécialisées, production sous signe de qualité ou conventionnelle, faible ou forte densité porcine...

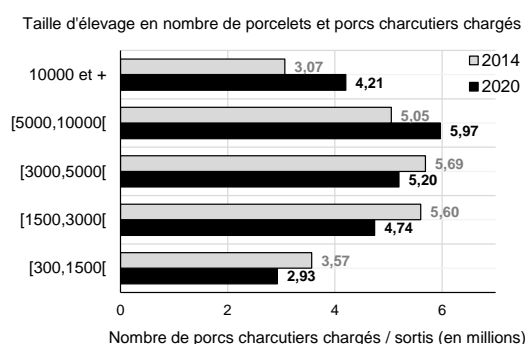
Les responsables techniques de chacune des huit organisations de producteurs (OP) enquêtées (les plus actives dans les zones étudiées) et de l'interprofession en Rhône-Alpes (où une part importante de la production est réalisée hors OP) ont été invités à décrire les principales caractéristiques d'une sélection de sites que nous leur avons soumise pour chaque trajectoire. Ceci a permis d'une part de constater quelques erreurs de classement dans la typologie et d'autre part d'identifier les éleveurs à enquêter car représentatifs de la région et de chaque trajectoire.

Au total, 31 éleveurs ont été interrogés (11 dans l'Ouest, 10 dans le Sud-Ouest et 10 dans l'Est) sur les caractéristiques (productions, foncier, main-d'œuvre) et l'évolution (dates clés, déterminants, modalités, effets et perspectives) de leur exploitation. Les entretiens ont duré 57 min en moyenne. La taille des NE enquêtés (17/31) varie de 15 truies (en bio) à plus de 5 000 (sur plusieurs sites), leur autonomie en engraissement de 40% à 100%. La surface agricole utile (SAU) moyenne est de 167 ha en Bretagne, 162 ha en Basse-Normandie, 90 ha (pour ceux ayant de la SAU) dans le Sud-Ouest et 274 ha (pour ceux ayant de la SAU) en Champagne-Ardenne. En Rhône-Alpes, trois n'ont aucun foncier, les deux autres ont 170 ha et 495 ha de SAU. La fabrication de l'aliment à la ferme (FAF) est pratiquée par 5/5 exploitations du Finistère, 5/6 de Basse-Normandie, 6/10 du Sud-Ouest et 4/5 de Champagne-Ardenne (en projet pour l'exploitation restante), 1/5 en Rhône-Alpes.

## 2. RESULTATS

### 2.1. En six ans, un site d'élevage sur huit a disparu

Entre 2014 et 2020, le nombre de sites sortant plus de 300 POCH a diminué linéairement, passant de 10 794 à 9 492 (Tableau 1). Un site sur huit a disparu en six ans (-1 302 sites ; -12,1%). La production annuelle moyenne par site a augmenté linéairement, passant de 3 116 à 3 618 POCH (+16,1%). Cette augmentation résulte de l'effet conjugué de la disparition des sites les plus petits et de l'augmentation de la production moyenne des sites restés NE, N ou E sur la période (cf. 2.4). Seul le nombre et la proportion de sites sortant plus de 5 000 POCH ont augmenté (Figure 2). En 2020, ils représentent 20,1% des sites vs 15,2% en 2014 et produisent 44,2% des porcs charcutiers du pays vs 35,3% en 2014.



**Figure 2** - Répartition par classe de taille des sites et des porcs charcutiers en 2014 et 2020 (champ : POCH ≥ 300)

## 2.2. Concentration plus rapide du naissage

La concentration structurelle des sites avec truies est plus forte que celle des sites sans truies. Plus de 70% de la baisse du nombre de sites entre 2014 et 2020 est lié à la baisse du nombre de sites avec truies, de 5 173 à 4 232 (-941, -18,2%). Le nombre de sites sans truies a diminué trois fois moins vite (-361 ; -6,4%) passant de 5 621 à 5 260. Par conséquent, la part des sites sans truies a augmenté de 52% à 55% et leur contribution à la production nationale de porcs charcutiers a augmenté de 39% à 41%. En 2020, 5 260 sites étaient (PS)E, 3 550 NE (-18,9%) et 682 N (-14,3%). Un NE sortait en moyenne 5 027 POCH en 2020 (+21,4% par rapport à 2014), qui sont à 75% des charcutiers, un N 8 716 POCH (+23,5%), à 98% des porcelets, et un (PS)E 2 005 POCH (+14,0%), à 90% des charcutiers.

## 2.3. Différences régionales

Si le nombre de porcs charcutiers produits a peu changé entre 2014 et 2020 à l'échelle nationale (+0,3%), les différences sont marquées entre régions. La production a baissé de 1,4% en Bretagne mais augmenté de 5,1% en Basse-Normandie, de 4,9% en Rhône-Alpes et même de 22,2% en Champagne-Ardenne. La séparation du naissage et de l'engraissement entre sites est plus ou moins marquée selon les régions. Plus de 80% des porcs charcutiers sont produits par des sites NE en région Grand Est tandis qu'en Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne Franche-Comté ou Occitanie, la majorité des porcs charcutiers produits a changé d'élevage au stade porcelet (Figure 3).

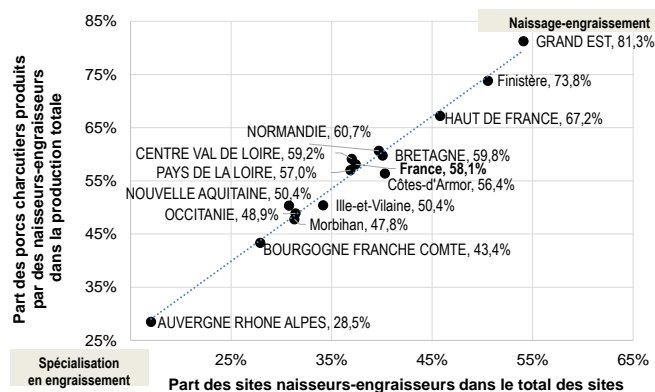


Figure 3 – Part du naissage-engraissement selon les régions

## 2.4. Sept types de trajectoires individuelles

La répartition entre les sept trajectoires identifiées des 11 485 sites ayant chargé 300 porcelets et/ou charcutiers (POCH) et plus au moins une année est présentée dans le Tableau 3.

- 71% des sites sont actifs sur toute la période et n'ont pas changé d'orientation. Sur 2014-2020, leur production a augmenté de 1,14 M de porcelets (+11,7%) et de 1,26 M de porcs charcutiers (+6,2%). La production moyenne par site resté NE a augmenté de 13% entre 2014 et 2020, passant de 4 577 (dont 3 564 charcutiers, CH, 78%) à 5 174 POCH (dont 3 905 CH, 75%). Celle des sites restés E n'a quasiment pas changé, à un peu moins de 1 850 POCH en 2020 (dont 1 697 CH). La taille moyenne des sites restés N est stable sur 2017-2020, à 9 245 POCH (dont 9 159 porcelets, 99%), après avoir augmenté de 7,5% entre 2014 et 2017 (Figure 4). Plus que de l'augmentation du nombre de truies (nombre qui diminue à l'échelle nationale), cette croissance traduit les gains de productivité des truies et le rapatriement de l'engraissement sur le site principal en cas de multisite (cf. 2.5). D'après la GTE, sur 2014-2020, la productivité

des truies a augmenté de près de 10%, passant de 22,5 à 24,7 porcs produits par truie présente et par an, avec une accélération ces dernières années, conséquence d'un changement d'objectifs de sélection à partir de 2014 et de la mise en place de la sélection génomique en 2016. Ce gain de productivité explique plus de 60% de l'augmentation de la production moyenne des sites restés NE sur la période.

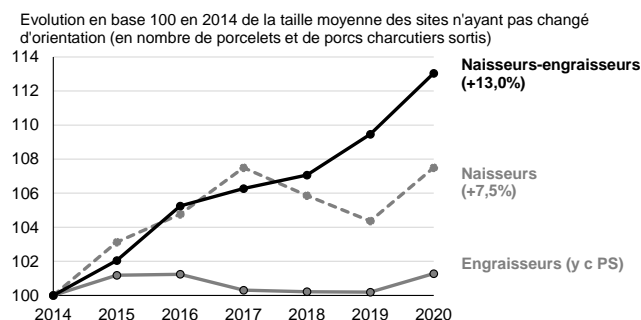


Figure 4 - Evolution de la production moyenne des sites n'ayant pas changé d'orientation sur 2014-2020

La distribution, selon l'évolution de leur production entre 2014 et 2020, des sites n'ayant pas changé d'activité sur la période est normale, traduisant la coexistence de sites qui développent leur production et de sites qui la réduisent. Un peu moins de la moitié des sites (47% des N, 44% des NE et 41% des E) a peu changé sa production sur la période (de ±10%). La production a augmenté de 10 à 50% pour 34% des NE, 26% des N et 21% des E. La part des sites ayant doublé et plus leur production est très limitée : 2% des NE, 3% des N et 4% des E.

- 8% des sites ont changé d'orientation. Il s'agit dans 70% des cas de NE qui ont arrêté le naissage pour devenir (PS)E et ont produit 1,54 M porcs en 2020. Ceci participe à l'augmentation de la contribution des (PS)E à la production totale de porcs charcutiers. Le nombre et la taille moyenne des NE qui arrêtent le naissage sont à peu près stables, autour de 100 - 120 sites par an, pour une production moyenne de 2 000 - 2 500 POCH, soit une taille d'environ 80-100 truies (à 25 porcs produits / truie / an). Ce changement d'orientation correspond à un changement de détenteurs pour 45% des sites en 2019 et 37% en 2020.

- 14% des sites ont cessé leur activité, à 72% des sites d'engraissement. Ils produisaient 1,65 M de porcs charcutiers en 2014. La taille moyenne des E l'année précédant leur arrêt est d'environ 1 000 POCH, soit environ 300 places d'engraissement. La part de NE et N dans les arrêts a augmenté de 12,5 à 35,8% sur la période, traduisant le fait que la cessation totale d'activité concerne de plus en plus les sites avec truies.

- 3% des sites ont « démarré » leur activité, qu'il s'agisse d'une réactivation de l'identifiant, d'une reprise d'activité, voire d'une création. Ils ont produit 0,334 M de charcutiers en 2020. Il s'agit dans 69% des cas d'engraisseurs. Leur taille moyenne varie selon les années d'entrée en activité, entre 315 et 1 036 POCH. Les différences entre régions de poids des trajectoires sont limitées. Dans toutes les régions, le solde en porcs produits entre la cessation et l'entrée en activité de sites est négatif. L'impact sur la production régionale est limité voire plus que compensé par l'augmentation de la production des sites restés NE, et dans une moindre mesure, de celle des sites restés E ou devenus E suite à l'arrêt du naissage.

## 2.5. Déterminants et effets des évolutions des élevages

### 2.5.1. Vision d'ensemble des techniciens et responsables d'OP

Les techniciens d'OP enquêtés expliquent l'augmentation de la production des sites restés NE sur 2014-2020 par différents facteurs : la forte hausse de prolificité des truies d'abord, puis l'augmentation du nombre de truies pour quelques élevages, le rapatriement de truies ou de places d'engraissement sur un site

en cas de multisites, l'arrêt de la multiplication (augmentation du chargement), le regroupement de deux sites sous le même indicatif. De nombreux sites restés E sur la période, notamment dans l'Ouest, font partie d'exploitations NE multisites (y compris maternités collectives).

**Tableau 3 – Nombre de sites et production de porcs charcutiers et de porcelets par trajectoire**

Trajectoire	Nombre de sites		Porcs charcutiers sortis (CCH) en 2020		Porcelets sortis (CPO) en 2020		Evolution de CCH sur 2014-2020	Evolution de CPO sur 2014-2020
Sites n'ayant pas changé d'orientation	8 190	71%	20 235 025	87%	9 709 482	86%	+1 255 115	+1 138 884
dont engraisseurs (E)	4 394	38%	7 454 730	32%	670 516	6%	+144 075	-41 893
dont naisseurs-engraisseurs (NE)	3 261	28%	12 734 671	55%	4 138 781	37%	<u>+1 113 948</u>	+832 935
dont naisseurs (N)	535	5%	45 624	<1%	4 900 185	43%	-2 908	+347 842
Sites ayant changé d'orientation	940	8%	2 052 631	9%	826 478	7%	+179 092	-83 164
dont NE→E	654	6%	1 541 640	7%	113 532	1%	+72 375	-181 150
Sites ayant arrêté	1 585	14%	0	0%	0	0%	-1 645 342	-699 225
dont E	1 158	10%	0	0%	0	0%	<u>-1 110 272</u>	-171 270
Sites ayant démarré	318	3%	334 113	1%	315 205	3%	+334 113	+315 205
dont E	221	2%	262 407	1%	96 175	1%	+262 407	+96 175
Trajectoire indéterminée	452	4%	464 137	2%	449 154	4%	-61 822	-25 877
Total	11 485		23 085 906		11 300 319		+61 156	+645 823

L'arrêt du naissage dans des sites NE est expliqué par ordre décroissant d'importance par leur spécialisation en engraissement suite à leur rachat, la réorganisation des sites d'une exploitation multisite (rapatriement des truies sur le site principal et spécialisation en engraissement des sites satellites), l'approche de la retraite (volonté de lever le pied, en particulier en l'absence de repreneur), le manque de main-d'œuvre et/ou la volonté de simplifier le travail et de limiter l'astreinte (par exemple suite au départ d'un salarié, d'un associé ou à des problèmes de santé), le manque de performances, le développement d'une autre activité (diversification, autre production animale). Pour les sites passés de E à NE, il semble souvent s'agir d'erreurs d'identification de l'orientation. Le passage de N à NE reflète l'arrêt des contrats avec des engraisseurs ou des façonniers, une activité peu rentable conduisant l'éleveur à choisir d'engraisser lui-même ses porcs lorsque cela est possible.

Les sites identifiés comme ayant démarré l'activité sont souvent des remises en activité après une installation, l'activation d'un identifiant pour distinguer un site d'une exploitation multisite entré dans un cahier des charges spécifique ou vendu, ou à la suite d'un changement de structure juridique.

Enfin, la plupart des arrêts d'activité de production porcine sont dus à des problèmes financiers ou à un départ à la retraite, mais aussi à la vétusté des bâtiments, au manque de temps ou de goût pour la production porcine, au choix de développer une autre production ou au transfert de la production sur un autre site.

### 2.5.2. Motivations des évolutions pour les éleveurs enquêtés

Le porc est la seule production animale dans 20 des 31 exploitations enquêtées. Les éleveurs qui ont conservé un atelier herbivore aux côtés du porc le justifient par la complémentarité des deux productions en termes de revenu et de travail, la valorisation des surfaces non labourables et le goût des différents associés. Au contraire, la spécialisation en porc (arrêt des bovins) d'exploitations mixtes résulte d'arbitrages au vu des besoins en capitaux et en travail, des goûts des éleveurs et de la faible rentabilité perçue de l'atelier bovin viande.

Sur les 31 éleveurs, 13 ont plusieurs structures juridiques (de 2 à 5), 11 n'ont pas d'associés et quatre n'ont pas de salariés. Les éleveurs se révèlent très différents en termes de goût pour le collectif (association ou recours au salariat) et les projets. Le goût pour le porc et les challenges apparaît comme le premier moteur des chefs d'exploitations à forte croissance.

- Rationaliser le travail

Les éleveurs disent dimensionner leurs projets selon la taille de leur collectif de travail. L'amélioration de l'efficacité et des conditions de travail, entre autres pour fidéliser les salariés, conduit à moderniser les bâtiments, rationaliser le multisite, changer de conduite en bandes, automatiser. Les éleveurs qui diminuent leur production, arrêtent les truies ou les bovins, l'expliquent par le manque de main-d'œuvre (départ d'un associé ou d'un salarié, difficultés de recrutement), le développement d'autres activités chronophages comme la transformation et la vente directe, et/ou le souhait de réduire leur charge de travail.

- Recherche d'autonomie et de cohérence

Quasiment tous les éleveurs enquêtés mettent en avant leur « *recherche d'autonomie sur l'engraissement et le foncier pour le coût alimentaire et la sécurité environnementale* ». Le lien au sol est aussi vu comme un moyen d'accroître l'intérêt de l'élevage à sa transmission. L'arrêt du façonnage passe par la baisse de nombre de truies ou l'achat de sites d'engraissement exploités en multisite avant de construire les places manquantes sur le site principal.

- Préparer la transmission

La croissance, modernisation ou rationalisation dépendent, à partir d'un certain âge, de la perspective de reprise (en particulier familiale qui permet de planifier les projets) ou de la motivation de l'éleveur à disposer d'un outil attractif pour des repreneurs. Dans le cas contraire, certains réduisent la voilure jusqu'à leur départ à la retraite, voire envisagent de l'anticiper une fois les prêts remboursés.

- Revenu, rentabilité, valorisation

La création ou la croissance de l'atelier porcin sont motivées par divers besoins : créer un revenu pour s'installer ou installer un

associé, compenser l'arrêt d'une production ou le rétrécissement des marges, exploiter les économies d'échelle. Le passage de N à NE est motivé par le manque de débouchés ou d'intérêt économique à la vente ou mise en pension des porcelets. Deux des 31 éleveurs ont développé la vente directe pour gagner en valeur ajoutée mais aussi aller jusqu'aux consommateurs et améliorer leur relation à leur environnement humain proche. Cette activité chronophage peut conduire à arrêter le naissage et à réduire l'engraissement.

### 2.5.3. Accompagnement, difficultés et satisfactions

Les lourds investissements (millions d'euros) sont financés quasi-exclusivement par des prêts bancaires, même si les éleveurs bénéficient aussi d'instruments financiers proposés par leurs coopératives ou la région (Roguet, 2020). Les groupements jouent un rôle clé dans l'accompagnement technique des projets, voire le maintien de la production, en facilitant la mise en relation, la reprise des sites cédés et en impulsant une dynamique locale. Ils réfléchissent au moyen de renforcer leur accompagnement financier par exemple par des prêts ou des prises de capital dans les élevages, idéalement temporaires (portage) mais durables dans certains cas.

Un bon tiers des éleveurs enquêtés (12/31) disent ne pas avoir rencontré de problèmes dans leurs projets. Ils l'expliquent par l'accompagnement de leur groupement, la confiance de leur banque, leur communication en amont du projet auprès des riverains ou leur implication dans la vie politique et associative locale. La principale difficulté, pour 10 des 31 éleveurs, surtout dans l'Ouest et le Sud-ouest, est l'opposition de voisins ou d'associations à leur projet, imprévisible, et la durée des procédures administratives. Le deuxième frein, pour 5 des 31 éleveurs, est le manque de rentabilité et l'accès au financement du fait de leur niveau d'endettement ou du montant des capitaux investis, en particulier si le porteur de capitaux est seul.

## CONCLUSION

La concentration structurelle est le résultat de la cessation d'activité de nombreux sites (14%), de taille plutôt petite et souvent spécialisés dans l'engraissement, tandis que les sites restés en activité (71%) ont augmenté leur production moyenne du fait des progrès génétiques et sanitaires. Le naissage se concentre plus vite du fait de l'arrêt des truies sur des sites qui sont spécialisés en engraissement (6%). Cet arrêt pose la question de l'approvisionnement en porcelets, même dans des zones historiquement excédentaires, du fait de la recherche d'autonomie en engraissement des naisseurs. De plus, il constitue pour certains une étape avant l'arrêt complet de la

production porcine. Au-delà de ces tendances, les ateliers porcins restent divers, en orientation et en taille, et sont insérés au sein d'exploitations tout aussi diverses, en productions, dimensions économiques, travail... Il n'y a pas de modèle d'élevage idéal, « l'important est la cohérence en engraissement, foncier et travail ». Les éleveurs se disent globalement satisfaits de leurs choix et les justifient chacun avec leurs arguments.

Sur 2014-2020, la production porcine nationale s'est maintenue mais la compensation de la baisse du nombre de truies par les gains de productivité finira par atteindre ses limites. Dans les régions à faible densité, le porc est aussi concurrencé par les productions végétales ou l'aviculture, jugée moins contraignante, plus sécurisée et qui se développe sous l'impulsion d'intégrateurs.

La principale inquiétude est la démographie et le manque de porteurs de projets. D'après les acteurs de terrain, rares sont les personnes qui veulent travailler dans la production porcine. Les raisons évoquées sont l'image dégradée de la production porcine, la vétusté des porcheries, la communication négative sur les conditions de travail et le revenu. Les personnes enquêtées se révèlent assez démunies en termes de solutions. L'intégration par les coopératives se développe en réponse à la demande de certains éleveurs de travailler à façon et pour maintenir un volume d'activité suffisant. En même temps, des milliers de places d'engraissement sont en construction. L'élevage de porcs en France vit une période de transition, avec une polarisation des modes de production entre signes de qualité et conventionnels, et de commercialisation entre filière courte et filière longue.

Un prolongement de l'étude pourra être de reconstituer les « unités fonctionnelles » de production (multisites, liens directs entre naisseurs et engraisseurs...) à partir de l'analyse des flux de porcelets entre sites. Enfin, apparier les bases de données, sur les structures d'exploitation (ESEA, RA), l'atelier porcine (BDPORC) et les performances (RICA, GTE), permettrait - sous réserve d'autorisation - d'analyser le lien entre les caractéristiques et trajectoires des exploitations ou de leur atelier porcine et leurs performances technico-économiques. Même si le choix de la production porcine apparaît d'abord une affaire de goût de l'éleveur, mieux situer sa rentabilité est nécessaire pour argumenter auprès de candidats potentiels.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les éleveurs et salariés de groupements pour leurs apports et INAPORC pour le soutien financier.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubry A., Moyne E., Roguet C., 2013. Caractérisation des structures d'élevage à partir de la base de données BDPORC, comparaison aux calculs obtenus en GTE. Journées Rech. Porcine, 45, 41-42.
- Perrot C., Gallot S., Roguet C., 2015. Evolution de l'élevage français métropolitain au travers des recensements agricoles : les exploitations se spécialisent moins que les territoires. Actes du colloque de la Société Française d'Economie Rurale « Structures d'exploitation et exercice de l'activité agricole : continuités, changements ou ruptures ? », 12-13 février 2015, Rennes, France.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rieu M., Roguet C., 2012. Tendances de l'élevage porcine dans l'Union européenne : un modèle en pleine mutation. Journée Rech. Porcine, 44, 219-228.
- Rieu M., Roussillon M.A., Legendre V., 2014. La filière porcine française, une compétitivité à reconquérir. Viandes et Produits Carnés, 30-6-3.
- Roguet C., 2020 Financement des investissements en production porcine : évaluation du besoin et de l'offre, développement d'instruments financiers. Journées Rech. Porcine, 52, 215-220.
- Roguet C., Gaigné C., Cariou S., Carlier M., Chatellier V., Chenut R., Daniel K., Perrot C., 2015. Spécialisation territoriale et concentration des productions animales européennes : état des lieux et facteurs explicatifs. INRA Prod. Anim., 28(1), 5-22.
- Roguet C., Duflot B., Rieu M., 2017. Evolution des modèles d'élevage de porcs en Europe et impacts sur les performances technico-économiques. Economie Rurale 357-358, Janvier-Mars 2017, 73-86.

# Etude exploratoire de la consommation des produits du porc en restauration collective en France

Valérie DIOT et Boris DUFLLOT

IFIP-Institut du porc, la Motte au Vicomte, BP 35104,35651 Le Rheu Cedex, France

valerie.diot@ifip.asso.fr

## Etude exploratoire de la consommation des produits du porc en restauration collective en France

Terrain d'observation de l'évolution des pratiques alimentaires, la restauration collective concentre une partie des attentes sociétales pour une alimentation saine, sûre, durable et accessible à tous, telles qu'exprimées dans la loi Egalim. Dans un contexte de défense de l'ancrage territorial, elle présente un relai potentiel de croissance pour la filière porcine. Or, ce marché composite n'est pas couvert par les dispositifs de suivi régulier de la consommation. Une étude exploratoire a été menée afin de comprendre les pratiques des établissements, de quantifier et caractériser les produits du porc consommés au sein des segments de l'enseignement, du médico-social et du travail en France. Elle a conduit à croiser des données en volume issus d'acteurs du marché ou extraites de logiciels de gestion intégrés. En 2018, la consommation des produits du porc en restauration collective est évaluée à 102 000 tonnes soit 6% du disponible à la consommation avec une ventilation entre charcuterie-salaison (61%) et viande de porc (39%). La salaison cuite (38%) domine en charcuterie. La viande de porc est représentée par la longe (50%) devant l'épaule (30%) et la poitrine (15%), avec une part croissante des découpes fines (sautés, émincés) mais aussi des pièces destinées à la cuisson à basse température. Les produits sous signe officiel d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) ou sous Certification de Conformité Produit (CCP) représentent moins de 5% des volumes de la restauration collective. Ces résultats fournissent des repères sur les produits du porc consommés tout en mettant en avant les facteurs de variabilité d'offre et donnent à entrevoir les stratégies déployées dans le cadre de la loi Egalim.

## Exploratory study of consumption of pork products in institutional catering in France

As an area in which changes in food practices are observed, institutional catering concentrates some societal expectations for healthy, safe, and sustainable food that is accessible to all, as expressed in the French law EGalim. In a context of defending local integration, it represents a potential driver of growth for the pork sector. However, standard consumption-monitoring systems do not cover this composite market. An exploratory study was carried out to understand institutional catering practices and which pork products are consumed within the education, medico-social and work segments in France. It led to cross-referencing of volume data from market stakeholders or extracted from integrated management software. In 2018, consumption of pork products in institutional catering in France was estimated as 102 000 t, which was 6% of the pork available for consumption, with a breakdown between cured cold cuts (61%) and meat (39%). Cooked cured meat (38%) dominated in cold cuts. Pork meat was represented by loins (50%), followed by shoulders (30%) and bellies (15%), with an increasing percentage of fine cuts (sautés, minced) and cuts intended for low-temperature cooking. Products under and official sign of identification of quality and origin (SIQO) or products under Certificate of Conformity Product represented less than 5% of the volume of the institutional catering market. These results provide benchmarks for the pork products consumed, highlight factors that influence variability in supply and suggest strategies to use in the framework of the EGalim law.

## INTRODUCTION

Un repas sur cinq est pris hors domicile et 3,69 milliards de prestations de repas ont été servies en 2018 en restauration collective soit 48% du nombre de prestations totales de la restauration correspondant à un chiffre d'affaires de 21,47 milliards d'euros (Carlhian, 2020). Les produits carnés représentent l'un des postes budgétaires les plus importants pour les achats alimentaires en restauration collective. La Loi Egalim de 2018 en faveur de l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole vise à permettre l'accès pour tous à une alimentation saine, de qualité et durable. Elle constitue en ce sens un instrument d'action essentiel dans la réduction des inégalités d'accès. Conformément aux conclusions des États Généraux de l'Alimentation (EGA) déployés en 2017 et dont la loi est issue, la restauration collective est considérée comme un levier majeur pour sensibiliser, éduquer et transmettre auprès du consommateur de bonnes pratiques en matière d'alimentation. En produits carnés, la loi modifie les taux d'approvisionnement au travers d'un plan pluriannuel de diversification des protéines incluant des alternatives végétales. Par ailleurs, elle influe sur la structure de l'offre en restauration collective avec un objectif d'au moins 50% de produits durables et de qualité dont au moins 20% de produits biologiques au sein des menus, conformément aux termes de la loi.

Cependant, il n'existe pas de dispositif particulier de suivi de la consommation des produits du porc en restauration collective dans la mesure où ce marché est relativement fragmenté et en conséquence difficile à étudier. Par ailleurs, l'interprétation autour de ce qui relève de l'approvisionnement en direct, local ou de proximité, dans la restauration collective par opposition aux circuits de distribution longs faisant appel à plusieurs intermédiaires, limite la capacité à consolider les flux quantitatifs de produits.

Cette communication présente les résultats d'une approche exploratoire visant à dresser un premier état quantitatif de la consommation des produits du porc sur l'ensemble de la restauration collective et à les caractériser selon leurs principales destinations que sont l'enseignement, le médico-social et le travail. En effet, il s'agit de tenir compte des spécificités et de la dynamique propres à l'offre de produits du porc sur chacun de ces segments de marché. Ces éléments sont contextualisés au regard des pratiques des établissements par marché.

Pour ces observations, plusieurs sources de données complémentaires proposant des niveaux de lecture différents, sont analysées. Les principales données quantitatives de volumes d'achat ou de vente des produits du porc émises par un groupe d'acteurs experts de la restauration collective sont complétées par les observations qualitatives issues de données de production de logiciels de gestion intégrés.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1 Participants et recueil des données

En 2020, 12 acteurs représentant les différents segments de la restauration collective, organisés par type de consommateurs, ont été enquêtés. En nombre de prestations de repas servis, quatre typologies sont identifiées soient le médico-social (45%), l'enseignement (34%) et le travail (11%) qui représentent au

total 91% du marché de la restauration collective en 2018 selon Gira Food Service pour FranceAgrimer. Les 9% restant regroupent les segments des loisirs sociaux et les « captifs » (armée, prison...). Ces derniers sont pris en compte dans la démarche de consolidation mais n'ont pas fait l'objet d'une analyse dédiée compte tenu de leur caractère très encadré ou saisonnier. La démarche tient compte des modes de gestion d'approvisionnement des établissements finaux qui opèrent pour leurs achats de produits alimentaires soit en concession auprès d'opérateurs structurés ou SRC (Sociétés de Restauration Collective) et qui représentent selon Gira Food Service 40% des prestations en 2018 soit en autogestion via des groupements de commandes ou des centrales de référencement. Des acteurs aux activités complémentaires entre eux tout au long de la filière ont été interrogés : il s'agit des fonctions achats de distributeurs généralistes ou spécialisés, de centrales d'achat ou de référencement et de sociétés de restauration collective. Le rapprochement entre la part de marché en valeur déclarée par les experts interrogés ou issue des données de l'observatoire Gira Food Service et le chiffre d'affaires total du marché (21,47 milliards d'euros) permet d'estimer le chiffre d'affaires couvert par cette enquête. Il est évalué à environ 2,57 milliards d'euros soit 12% du total de la restauration collective.

### 1.2. Produits étudiés

L'analyse porte sur les principales catégories de produits du porc soit la charcuterie-salaison dont la saucisserie, et la viande de porc fraîche. La segmentation de la charcuterie-salaison en produits prend appui sur la structure du Code des Usages de la charcuterie-salaison. Elle définit les principales catégories comme suit : salaison cuite ; saucisses et saucissons cuits ; saucisses et saucissons cru à cuire ; pâtés et mélanges à tartiner ; lardons-poitrine-bacon ; saucisserie et salaison sèche. En ce qui concerne la viande de porc, la segmentation a été définie suivant les pratiques des opérateurs du marché par degré d'élaboration dans la découpe et a conduit à considérer les muscles piécés calibrés (escalopes, côtes...), les muscles entiers (rôti, filets, carrés...), les abats, les élaborés de viande incluant les découpes de type sautés et émincés. Sont prises en compte les catégories de produits frais et surgelés.

### 1.3. Période de référence

Afin de pouvoir rapprocher les données issues de cette étude de celles de l'observatoire consolidé tous produits fourni par Gira Food Service pour la restauration collective, l'année 2018 a été retenue comme période de référence commune. Ce choix est également étayé par le fait que l'article 24 de la loi Egalim sur la restauration collective publique et privée a été promulguée fin 2018 pour application en 2019. L'obligation de mise en place de menus végétariens n'était en conséquence pas déployée sur la période d'étude.

### 1.4. Méthodes d'analyse

Les données des produits ont été collectées sous la forme de données brutes avec un niveau de granularité très hétérogène selon les acteurs. Elles ont fait l'objet d'un traitement visant à les harmoniser et à les structurer sous une arborescence commune produits et marchés. La démarche a par la suite consisté à les extrapoler en rapprochant la part de marché réalisée ou estimée par les opérateurs ciblés des volumes totaux réalisés par segment de marché et par catégorie de



produits afin de reconstituer de proche en proche, jusqu'au niveau le plus agrégé, le marché de la restauration collective.

Les données de consommation sont observées sur les catégories de produits choisies au travers de trois variables principales. En premier lieu, les volumes d'achat ou de vente annuels sont questionnés à des fins de consolidation. Ensuite dans une visée d'observation plus qualitative, les volumes journaliers mis en œuvre par composante d'un menu (entrée, plat) et la prévalence des produits du porc dans le plan alimentaire des établissements de restauration sont étudiés à partir de données de production extraites de logiciels de gestion intégrés.

A partir de ce jeu de données, les résultats quantitatifs sont analysés par type de produits et la caractérisation des produits du porc est éclairée en regard des spécificités de chacun des segments. Le second volet qualitatif permet d'illustrer quelques facteurs de variabilité des pratiques. Enfin, les limites de la méthode sont discutées et quelques axes d'approfondissement sont abordés.

## 2. RESULTATS

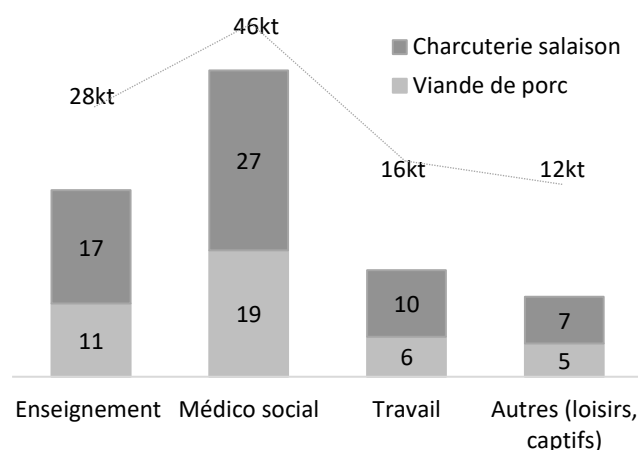
### 2.1. La consommation en restauration collective, un marché régulé

L'organisation de l'approvisionnement de la restauration collective, duquel découle en partie la structure de l'offre, recouvre des activités de régulation multiples (Le Velly *et al.*, 2011). Les approvisionnements sont encadrés par le code des marchés publics (JORF, 2006) et par les recommandations nutritionnelles du Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et de Nutrition (GEM-RCN, 2015). Ces recommandations touchent la consommation des produits du porc selon leur classification par famille de produits -par exemple, les entrées contenant plus de 15% de lipides- en déterminant une fréquence de survenue et un grammage par repas selon les besoins nutritionnels par tranche d'âge des convives. De plus, au niveau des cuisines d'établissements ou centrales, les élus opèrent des prescriptions en attribuant un budget et des objectifs aux services de restauration (cas de régie directe) ou en validant un cahier des charges (cas de concession). Les cuisines autogérées comme les sociétés de restauration organisent leurs achats autour de règles, de dispositifs techniques et de routines.

### 2.2. Le porc sur le marché de la restauration collective

La consolidation des données du porc extrapolées à l'ensemble de la restauration collective donne un estimé à 102 000 tonnes soit 6% du total disponible (1,8 million de tonnes) à la consommation en produits du porc en 2018 (Diot, 2021). Par comparaison, la part relative de ce marché en porc serait inférieure à celle en volaille (11%) et en viande bovine (10%), en ligne avec la dimension professionnelle du porc et l'engouement du haché de bœuf y compris en restauration collective (Monniot, 2019). Ce total se décompose en charcuterie-salaison à 56 000 tonnes devant la viande de porc 40 000 tonnes et la saucisserie 6 000 tonnes. Par segment de marché, la répartition des volumes des produits du porc est proche de la ventilation tous produits avec le médico-social à 45%, l'enseignement à 27%, le travail à 16% (Figure 1). La charcuterie-salaison hors saucisserie s'inscrit dans la structure des menus le plus souvent comme entrée, dans un contexte de limitation progressive du nombre de composantes d'un repas

menaçant notamment l'entrée. Les produits de salaison sont également destinés à la mise en œuvre en produits de snacking (croque-monsieur, quiche, sandwich) compte tenu de la part d'auto-fabrication des établissements principalement sur les segments du travail et de l'enseignement. En effet, les produits traiteurs industriels, avec un volume estimé à 6 000t dont une partie en surgelé, répondent souvent à un besoin d'offre complémentaire permettant d'absorber les fluctuations de taux de fréquentation des convives.



**Figure 1** – Estimation des volumes réalisés en charcuterie-salaison saucisserie incluse et viande de porc par segment de la restauration collective en kt en 2018 (Source : Ifip).

La salaison cuite, avec une part de 38% des volumes en charcuterie-salaison portée principalement par le jambon (83%) devant l'épaule (17%), présente un niveau de consommation important. A titre de comparaison, en consommation à domicile, les jambons cuits sur la même période représentent 28% du total charcuterie en volumes d'achat des ménages selon le panel Kantar. Les produits tranchés proposant une dimension « service », pèsent selon les segments de marché entre 20% et 30% du total salaison cuite. Les produits de charcuterie sont représentés par les saucisses et saucissons cuits (20%) - saucisses à pâtes fines, knacks et cervelas - devant les saucisses et saucissons crus à cuire (12%), principalement les saucisses gros hachage (paysanne, de Toulouse) (Tableau 1).

En viande de porc, la longe (40 à 50%) domine en volumes devant l'épaule (environ 30%) et la poitrine (10 à 15%). La part des muscles piécés calibrés (37%) de type escalopes et côtes, avec une offre très large tenant compte des attentes variées de grammage, est presque égale à celle des muscles entiers (rôti, filet, palette...) (36%). Compte tenu de leurs avantages en termes de praticité, de flexibilité de grammage et de limitation du gaspillage, les élaborés (25%), principalement issus d'épaules, représentent une part supérieure en restauration hors domicile à celle observée en consommation à domicile (moins de 10%).

La segmentation des viandes reflète également le mode et le temps de cuisson avec d'une part les produits à cuisson rapide (produits à griller, à poêler, à sauter) comme les côtes et les escalopes, et d'autre part les produits à cuisson lente (produits à braiser, à bouillir) comme les rôti et la palette. La cuisson lente fait en particulier référence à la cuisson à basse température qui permet de valoriser des muscles du porc de plus faible valeur comme l'épaule sans jarret et la poitrine en améliorant au travers du moelleux, leur qualité perçue. Selon le mode de gestion principal des segments, certains types de pièces sont préférés. Ainsi, la préparation et le service sur le

même lieu permettent la mise en œuvre de produits à cuisson rapide ; en revanche, dans le cas d'une préparation en cuisine

centrale, l'approvisionnement des repas en liaison chaude ou froide conduit à privilégier les produits à cuisson lente.

**Tableau 1** – Ventilation en volume et en pourcentage en 2018 des produits du porc par catégorie de produits selon les segments de la restauration collective hors segments « loisirs, captifs »

Catégories de produits	Total hors segments « loisirs, captif »		Enseignement		Médico-social		Travail	
	En kt	En %	En kt	En %	En kt	En %	En kt	En %
<b>Charcuterie (saucisserie incluse) dont</b>	54,9	60%	17,2	61%	27	59%	27	59%
Salaison cuite	21,3	38%	6,1	35%	11,1	41%	11,1	41%
Saucisses et saucissons cuits	11,2	20%	3,1	18%	5,7	21%	5,7	21%
Saucisses et saucissons cru à cuire	6,3	12%	2,2	13%	2,7	10%	2,7	10%
Pâtés et mélanges à tartiner	7,1	13%	1,9	11%	4,3	16%	4,3	16%
Lardons poitrine bacon	4,3	8%	2,2	13%	1,4	5%	1,4	5%
Saucisserie et Salaison sèche	4,2	8%	1,7	10%	1,4	5%	1,4	5%
Autres	0,6	1%			0,5	2%	0,5	2%
<b>Viande de porc dont</b>	36,1	40%	11	39%	19	41%	19	41%
Muscles piécés calibrés (côte...)	13,4	37%	4,4	40%	7,4	39%	7,4	39%
Muscles entiers (rôti, filet, carré...)	12,9	36%	3,3	30%	6,8	36%	6,8	36%
Elaborés (sautés, émincés...)	9,2	25%	3,1	28%	4,6	24%	4,6	24%
Abats (andouilles, boudins...)	0,6	2%	0,2	2%	0,2	1%	0,2	1%

Source : Ifip d'après données collectées par enquête.

### 2.3. Segment de l'enseignement

La modification du mode de gestion du service influe sur la structure de l'offre des produits du porc en enseignement. Un transfert progressif d'un service assis à table vers le self-service est observé notamment en collège et primaire. Il offre au convive la possibilité de faire ses choix dans la construction de son menu. Par ailleurs, les incitations à la lutte contre le gaspillage alimentaire avec la montée des initiatives « à chacun sa part » et les actions de sensibilisation au tri des déchets vont dans le sens d'une personnalisation du menu et repositionnent le convive au cœur de la démarche. Les lardons-poitrine-bacon sont particulièrement représentés (+5 pts) comparativement à leur part relative tous segments et au sein des saucisses et saucissons cuits (18%), les saucisses pâtes fines prédominent largement (Tableau 1).

En viande, la part moyenne des muscles piécés calibrés (40%) serait supérieure sur le total enseignement alors qu'en primaire, la part des muscles entiers est encore très présente pour des raisons économiques et de limitation du gaspillage. Par ailleurs, l'analyse de la structure des menus au travers des données qualitatives qui donne une lecture des autres viandes, fait état d'une forte présence des produits de volaille et de steak haché très consommés par les jeunes.

### 2.4. Segment du médico-social

Le segment médico-social comprend le secteur de la santé et celui du social (maisons de retraite principalement), avec une part respective de 29% et 71% du nombre de prestations en 2018. Sur l'ensemble, comparativement aux données en restauration collective, la part de la charcuterie-salaison est équivalente (59%) mais avec une part de la salaison cuite supérieure (41% ; +3pts), en particulier le jambon cuit.

Les segments de santé et du social ont pour déterminant commun le vieillissement de la population qui s'accroît en France avec 19,4 % de personnes âgées de 65 ans ou plus au 1er

janvier 2018 contre 12,8% en 1986 (Blanpain et Chardon, 2010 ; Dumont, 2017). Cette évolution oriente l'offre vers une simplification des repas au travers des repas mixés qui représenteraient 15 à 20% des repas en 2018. Ces repas à texture modifiée, associés au « manger main », concernent principalement le jambon devant le rôti. Dans la plupart des cas, ils sont élaborés sur site mais l'analyse qualitative montre, dans le domaine de la santé, une part importante de produits transformés prêts à servir sous la forme de jambon haché grossièrement jusqu'au mixé de jambon lisse.

En viandes, sur le segment de la santé, la massification des achats et la recherche d'économie ont conduit à un modèle prédominant que sont les cuisines centrales éloignées du lieu de consommation des repas. Le service s'effectue en liaison froide ou chaude avec un maintien au chaud à plus de 65°C conditionnant le choix des pièces de porc mises en œuvre. Ainsi, la part des élaborés sous la forme de sautés émincés peut dépasser le tiers des volumes d'achat.

A rebours, les maisons de retraite dans le secteur du social, trouvent dans l'alimentation un moyen de se différencier dans la mesure où, pour les seniors, le repas constitue un point d'intérêt important de la journée. L'attention portée au gaspillage et au bien-être au travers de l'alimentation se traduit par une part plus importante de produits piécés calibrés pouvant atteindre 40% des volumes de viandes. En effet, pour seulement 24% des convives seniors, le plaisir est associé à une motivation dans la prise des repas contre 75% pour l'habitude d'une étude du Crédoc et de l'Institut de la Nutrition (2020). Par ailleurs, dans le secteur de la santé, 20% des plateaux seraient non consommés.

### 2.5. Segment du travail

Avec 40% des besoins de la population ou Références Nutritionnelles pour la Population (RNP), le déjeuner représente le repas principal de la journée pour les adultes avec des apports différenciés en termes de grammage entre les cols blancs et les cols bleus.

Comparativement à la répartition tous segments, la charcuterie-salaison est très consommée (+6 pts, Tableau 1) entrant dans l'élaboration de solutions snacking (sandwiches, croque-monsieur, salades). En ce qui concerne les viandes, la part de produits en cuisson rapide (grillades, sautés d'épaule) est supérieure pour certains opérateurs interrogés avec plus de 45%.

Plus globalement, la volonté des convives de maîtriser leur alimentation est présente avec des enjeux de santé, de bien-être et de consommation raisonnée, tout en maîtrisant le coût moyen du repas. Ce contexte se traduit de la part de certains acteurs par la recherche de montée en gamme avec de nombreux freins économiques.

## 2.6. Estimation de la part de surgelé et d'importation

Avec une part estimée de 70% des volumes de viande de porc, le frais domine devant le congelé (30%) avec une relative hétérogénéité puisque certains acteurs enquêtés revendiquent le fait de ne travailler qu'en frais. En revanche, auprès des établissements concédés (40% des prestations réalisées en restauration collective), la part de surgelé peut atteindre plus de 50%. L'adoption de produits surgelés est principalement motivée par le fait d'apporter une réponse économique alternative aux produits frais et se compose principalement d'une gamme courte de quelques références. Celle-ci est issue majoritairement de l'importation en provenance de l'Union européenne sans qu'une provenance particulière ne se soit distinguée au cours des entretiens. Elle concerne les produits issus de la longe tels que les rôtis, côtes, escalopes, échine et des produits issus d'épaules comme les sautés et dans une moindre mesure des rôtis. La charcuterie est très majoritairement portée par des produits frais, à plus de 85%. Les produits surgelés concernent des lardons et des jambons cuits découenné dégraissé. Les produits frais issus de l'importation en charcuterie concernent principalement la saucisserie sèche, au travers du chorizo. La part d'importation en produits frais représenterait moins de 20%. Cependant, il n'est pas tenu compte de la part des produits transformés à partir de pièces secondaires importées en particulier en jambon cuit.

D'une manière générale, les produits concernés par une mise en avant de l'origine au travers du libellé produits (circuit commande livraison, facturation sans aller jusqu'à la communication au convive) se situeraient selon les opérateurs et les segments de marché entre 5 et 15 % de l'offre. L'analyse qualitative des menus sur plusieurs mois de quelques établissements vient confirmer ce point.

## 2.7. Estimation de la part des produits sous signe de qualité

L'ensemble des produits sous signe officiels de qualité représenterait environ 5 % des volumes, avec un intervalle de 3 à 10% au regard de la diversité des politiques d'offre. Il s'agit principalement de produits de charcuterie, incluant la saucisserie. En pratique, le choix parmi les signes de qualité se porte sur ceux conciliant des bénéfices additionnels perçus par le convive avec un coût denrée adapté. Par exemple, les produits locaux sont préférés aux produits biologiques, l'approvisionnement local étant perçu comme un attribut de qualité par les consommateurs selon les dires d'experts. Historiquement, la restauration collective travaille également une part de produits sous Certification de Conformité Produit (CCP), notamment en saucisserie (saucisse de Toulouse,

andouillette de Troyes...). Les IGP notamment Sud-Ouest sont également présentes. Les signes de « qualité » les plus diffusés seraient le signe Bleu Blanc Cœur, l'appellation produits fermiers, le Label Rouge et AB.

Le Label Rouge est porté par la rosette, le jambon cuit, le pâté croûte. D'abord soutenus par des initiatives locales, les achats en produits biologiques se développent au travers des plans d'actions territoriaux (Sud-Ouest, Ile de France, Bretagne...) soutenus par de larges gammes en viande et en charcuterie notamment sur le segment de l'enseignement.

D'une manière générale, dans les segments de l'enseignement, la santé et les maisons de retraite, la pression sociétale s'accroît plus fortement, avec des attentes plus marquées de transparence sur l'origine et la qualité des produits.

## 3. DISCUSSION

La restauration collective est structurée autour d'un nombre d'opérateurs bien identifiés, aux pratiques relativement bien encadrées dans leurs approvisionnements alimentaires. Cependant, l'étude fait apparaître des limites de validité dans l'extrapolation des quantités consommées de produits du porc.

### 3.1. Limites liées à l'évaluation du nombre de prestations

L'évaluation du nombre de prestations sur les segments du travail et de l'enseignement secondaire et supérieur apparaît de plus en plus complexe à suivre compte tenu la fragmentation de la prise de repas tout au long de la journée sous la forme d'encas (Tichit, 2013). Alors que la restauration collective est considérée comme captive, ces secteurs font face à une évasion croissante de convives à la faveur du développement progressif de la restauration rapide et de la distribution automatique avec une proposition d'offre sur un temps plus long. Par ailleurs, sur le segment médico-social, l'évaluation du nombre de prestations est réalisée sur la base d'un taux d'occupation maximal des lits, les données réelles n'étant pas accessibles à la connaissance.

### 3.2. Limites liées à la part de l'approvisionnement en direct

Sur le plan des approvisionnements, les volumes collectés ne couvrent pas la part des volumes d'achats effectués en direct par les établissements (maison de retraite, cantine scolaire...) sachant qu'il ne s'agit pas seulement d'achats de proximité. Plusieurs acteurs sont concernés par ces approvisionnements en direct. Par exemple, les abatteurs découpeurs voient dans la restauration collective un circuit d'écoulement matière susceptible de compenser le déséquilibre généré par le débouché des grandes surfaces. En dehors de quelques spécialistes de la RHD, la plupart des abatteurs-découpeurs effectuent une part de leur chiffre d'affaires sur ce marché. Figurent également, une part des transformateurs en charcuterie-salaison qui s'affranchissent des conditions tarifaires restrictives liés aux appels d'offre ou aux marchés contractés en gré à gré et enfin les artisans bouchers charcutiers traiteurs pour lesquels la restauration collective offre un débouché supplémentaire permettant d'amortir leurs coûts de fonctionnement. En charcuterie, la part du direct représenterait 10 à 15% des volumes d'achat du marché. En viande de porc, les enquêtes régionales réalisées sur les approvisionnements de proximité en restauration collective par les DRAAF Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté soulignent que les viandes sont les catégories qui ressortent en particulier. Ainsi en enseignement,

la part du direct en viande de porc atteindrait en valeur 20% en Grand Est et 40% en Bourgogne-Franche-Comté (Frumholz, 2020 ; Rodriguez et Lestoille, 2020). L'étude n'a pas permis d'investiguer ce point qui aurait permis de redresser le taux de couverture des données collectées et gagner en fiabilité dans l'estimation de la taille des marchés.

### 3.3. Limites liées à la part de la représentativité régionale de la consommation de porc

En termes de régulation, l'invitation à prendre en compte des dimensions du développement durable dans le choix des produits conduit à des arbitrages entre la réduction des portions en viande pour réduire les surcoûts et les impératifs nutritionnels. Autour des enjeux de reterritorialisation et d'une alimentation plus écologique à destination de la restauration collective, il importerait d'étudier de manière plus approfondie les différences de pratiques et les routines conduisant à préférer certains types de produits du porc de même que les spécificités culturelles de consommation. Or l'enquête a conduit à s'adresser à la fonction achat qui notamment dans le cas de centrales d'achat ou de référencement n'ont pas toujours une lecture fine des usages et attitudes des établissements.

## CONCLUSION

Cette étude exploratoire a eu pour objectif de livrer, pour l'année 2018, un premier état des lieux quantitatif et une première caractérisation de la consommation des produits du porc en restauration collective selon les différents segments de marché. Un travail ultérieur d'analyse approfondie des pratiques par enquête auprès des acteurs pourrait être conduit pour lever les limites de cette première enquête. De plus, si ces données permettent d'entrevoir une partie des motivations qui président à la consommation de certaines catégories de produits en porc, le champ de l'étude nécessiterait d'être élargi à un panel plus important pour tenir compte du caractère régional de la consommation. Par ailleurs, elle pourrait être complétée par une étude d'usages et attitudes des convives afin de mieux appréhender la place de la viande de porc et de la charcuterie, et progresser dans la connaissance de la prise en compte par les consommateurs des impératifs du développement durable dans la consommation des produits du porc.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a fait l'objet d'un financement Inaporc et fait référence au panel consommateur produit par Gira Food Service et acheté par Inaporc et FranceAgriMer.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blanpain N., Chardon O., 2010. Projections de population à l'horizon 2060 Un tiers de la population âgé de plus de 60 ans. INSEE PREMIERE, n°1320, 4 p.
- Carlhian B., 2020. Les circuits de commercialisation des viandes en consommation hors domicile. Panorama des fournisseurs de viandes fraîches, surgelées, charcuteries et salaisons de la consommation hors domicile. Viandes & Produits Carnés, 36-4-3, 6 p.
- Credoc et Institut Nutrition, 2021. Ce que veulent nos aînés pour le dîner. [Synthèse-CREDOC Ce-que-veulent-nos-ainés-pour-le-diner.pdf \(institut-nutrition.fr\)](#), 16 p.
- Diot V., 2021. Analyse des flux de la consommation des produits du porc en 2018, FranceAgrimer, <https://www.franceagrimer.fr/Eclairer/Etudes-et-Analyses>, Paris, 93 p.
- Dumont G. F., 2017. Vieillesse de la population de la France : les trois causes de son accentuation. Population & Avenir, 2017/2 (n° 732), 17-19. DOI : 10.3917/popav.732.0017.
- Frumholz H., 2021. RHD : les pratiques d'achats des restaurations collectives dans la région Grand Est. Agreste Grand Est, juillet 2021, n°2, 40 p.
- Le Velly, R., Brechet J. P., 2011, The market as a meeting-place for working out regulations: Initiatives and innovations in the supply of organic and local produce to institutional catering businesses. Sociologie du travail, 53(4), 24-492.
- Journal Officiel de la République Française, 2006. Décret no 2006-975 portant code des marchés publics.
- Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et Nutrition (GEM-RCN), 2015. Recommandation nutrition Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et Nutrition GEM-RCN version 1.0. Paris.
- Monniot C., 2019. Où va le bœuf ? Dossier viande bovine française - Economie n° 503 - Novembre 2019. Ed. Institut de l'Elevage
- Rodriguez N., Lestoille M. C., 2020. Enquête sur l'approvisionnement des restaurations collectives. Première approche des pratiques d'achat « de proximité » dans la restauration collective de Bourgogne-Franche-Comté en 2019. Agreste Bourgogne-Franche-Comté, Etudes, Mai 2020, n°5, 6 p.
- Tichit C., 2013. Prendre 3 repas quotidiens : un modèle dominant aux pratiques socialement différenciées en région parisienne. Le modèle alimentaire français : adaptation ou disparition ? Colloque FFAS, FFAS., Nov 2013, Paris, France. pp.15.

# Le commerce intra-européen des viandes et coproduits du porc : tendances et évolutions récentes des principaux flux et identification des marchés d'intérêt

*Elisa HUSSON et Jan Peter VAN FERNEIJ*

*IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France*

*elisa.husson@ifip.asso.fr*

## **Le commerce intra-européen des viandes et coproduits du porc : tendances et évolutions récentes des principaux flux et identification des marchés d'intérêt.**

Le marché des pièces de découpe se place au cœur du commerce intra-européen. Chaque année, près de 8 millions de tonnes de produits du porc sont échangées entre les Etats membres de l'Union européenne (UE), soit environ un tiers de la production de l'UE-28. Parmi ces produits du porc, les pièces de porc représentent 60% des échanges, mais les produits transformés, les lards et les abats contribuent également fortement. Face à l'importance du commerce intra-européen, l'objectif de l'étude est de préciser ses caractéristiques en termes de volume, de valeur et de prix unitaire moyen par produit. L'étude permet de comprendre quelles sont les spécificités du marché européen et de mettre en exergue l'évolution dans le temps des types de produits exportés et des principaux acteurs du commerce. Les statistiques du commerce international d'Eurostat permettent de suivre les flux commerciaux en volume et en valeur entre les pays pour diverses catégories de produits définies par la Nomenclature Combinée à 8 chiffres. L'analyse statistique porte sur la période 2000-2020. Depuis 2000, les échanges de produits du porc n'ont cessé de se développer, en particulier pour les pièces désossées. Ceci est en lien avec une production européenne croissante et la recherche de valeur ajoutée, poussant les opérateurs vers une élaboration des pièces de découpe. Néanmoins, face à l'intensification des exportations vers l'Asie et surtout la Chine ces trois dernières années, à la crise de la Covid-19 en 2020, et à l'introduction de la peste porcine africaine en Allemagne, les dynamiques habituelles sont perturbées. Les cartes du commerce intra-européen ont été redistribuées avec une forte inflexion des exportations des pièces de découpe.

## **Intra-European trade in meat and pork coproducts: recent trends and developments in the main flows and identification of markets of interest**

The market for meat cuts lies at the heart of intra-European trade. Each year, nearly 8 million tons of pork products are traded between member states of the European Union (EU), or around one-third of the EU-28's production. Among these pork products, pork cuts represent 60% of trade, but processed products, bacon and offal also contribute greatly. Given the importance of intra-European trade, the objective of the study was to specify its volume, value, and average unit price per product. The study helps understand specific characteristics of the EU market and highlight dynamics of the types of products exported and the main trading partners. Eurostat's international trade statistics make it possible to monitor the volume and value of trade flows between countries for a variety of product categories defined by an 8-digit Combined Nomenclature. The statistical analysis covered the period 2000-2020. Since 2000, trade in pork products has grown steadily, especially in boneless cuts. This is in line with increasing EU production and the search for added value, which pushes operators to produce cuts. However, faced with the increase in exports to Asia, especially China, in the past three years, the COVID-19 crisis in 2020, and the appearance of African swine fever in Germany, the usual dynamics have been disrupted. The map of intra-European trade has been reconfigured, with a sharp drop in exports of cuts.

## INTRODUCTION

Au fil des années, le commerce mondial de produits agroalimentaires s'est développé, en lien avec la mondialisation, l'élaboration de chaînes logistiques performantes et la nécessité pour les filières agricoles de capter de la valeur sur les marchés extérieurs. La croissance des échanges commerciaux a été accompagnée d'une modification des types de produits échangés et de leur valeur. Une importance de plus en plus grande a été donnée pour les produits plus élaborés, permettant de capter davantage de valeur que les produits bruts sur le marché de l'export (Chatellier, 2021). Les flux commerciaux des produits porcins sont stimulés depuis de nombreuses années par les déséquilibres offre/demande sur la scène internationale, en particulier en Asie, mais aussi au sein même de la zone intra-communautaire. L'Union européenne (UE), zone excédentaire en viande porcine, est de plus en plus dépendante de ces déséquilibres.

Depuis dix ans, les exportations européennes de viandes et coproduits du porc toutes destinations ont dépassé 10 millions de tonnes et ne cessent de progresser. Le commerce dans la zone intra-européenne seule s'est stabilisé. Il représente environ 8 millions de tonnes par an, soit plus du tiers de la production de l'UE. En valeur, la tendance des échanges est fortement haussière. La valorisation des produits échangés est très influencée par l'évolution des prix du porc à la production, dépendante de l'offre et de la demande, mais aussi par des éléments macro-économiques tels que les parités monétaires, les coûts logistiques, les performances industrielles, etc (Van Ferneij *et al.*, 2012). Le marché intra-européen des produits du porc est piloté par les échanges de pièces de découpe fraîches ou congelées entre les abatteurs-découpeurs et d'autres découpeurs ou transformateurs, et par les échanges de produits finaux déjà transformés (Barberis *et al.*, 2020). Dans de nombreux cas, ces flux répondent à la demande de pays où les habitudes de consommation entraînent des manques structurels pour certains types de produits. Ils répondent aussi aux besoins d'autres pays qui trouvent difficilement des débouchés sur leur marché intérieur. Les flux import/export en UE peuvent aussi s'expliquer par le seul jeu du commerce (Van Ferneij, 2012).

Les tendances commerciales de ces vingt dernières années sur le marché intra-européen ont récemment été mises à l'épreuve avec l'expansion de l'épidémie de fièvre porcine africaine, la pandémie de Covid-19 et les préparations à la sortie de l'UE du Royaume-Uni. Les dynamiques de la demande, l'offre de débouchés, la logistique et les circuits de distribution ont été momentanément bouleversés (Wieck *et al.*, 2021).

Face à l'importance du commerce intra-européen, l'objectif de l'étude est de préciser ses caractéristiques en termes de volume, de valeur et de prix unitaire moyen par produit. Le but est de comprendre quelles sont les spécificités du marché européen et de mettre en exergue l'évolution dans le temps des types de produits exportés et des principaux acteurs du commerce. Dans une première partie, l'étude décrit les grands flux commerciaux de porc et coproduits qui traversent l'UE. La deuxième partie précise l'évolution de la valorisation des produits échangés et démontre la complexité du marché intra-européen. Enfin, la dernière partie décrit les conséquences des perturbations récentes auxquelles ont dû faire face les filières porcines européennes.

## 1. MATERIEL ET METHODES

L'IFIP a mis en place un observatoire du commerce mondial des produits du porc. L'institut a construit une base de données des échanges d'import et d'export des produits porcins. Mise à jour mensuellement, cette base comprend les flux d'importation et d'exportation des porcs vivants, de viandes fraîches, réfrigérées et congelées, des lards et graisses, des abats et des produits transformés du porc.

Le suivi des échanges au niveau européen est réalisé grâce à la collecte des données publiées sur Eurostat. Pour la plupart des pays déclarants, les données remontent à 1988. Elles sont exprimées en tonnes, ou en têtes pour les porcs vivants, et en euros. Dans la mesure du possible, les données d'exportation sont utilisées en priorité car elles sont généralement plus précises et plus complètes en ce qui concerne les échanges de produits du porc. Dans ce cas, les importations d'un pays sont le cumul des exportations des pays fournisseurs ayant déclaré exporter vers ce pays.

Pour les échanges commerciaux au sein de l'UE, les données sont disponibles selon la nomenclature NC8 (nomenclature combinée à huit chiffres, classification tarifaire et statistique de la Communauté européenne). La nomenclature compte 56 codes douaniers pour les viandes et co-produits de porc, ainsi que pour les porcs vivants. Cette classification des produits, à huit positions, ne permet pas une analyse très fine des échanges. Une même ligne peut regrouper des produits aux caractéristiques techniques et de qualités très diverses. La problématique est d'autant plus prégnante pour la ligne douanière correspondant aux viandes désossées. La pièce d'origine (épaule, longe, poitrine ou jambon) ou encore le niveau d'élaboration (dégraissée, désossée, dénervée, démontée, découennée) ne sont pas précisés.

Pour analyser la relation entre pays fournisseur ou destinataire et type de produit échangé au sein de l'UE, le prix moyen des pièces correspondant au ratio entre la valeur et les volumes des exportations a été calculé. Ces prix moyens par pièce ne peuvent servir de référence directe aux prix de transaction entre opérateurs car ils ne représentent souvent pas la même qualité ou la même élaboration entre les pays ou les entreprises. Mais, selon les informations issues de l'industrie, les types de produits dans ces transactions sont relativement stables dans le temps. Ensuite, en convertissant les prix moyens obtenus en indices, il a été possible d'obtenir une indication de l'évolution volume/prix par pièce sur la période 2005 à 2020. La base 100 servant de référence correspond aux résultats moyens entre 2005 et 2007, afin de lisser d'éventuelles irrégularités de marché, telles que la poursuite de l'expansion de l'Union européenne.

## 2. LES GRANDS FLUX DANS L'UNION EUROPEENNE

### 2.1. Les types de produits échangés

Au sein même de la zone de libre-échange, plus de 7,8 millions de tonnes ont été échangées en 2020, pour une valeur de 21 milliards d'euros. Depuis 2019, une plus grande part des exportations des pays européens est dirigée à destination des marchés tiers : 17% de la production européenne en 2020, contre 10% en moyenne sur les années 2010 à 2018. Les pays asiatiques sont frappés depuis 2018 par une crise sanitaire sans précédent, la fièvre porcine africaine (FPA), qui engendre un important déficit d'offre en viande et coproduits de porc. Ces pays ont dû importer un maximum de volumes dans le monde.



L'ensemble des produits échangés d'origine porcine peuvent être regroupés en cinq catégories de produits : les animaux vivants, les viandes fraîches, réfrigérées et congelées (FRC), les produits transformés, les abats et les graisses. La catégorie des viandes FRC totalise la moitié des échanges intra-européens en valeur et les deux tiers en volume (Tableau 1). Les exportations de viandes FRC peuvent être décomposées en échanges de carcasses de porc, de pièces désossées, et en une catégorie qui regroupe les autres pièces avec os. Les produits transformés sont constitués de viandes salées, séchées ou fumées (SSF), des saucisses et des préparations. Ces produits, majoritairement à base de porc, peuvent en réalité être constitués d'un mélange de viandes et coproduits de plusieurs espèces, en particulier de volaille. Le commerce de ces produits élaborés représente 20,7% des volumes échangés au sein de la zone intra-UE et 34,8% de la valeur. Les exportations de co-produits, c'est-à-dire d'abats, lard et graisses, ont atteint 998 millions d'euros (4,5% du total). Le commerce de ces produits est relativement faible à l'échelle européenne. Les marchés tiers, en particuliers asiatiques, permettent de trouver un débouché et une valorisation pour ces produits peu demandés dans l'UE.

Après un important mouvement haussier jusqu'en 2013, le commerce de viandes FRC est depuis dix ans plutôt stable, alternant des phases de hausses et de baisse. En revanche, celui des produits transformés est en croissance continue sur la période étudiée. Entre 2000 et 2010, il a progressé de 61% en valeur pour une augmentation de 38% en volume. Les volumes de produits transformés échangés se développent peu depuis 2007 (Figure 1).

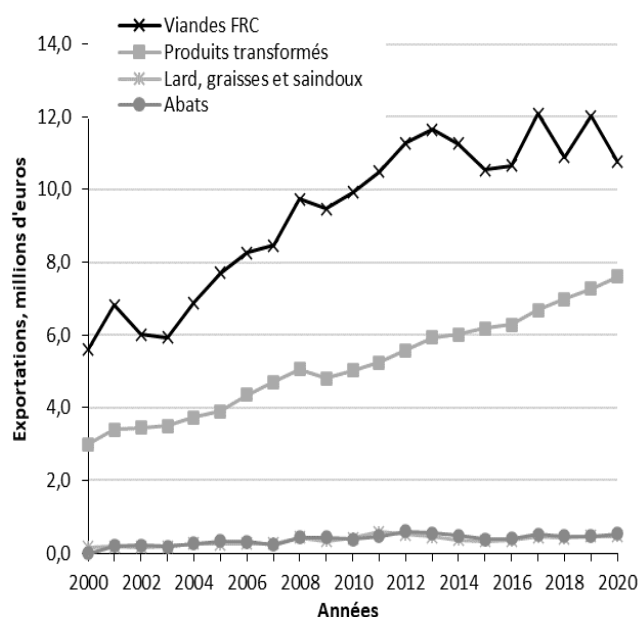


Figure 1 – Evolutions annuelles des échanges intra-UE, des principaux groupes de produit du porc (milliards d'euros)

Source : IFIP d'après données douanières Eurostat

Tableau 1 – Exportations de porcs et de produits de porc selon les grandes familles de produits en 2020

	Union européenne <sup>1</sup>			
	tonnes <sup>2</sup>	€ <sup>3</sup>	% vol <sup>4</sup>	% val <sup>5</sup>
Viandes	4 843	10 762	61,9	49,3
Produits transformés	1 622	7 608	20,7	34,8
Lard, graisses et saindoux	595	469	7,6	2,1
Abats	763	529	9,8	2,4
Total	7 823	21 837	100,0	100,0
<b>Allemagne</b>				
Viandes	1 206	2 863	15,4	59,8
Produits transformés	293	1 467	3,7	30,6
Lard, graisses et saindoux	166	111	2,1	2,3
Abats	278	184	3,6	3,8
Total	1 943	4 791	24,8	100,0
<b>Espagne</b>				
Viandes	854	2 188	73,5	65,5
Produits transformés	164	891	14,1	26,7
Lard, graisses et saindoux	49	60	4,2	1,8
Abats	96	65	8,3	2,0
Total	1 163	3 341	100,0	100,0
<b>Pays-Bas</b>				
Viandes	571	1 286	66,0	46,4
Produits transformés	187	567	21,6	20,4
Lard, graisses et saindoux	43	39	4,9	1,4
Abats	65	69	7,5	2,5
Total	865	2 774	100,0	100,0
<b>Danemark</b>				
Viandes	554	1 103	79,3	42,9
Produits transformés	96	344	13,7	13,4
Lard, graisses et saindoux	24	19	3,4	0,7
Abats	25	17	3,6	0,7
Total	699	2 568	100,0	100,0
<b>Belgique</b>				
Viandes	654	1 196	71,6	63,4
Produits transformés	129	478	14,2	25,3
Lard, graisses et saindoux	60	44	6,6	2,3
Abats	70	40	7,6	2,1
Total	913	1 886	100,0	100,0
<b>Pologne</b>				
Viandes	261	548	45,1	39,2
Produits transformés	230	778	39,8	55,7
Lard, graisses et saindoux	36	28	6,2	2,0
Abats	52	36	8,9	2,6
Total	578	1 398	100,0	100,0
<b>Italie</b>				
Viandes	38	77	15,6	5,7
Produits transformés	133	1 220	55,0	89,7
Lard, graisses et saindoux	59	53	24,5	3,9
Abats	12	10	4,9	0,7
Total	242	1 360	100,0	100,0
<b>France</b>				
Viandes	294	565	64,4	52,9
Produits transformés	49	290	10,7	27,2
Lard, graisses et saindoux	77	56	16,9	5,2
Abats	36	26	8,0	2,4
Total	456	1 069	100,0	100,0

<sup>1</sup>échanges intra-UE, y.c. Royaume-Uni ; <sup>2</sup>en milliers de tonnes ; <sup>3</sup>en millions d'euros ; <sup>4</sup>en % des volumes ; <sup>5</sup>en % de la valeur ; <sup>6</sup>en millions de têtes.

Source : IFIP d'après données douanières Eurostat

## 2.2. Les principaux exportateurs de l'Union européenne

Au sein de l'UE, quelques pays se sont démarqués et apparaissent désormais comme les grands exportateurs européens. Ces pays sont souvent excédentaires et le dynamisme de l'export stimule leur production. Depuis 20 ans, sept Etats membres vendent à eux seuls 85% des viandes et coproduits du porc sur le marché intra-européen, et les trois premiers réalisent plus de la moitié de ces transactions. Parmi ces principaux exportateurs, l'Allemagne, l'Espagne et la Belgique occupent les premières places du podium, suivis des Pays-Bas, du Danemark, de la Pologne et de la France.

La concurrence entre ces exportateurs est vive et, au fil des ans, certains réalisent d'importants gains de performance à l'export aux dépens de leurs voisins. La compétitivité du maillon de l'export est un réel enjeu pour les filières porcines européennes, gage d'une meilleure valorisation des carcasses. Tous produits cumulés, l'Allemagne s'est hissée à la première place des exportateurs dès 2003 et culmine depuis, loin devant les autres pays. En 2020, les exportations allemandes à destination de l'UE ont atteint 1,9 million de tonnes. L'Espagne, partie de très bas, se distingue seulement depuis 2014, et se place à la deuxième place, loin derrière l'Allemagne avec 1,1 million de tonnes exportées en 2020. Le Danemark, historiquement l'exportateur dominant de l'UE est dépassé depuis plusieurs années par ses voisins tels que la Belgique et les Pays-Bas. Enfin, côté français, les exportations sur le marché intra-européen sont stables à près de 500 000 tonnes, voire en légère baisse ces dernières années sous l'effet d'une redistribution des volumes vers les marchés tiers. Depuis 2014, les exportations françaises ont été dépassées par la Pologne (Figure 2).

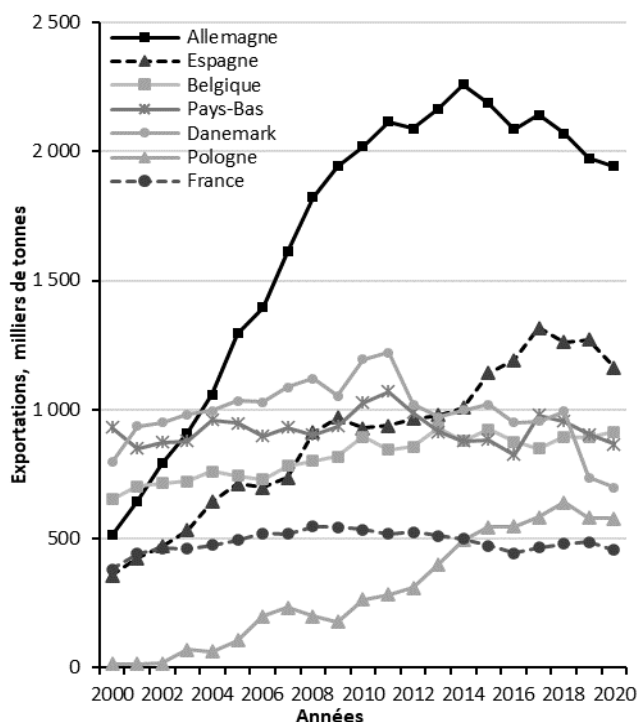


Figure 2 – Evolutions annuelles des exportations intra-UE, des sept principaux fournisseurs européens (milliers de tonnes)

Source : IFIP d'après données douanières Eurostat

## 2.3. Les principaux importateurs de l'Union européenne

A l'inverse des exportateurs, les débouchés à l'import sont beaucoup plus dispersés. Il faut plus de 16 pays pour atteindre 90% des importations totales de viandes et coproduits du porc sur le marché intra-européen. Les trois premiers importateurs

totalisent moins de 40% des achats au sein de l'UE (36% en 2020). L'Allemagne figure historiquement parmi ce top 3, avec plus de 1 million de tonnes annuelles importées. Ces volumes sont plutôt stables au fil du temps mais un décrochage net s'observe depuis deux ans. L'intensification de la demande des marchés tiers a entraîné un important recul des disponibilités européennes. L'Allemagne se place ainsi au cœur du commerce intra-européen depuis de nombreuses années, du fait de sa position géographique centrale, mais aussi des nombreux flux commerciaux qui transitent de part et d'autre de ses frontières.

Sur les mêmes niveaux d'importation, l'Italie est aussi un débouché important pour nombreux producteurs en Europe. A la troisième place du classement, se positionne le Royaume-Uni avec un peu moins de 1 million de tonnes importées. Compte tenu de l'importance de ce débouché pour les exportateurs européens, le Brexit est un véritable enjeu. La France, à la sixième place du classement depuis une dizaine d'années, importe entre 500 000 et 600 000 tonnes par an. Le solde commercial français sur le marché intracommunautaire en volume est en tendance à l'équilibre (Figure 3).

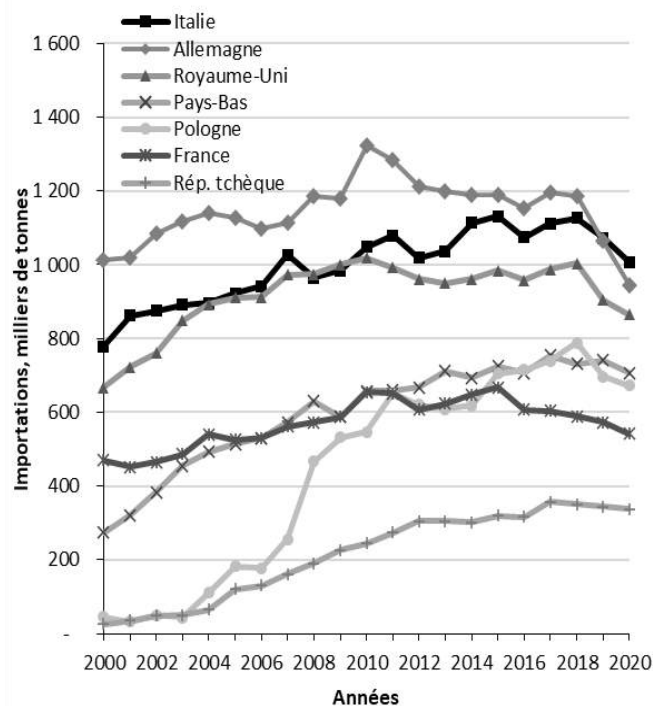


Figure 3 – Evolutions annuelles des importations intra-UE des sept principaux acheteurs européens (milliers de tonnes)

Source : IFIP d'après données douanières Eurostat

## 3. LES SPECIFICITES DANS LA VALORISATION DES PRODUITS ECHANGES

### 3.1. Importance des viandes fraîches dans le commerce

Les flux commerciaux des groupes de produits entre pays de l'UE masquent des échanges de produits spécialisés ou fortement élaborés, selon la destination, les pays ou les entreprises. Ils dépendent des habitudes de consommation du pays, des besoins industriels ou de l'insuffisance de l'approvisionnement régional ou national. Cela peut s'expliquer par une baisse de la production, par le développement industriel dû à une bonne position concurrentielle ou une demande accrue du marché.

Selon le pouvoir d'achat des consommateurs et, de plus en plus, selon la disponibilité de main d'œuvre pour découper et

transformer les viandes, ainsi que son coût, les pays achètent des produits plus ou moins élaborés : des carcasses et pièces avec os jusqu'aux muscles découpés. Ces flux peuvent également évoluer avec le développement économique d'un pays, l'importation de carcasses laissant progressivement la place à l'achat de découpes.

Dans la plupart des cas, les transactions commerciales intra-communautaires ont lieu entre les abattoirs et l'industrie de transformation. Au sein de l'UE, les deux tiers de ces flux de viande, carcasses et pièces, sont constitués de viande fraîche et un tiers de viande congelée. Certains pays se profilent de plus en plus en proposant sur les marchés internationaux une large gamme de produits transformés, généralement à base sur leurs spécialités culinaires historiques. Leur part augmente lentement en volume et en valeur. La distribution est généralement approvisionnée par les abattoirs nationaux, ce qui est principalement lié à la durée de conservation et la fréquence élevée de livraison. De plus en plus de supermarchés annoncent que les viandes fraîches sont d'origine régionale/locale, considérée par les consommateurs comme un critère de qualité.

### 3.2. Meilleure valorisation des pièces de fabrication

Depuis 2005, le commerce des découpes fraîches et désossées s'est nettement développé, tandis que toutes les autres découpes affichent une tendance stable, voire en léger recul. Au cours des deux dernières années, la tendance à la hausse des produits désossés a été interrompue en raison de la forte augmentation de la demande sur le marché mondial. Ainsi, de nombreux pays, et en particulier les entreprises ayant accès à la Chine, ont alors orienté une grande partie de leur flux intra-UE vers le marché mondial.

L'analyse des prix moyens permet de constater que l'ensemble des prix des pièces de découpe échangées sont soumis aux mêmes fluctuations annuelles, avec des amplitudes assez proches (Figure 4). Cette approche permet d'observer une certaine stabilité dans la valorisation des pièces désossées au cours du temps. Le prix moyen de ces produits reste proche du prix moyen de base. Les longes et les jambons suivent la même tendance. Ces trois groupes de produits de viande fraîches (désossées, jambons et longes) n'ont pas connu une amélioration de leur valorisation sur le marché intra-UE au cours des 15 dernières années. En revanche, les coupes généralement destinées à l'industrie de transformation, autrement dit « les pièces de fabrication », les poitrines, les épaules, les parties avant et les mélanges (ou trimmings), ont connu une nette augmentation de leur valeur sur la période analysée. La grande gagnante est la poitrine avec une hausse de 44% entre 2005-2007 et 2020. Les parties-avant (+39%) suivent cette tendance, ainsi que les épaules (+31%) et les mélanges (+24%). Pour les épaules et les poitrines, le gain de valorisation a débuté à partir des années 2010. Les carcasses montrent aussi une augmentation en valeur (+11%) bien que leur commerce contredise la tendance à la recherche croissante vers la valeur ajoutée au travers d'échanges de produits de plus en plus élaborés. Le problème de la disponibilité de main d'œuvre dans le secteur de la viande peut être une explication. En effet, les flux de carcasses s'observent de l'ouest vers l'est de l'UE, où les travailleurs sont présents avec des salaires plus faibles.

## 4. LE COMMERCE RECEMMENT PERTURBE

### 4.1. Impacts liés à la crise de Covid-19

Apparue au deuxième trimestre de l'année 2020, la crise sanitaire de la Covid-19 a affecté en partie les échanges commerciaux au sein de la zone intra-communautaire. Les incidences sont hétérogènes selon les entreprises, leurs débouchés et les types de produits exportés ou importés. En lien avec la perte du débouché de la restauration hors domicile pendant de nombreux mois, les marchés nationaux se sont recentrés et les importations ont significativement reculé. En comparaison à 2019, les importations totales en 2020 se sont repliées de 6%. Historiquement, il s'agit de la plus forte baisse annuelle. Parmi les plus gros importateurs de l'UE, les importations italiennes ont chuté de 6%, celles de l'Allemagne de 11% et celles du Royaume-Uni de 4%.

Parmi la typologie des produits importés, tous les flux n'ont pas été impactés de la même manière par le ralentissement du commerce intra-européen. Les ventes de viandes FRC ont accusé un recul de 9% en un an tandis que les pièces les moins élaborés (avec os) ont le plus décroché (-11%). Les pièces désossées ont affiché un repli de 7% en un an. A l'inverse, les échanges de produits transformés sont restés quasi-stables.

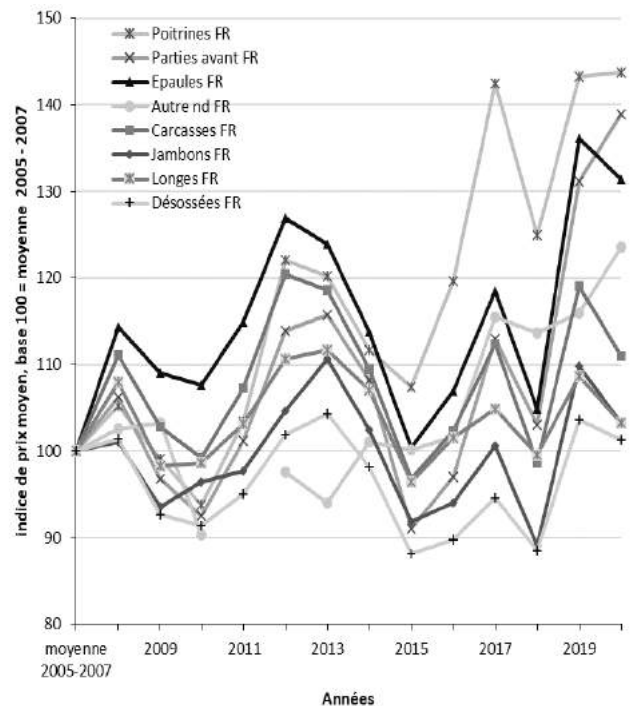


Figure 4 – Evolution du prix moyen des pièces en indice (base 100 = 2005-2007)

Source : IFIP d'après données douanières Eurostat

### 4.2. Arrivée de la fièvre porcine africaine en Allemagne

Le commerce intra-européen a aussi été impacté par un événement majeur en septembre 2020 : l'arrivée de la FPA en Allemagne. L'épidémie a entraîné la fermeture quasi-immédiate des marchés asiatiques aux produits allemands générant un excédent de produits allemands dans l'UE. La nature des flux a été modifiée le temps que le marché retrouve son équilibre. L'UE a absorbé une grande quantité de l'excédent allemand. Les exportations allemandes ont grimpé fin 2020 à destination de l'Italie, de l'Espagne et d'autres pays d'Europe de l'Est.

Côté importations, les volumes achetés par l'Allemagne en provenance du Danemark, de Belgique, des Pays-Bas ou de Pologne sont en forte baisse au fil des mois. Par ailleurs, les effets de la FPA en Allemagne se mêlent aux conséquences de la crise de Covid-19 où la consommation reste perturbée par l'intensification des mesures sanitaires relatives à la Covid-19.

#### 4.3. Sortie du Royaume-Uni de l'Union européenne

L'accord sur la sortie du Royaume-Uni de l'UE a été conclu in extremis fin 2020. Une des mesures phare est le maintien d'une zone de libre-échange entre les marchés britannique et européen, sans instauration de droits de douane et sans limite des volumes de viandes de porc échangés. Troisième pays importateur de l'UE, le Royaume-Uni est un marché d'importance. L'autosuffisance du marché britannique n'est pas atteinte et près de 60% des besoins doivent être importés. Les pays de l'UE sont les principaux fournisseurs du marché (94%), avec en tête le Danemark (19%), l'Allemagne (17%) et les Pays-Bas (16%). Au-delà d'être un débouché en volumes, le Royaume-Uni est aussi un débouché à forte valeur. Plus de la moitié des importations sont constituées de produits transformés, principalement du bacon (20%) et des saucisses (18%). Sur ce segment de marché, la concurrence entre fournisseurs européens et nord-américaine pourrait être croissante dans les années à venir. En revanche, sur le segment des viandes (43% des volumes totaux), les importations du Royaume-Uni sont majoritairement sous forme de produits frais (77%), surtout de pièces désossées. Compte tenu du temps de transport, les produits frais en provenance des Etats-Unis, du Canada et du Brésil pourront difficilement substituer l'origine européenne. Par ailleurs, les consommateurs britanniques restent attentifs aux conditions d'élevage au regard de l'utilisation des antibiotiques et du bien-être animal, dont doivent répondre tous les fournisseurs. Ainsi, l'accord impactera probablement peu les exportateurs européens dans les premières années.

Toutefois, malgré le maintien de la zone de libre-échange, la fluidité du commerce entre le Royaume-Uni et l'UE pourrait être ponctuellement impactée. Les flux du commerce pourront être soumis à de potentiels différends commerciaux et des formalités administratives additionnelles. Les produits échangés feront l'objet de contrôles douaniers supplémentaires, d'exigences en matière d'étiquetage, etc. Ces dispositions pourront entraîner des ralentissements dans l'acheminement des marchandises et des surcoûts tout au long des chaînes d'approvisionnement. En définitive, avec ce nouvel accord les filières porcines européennes continueront d'approvisionner le marché britannique.

## CONCLUSION ET ENSEIGNEMENTS

Le commerce international est indispensable pour une meilleure valorisation des carcasses de porc. Malgré la stabilisation des échanges en volumes depuis 2010, le commerce intra-communautaire de la viande et des coproduits de porc évolue sans cesse, selon les origines, les destinations et les produits.

Historiquement, les courants de produits vers diverses destinations s'ajustaient surtout selon le niveau de production, la situation économique et les changements de consommation. Ces deux dernières années, les crises sanitaires de Covid-19 et de la FPA s'y sont ajoutées. En Allemagne, la FPA a entraîné la perte de débouchés internationaux majeurs et le marché européen est devenu presque le seul refuge pour les exportateurs allemands. Cette situation a entraîné une baisse significative des prix dans l'ensemble des filières porcines européennes. Les entreprises allemandes ont pu améliorer leur position concurrentielle au sein de l'UE, contraignant les autres pays exportateurs de l'UE de proposer des produits à des prix inférieurs afin de maintenir leur clientèle. Par ailleurs, la Covid-19 et les contraintes sociétales ont stimulé la demande pour une offre plus locale. Néanmoins, la forte demande sur le marché mondial a pu compenser la perte de valorisation d'un certain nombre de produits.

Malgré la multiplication des accords entre entreprises, le marché de la viande reste fortement dominé par le principe de l'offre et de la demande. Les flux de produits sont donc loin d'être fixes, ainsi que les prix. Dans un paysage changeant, les entreprises sont sans cesse à la recherche de la meilleure valorisation de la carcasse. L'analyse de la valeur des pièces de fabrication montre clairement sa progression par rapport à la période 2005-2007. Les pièces de fabrication ont gagné en importance dans l'équilibre de la valeur de la carcasse. Pour aller plus loin, et éventuellement se faire une meilleure idée des prix des pièces de viande sur le marché européen, ainsi que pour identifier une éventuelle saisonnalité de chacune des pièces, il semble intéressant de répéter la même démarche en étudiant ces données du commerce à un pas de temps mensuel.

La base de données du commerce international de produits du porc, gérée par l'Ifip, permet de réaliser de nombreuses études. Cet article illustre les différents niveaux d'observation possibles et les nombreuses possibilités d'approfondissements.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'interprofession INAPORC pour son soutien financier permettant un suivi régulier des échanges commerciaux dans le monde.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barberis E., Freddi D., Giammetti R., Polidori P., Teobaldelli D. Viganò E., 2020. Structural characteristics of the European pork value chain: a quantitative analysis, Meat-up Ffire. Fairness, freedom and industrial relations across Europe: up and down the meat value chain, 286 p.
- Chatellier V., 2021. International trade in animal products and the place of the European Union: main trends over the last 20 years, Animal - The international journal of animal biosciences, 12 p.
- Ifip. 2020. Panorama du commerce international du porc. Site internet Ifip.
- Trégaro Y., Djaout F., 2010. L'évolution du commerce intracommunautaire de viande de porc au cours des dix dernières années. Journées Rech. Porcine, 42, 65-70.
- Van Ferneij J-P., Raynaud F., Rieu M., 2012. Commerce international du porc : les principaux courants et leurs évolutions, Journées Rech. Porcine, 44, 229-234.
- Wieck C., Dries L., Martinez-Gomez V., Kareem O. I., Rudloff B., Santeramo F. G., Sliwinski R., 2021. European and Member State Policy Responses and Economic Impacts on AgriFood Markets due to the COVID-19 Pandemic, n° 938-2021-1067, 76 p.

# Impact du vieillissement des éleveurs sur l'organisation et le confort de travail en élevage porcin

## Etude exploratoire

Caroline DEPOUDENT et Jeanne LE MEVEL

Chambres d'agriculture de Bretagne, 24 route de Cuzon, CS 26 032, 29 322 Quimper Cedex, France

caroline.depoudent@bretagne.chambagri.fr

### Impact of ageing of farmers on work organisation and comfort on pig farms – an exploratory study

More than half of pig farmers are over 50 years old. Ageing is accompanied by an increase in occupational risks (e.g. accidents, illness) and changes in physical and recovery capacities. Ageing people develop organisational knowledge that can be applied given enough time. To identify the variety of effects of ageing on work within a team, and possible compensation strategies used by over-50s, an exploratory survey was given to 13 workers in conventional pig farming (6 over-50s and 7 under-50s). Most of the workers surveyed suffered from musculoskeletal disorders that made it difficult for them to perform certain tasks. Washing and moving animals were described as more arduous with age, since they require physical strength, and some people are afraid of having an accident. In contrast, monitoring and analysis tasks were described as easier, as workers benefit from their experience. The presence of an over-50 in a group is perceived mostly as an asset, with the ability to pass knowledge on to younger people. Differences in pace between the younger and older workers can sometimes be felt, due to a difference in physical or organisational capacity. The survey did not reveal any compensation strategy. This does not exclude that there are some, but they are probably associated with organisational knowledge. These should be explored by observation.

## INTRODUCTION

En France, en 2019, 55% des agriculteurs étaient âgés de 50 ans et plus (Chardon *et al.*, 2020). Cette proportion est similaire en élevage porcin, où plus de la moitié des éleveurs bretons et normands sont âgés de plus de 50 ans (Le Bars, 2021 ; Collet, 2019). Or, le vieillissement en élevage peut s'accompagner d'une réduction des capacités physiques, et donc avoir un impact sur la manière de réaliser son travail (méthodes, temps de travail, etc.) et le ressenti des actifs par rapport à leur épanouissement au travail. La Chambre d'agriculture de Bretagne a donc réalisé une étude exploratoire sur l'impact du vieillissement sur les conditions de travail dans les élevages porcins bretons. Dans cet article, nous focaliserons sur la population des actifs de plus de 50 ans.

## 1. BIBLIOGRAPHIE

Dans le milieu agricole, le vieillissement des actifs est souvent étudié sous l'angle de la prévention des risques professionnels. En effet, si la fréquence des accidents de travail diminue avec l'âge, ceux-ci sont souvent plus graves, avec des arrêts de travail plus longs et des séquelles plus importantes (Tissot et Bastide, 2012). De même, les maladies professionnelles concernent majoritairement les plus de 50 ans : en 2017, 55% des chefs d'exploitation victimes d'une maladie professionnelle avaient

entre 50 et 59 ans (MSA, 2019). Ces éléments expliquent la réalisation de campagne de sensibilisations à destination des agriculteurs les plus âgés en Irlande ou en Australie.

De manière plus globale, l'analyse du vieillissement au travail montre les contraintes, mais aussi les atouts de la progression en âge. Les manifestations de l'âge sont variables d'une personne à l'autre, suivant des facteurs individuels et environnementaux. Le vieillissement s'accompagne d'une diminution des capacités physiques (vue, équilibre, force, etc.), visible ou non selon l'environnement de travail (Kreutz *et al.*, 2004) et d'une dégradation des capacités de récupération (Bielec *et al.*, 2011). Mais le vieillissement s'accompagne aussi du développement de savoir-faire organisationnels qui permettent de s'économiser physiquement ou de concentrer son attention sur les opérations les plus complexes ou les moins maîtrisées. L'expression de ces savoirs nécessite toutefois que le salarié vieillissant dispose de marges de manœuvre lui permettant de s'organiser (Kreutz *et al.*, 2004). Par rapport aux actifs plus jeunes, la performance au travail est souvent moins bonne d'un point de vue quantitatif, mais meilleure du point de vue qualitatif (Faurie *et al.*, 2008).

## 2. MATERIEL ET METHODES

L'objectif de cette étude est d'identifier, en élevage porcin conventionnel, la diversité des effets du vieillissement sur le

travail de l'actif concerné et des autres personnes de l'exploitation, ainsi que d'éventuelles stratégies de compensation mises en œuvre individuellement ou collectivement.

Cette étude exploratoire n'a pas vocation à être représentative de l'activité de l'ensemble des actifs de plus de 50 ans en élevage porcin. Elle vise à identifier les questions à approfondir dans une prochaine étude. Elle a été réalisée dans des exploitations participant à l'étude sur le temps de travail en élevage porcin (Depoudent *et al.*, 2022). Lorsque les élevages enquêtés comptaient au moins un actif de plus de 50 ans, un questionnaire était soumis à / aux actif(s) de plus de 50 ans et un autre questionnaire à chacun des actifs de moins de 50 ans, puis retourné par courrier. Le questionnaire portait sur l'évolution de l'activité depuis le début de la carrière en élevage de porc, le fonctionnement du collectif de travail, les activités jugées difficiles et les perspectives professionnelles. Parmi les personnes ayant reçu un questionnaire, 6 de plus de 50 ans (4 éleveurs et 2 salariés, tous de sexe masculin) et 7 de moins de 50 ans ont répondu à l'enquête.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Contenu du travail et évolution des aptitudes

Selon les enquêtés, certaines tâches deviennent plus difficiles avec l'âge, notamment le lavage et les déplacements d'animaux. Un éleveur explique qu'il est plus stressé qu'avant lors du tri des charcutiers ; il estime avoir moins de réflexes que par le passé et craint d'être bousculé. Cinq des six éleveurs disent souffrir de Troubles Musculo-Squelettiques (TMS) les handicapant lors du travail (lavage, castration).

A contrario, certaines tâches deviennent, selon les enquêtés, plus faciles, notamment les tâches de surveillance (au quotidien, autour des mise bas, lors des détections des chaleurs). L'ensemble des enquêtés dit détecter plus facilement les problèmes. Un éleveur explique : « *J'ai une attitude plus cool devant les problèmes, moins dramatique. J'analyse davantage la situation.* »

Interrogés sur les stratégies d'adaptation développées au cours de leur carrière, les éleveurs ont cité le travail en groupe et le port d'Equipements de Protection Individuels (EPI).

#### 3.2. Travail en collectif

##### 3.2.1. Partage de connaissances

Les actifs de plus de 50 ans enquêtés disent avoir l'occasion de partager leurs savoirs avec les personnes plus jeunes de

l'exploitation. Cet échange est également perçu par les actifs de moins de 50 ans. Tous déclarent que travailler avec une personne plus âgée représente une opportunité et considèrent bénéficier de l'expérience de ces actifs sur la gestion de l'élevage et le bricolage.

##### 3.2.2. Rythmes de travail

La majorité des répondants (3 « plus de 50 ans » sur 6, et 6 « moins de 50 ans » sur 7) dit ne pas percevoir de différence de rythme entre les actifs de plus et de moins de 50 ans. Les personnes qui perçoivent une différence mettent en avant deux éléments : d'une part, une moindre capacité physique des plus de 50 ans, perçue comme limitante lors de tâches comme le lavage ou l'autoconstruction, et d'autre part, une impression d'être plus efficace avec l'âge, car les gestes techniques et l'organisation sont mieux maîtrisés.

## 4. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les données recueillies dans le cadre de cette enquête exploratoire confirment les éléments de la bibliographie. Dans notre échantillon, le vieillissement s'accompagne d'une diminution des capacités physiques des éleveurs, liée à la fois au milieu de travail (les TMS sont probablement d'origine professionnelle) et à l'évolution personnelle (diminution des réflexes). Cette diminution des capacités physiques semble n'être source que d'une gêne limitée. Toutefois, il est probable que des personnes plus handicapées ont abandonné ce métier ou ont réorienté leur activité dans l'exploitation.

Le développement de savoir-faire avec l'âge est également largement abordé, avec des compétences en termes d'observation des animaux et de détection des problèmes. Il serait intéressant de travailler sur la transmission de ces savoirs dans les équipes, d'autant que les plus de 50 ans semblent manifester une forte motivation pour cela.

Enfin, l'enquête n'a pas permis d'identifier de stratégie de compensation innovante. Ces savoirs étant souvent inconscients, il n'est pas surprenant que les enquêtés ne les aient pas exprimés. Un travail d'observation croisée de situations de travail entre personnes d'âges différents permettrait sans doute d'en recueillir.

## REMERCIEMENTS

Merci aux personnes ayant accepté de participer à cette enquête. Cette étude a été réalisée avec le soutien financier du PRDA Bretagne.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bielec P., Beaumont D., Knispel P., Lombart N., Velut P., Meyer J.P., Titon I., Fougrouze F., Claudon L., 2011. Bien vieillir au travail. INRS Eds, Paris, 24 p.
- Chardon O., Jauneau Y., Vidalenc J., 2020. Les agriculteurs : de plus en plus nombreux et de plus en plus d'hommes. Insee Focus, n°212.
- Collet C., 2019. Emploi et formation en production porcine en Normandie. Chambre Régionale d'agriculture de Normandie. 32 p.
- Depoudent C., Calvar C., Le Mevel J., Lelièvre J.Y., Walbecque C., 2022. Temps de travail dans les élevages de porcs bretons conventionnels et biologiques : évolution et facteurs de variation. Journées Rech. Porcine, 54, 37-42.
- Faurie I., Fraccaroli F., Le Blanc A., 2008. Age et travail : des études sur le vieillissement au travail à une approche psychosociale de la fin de carrière professionnelle. Le travail humain, 71(2), 137-172.
- Kreutz G., Vallet P., Gilles M., Meyer J.P., 2004. Vieillesse, santé, travail : état des lieux et perspectives de prévention. Documents pour le Médecin du Travail, 97, 69-75.
- Le Bars M.I., 2021. Stabilité des installations aidées en Bretagne. Réussir Porc – Tech Porc, 285, 12.
- MSA, 2019. Les statistiques des risques professionnels des non-salariés et des chefs d'exploitation agricole. 23 p.
- Tissot C., Bastide J.C., 2012. Accidents du travail – Quelles particularités chez les seniors ? Hygiène et sécurité du travail, 229, 15-24.

# Étudiants ingénieurs agronomes et professionnels des productions animales : une vision partagée des compétences à développer ?

Justine ABARNOU (1, 2), Zoé COURBOULAY (2), Jocelyne FLAMENT (1, 2), Ana GUINTARD (2), Yannick LE COZLER (1, 2),  
Clémence ORSINI (2), Lucile MONTAGNE (1, 2), Camille SCHRECK (2), Séverine PAROIS (1, 2)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France

(2) Institut Agro – Agrocampus Ouest, 65 rue de Saint-Brieuc, 35000 Rennes, France

yannick.lecozler@agrocampus-ouest.fr

Avec la collaboration des étudiants de la spécialisation Sciences et Ingénierie en Productions animales (SIPA) de l'Institut Agro

## Students in agricultural engineering school and professionals in animal sciences: a shared vision about skills expected in the future?

To answer current and future agronomic challenges, an increasing number of students want to play an active role in the evolution of their academic training. Observation-oriented students from Institut Agro (France) specialized in agricultural and animal sciences thus surveyed current students about their educational expectations and young professionals about the match between their education and their professional integration. Students (BSc and MSc levels) from Institut Agro (n = 42) and professionals in animal sciences who had graduated from Institut Agro (less than five years ago (n = 52) or more than five years ago (n = 89)) were surveyed. Both students and professionals emphasised the importance of interdisciplinary knowledge and soft skills developed during their education. Some skills appeared to be essential, such as "adaptation capacity" (12.6% of the respondents), "project management" (12.1%) and "multiple skills" (8.6%). These elements agree with the abilities required by professional recruiters. Graduated professionals mentioned as important the skills "team work", "autonomy" and "capacity for synthesis" more than students did ( $P < 0.05$ ). Solutions such as work-study programmes or the relocation and/or extension of farm internships could make up for some shortcomings mentioned by respondents (e.g. limited fieldwork, business knowledge).

## INTRODUCTION

Les évolutions du climat et des attentes sociétales, mais aussi les « révolutions » permanentes en agronomie, notamment dans le domaine du numérique, impliquent des adaptations continues des formations proposées aux étudiants, dont celles des élèves ingénieurs agronomes. Comme la plupart des jeunes de leur génération, ceux-ci aspirent à être acteurs et forces de proposition, y compris dans leur formation, pour faire face aux changements annoncés, à l'image de Greta Thunberg. Afin de mieux cerner leurs attentes quant à leur formation actuelle ou future, mais aussi de l'adéquation ou non de celle-ci face à ces défis, 17 étudiants de la spécialisation Sciences et Ingénierie en Productions Animales (SIPA) de l'Institut Agro – Agrocampus Ouest, ont enquêté leurs pairs (en formation ou en activité), afin de recueillir leurs avis, avec un focus particulier sur les formations en sciences et productions animales.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Du 4 au 15 janvier 2021, 142 élèves ingénieurs et étudiants de masters, de niveau L3 à M2, scolarisés à l'Institut Agro (Agrocampus Ouest, Rennes et Montpellier Sup Agro) et 141 professionnels diplômés d'Agrocampus Ouest en Sciences et Productions Animales, depuis moins (n = 52) ou depuis plus

de 5 ans (n = 89) (réseaux professionnels) ont répondu à une enquête. Celle-ci, basée sur un questionnaire de type semi-ouvert, a été réalisée à l'aide du logiciel Lime Survey (version 4.1.13). Trois questionnaires distincts ont été utilisés, comprenant respectivement 70, 67 et 64 questions pour les publics étudiants, professionnels < 5 et professionnels > 5.

La partie commune concernait la présentation des enquêtés. Les autres parties portaient sur leurs ressentis vis-à-vis des modalités pratiques de la formation (durée des enseignements, répartition dans le temps, pédagogie employée) et sur son contenu (compétences d'intérêt ou manquantes). Les étudiants ont été interrogés sur les compétences qu'ils souhaiteraient développer ou voir développer. Les professionnels ont été interrogés sur celles acquises lors de leur formation initiale ou par la suite, ainsi que les manques de celle-ci. Les analyses statistiques et graphiques ont été réalisées grâce aux logiciels Excel et R (version 4.0.3). Les résultats ont été analysés en utilisant un modèle linéaire généralisé comprenant les compétences en variable réponse (suivant une loi binomiale) et le groupe d'enquêtés en effet fixe. La significativité entre deux groupes d'enquêtés a été estimée à l'aide des p-values issues d'un test de  $\chi^2$ .

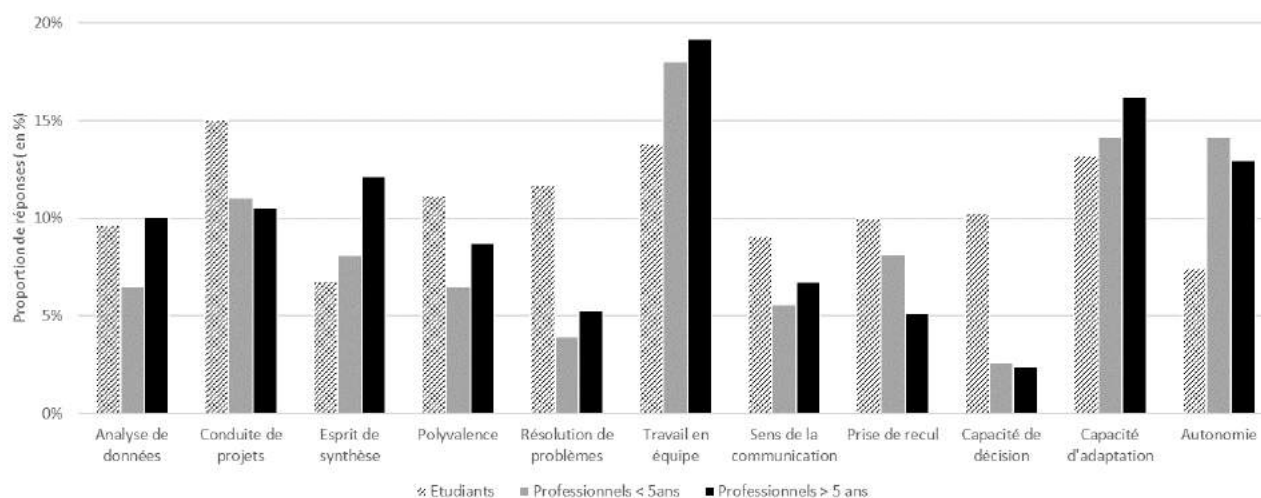
## 2. RESULTATS ET DISCUSSION



Les enquêtés avaient la possibilité de sélectionner différentes compétences préalablement identifiées (28 réponses possibles) et seules les plus citées sont présentées (Figure 1, Tableau 1). Ces compétences mentionnées par les différents publics correspondent en grande partie aux compétences attendues d'un élève ingénieur au sortir de sa formation (Blandin *et al.*,

2007). Parmi les plus citées, on note le travail en équipe, l'autonomie, la prise de recul ou encore la conduite de projets.

Aucune différence sur les compétences à acquérir n'est observée entre les professionnels de plus et de moins de cinq ans (Tableau 1).



**Figure 1** – Les 11 principales compétences acquises ou souhaitées au cours de la formation les plus choisies par les répondants (142 étudiants, 52 professionnels de moins de 5 ans et 89 de plus de 5 ans)

Les compétences « travail en équipe », « résolution de problèmes », « esprit de synthèse », « analyse de données » et « autonomie » sont plus citées pour les professionnels que pour les étudiants ( $P < 0,05$ ). A l'inverse, le « sens de la communication » et la « capacité de décision » sont plus cités par les étudiants que par les professionnels (Tableau 1).

Les professionnels et les étudiants partagent le même avis sur l'importance de la « capacité d'adaptation » et de la « polyvalence » chez l'ingénieur agronome. La « prise de recul » est une aptitude primordiale selon les étudiants et les jeunes diplômés, alors qu'elles sont peu évoquées par les professionnels de plus de 5 ans ( $P < 0,001$  et  $P = 0,06$  respectivement). Ces différences peuvent sans doute s'expliquer par l'absence de recul des étudiants sur leur formation et les compétences qu'ils y acquièrent.

**Tableau 1** – Divergences d'opinion sur les compétences essentielles d'un ingénieur agronome entre les panels : étudiants ( $n = 142$ ), professionnels de moins de 5 ans ( $n = 52$ ) et professionnels de plus de 5 ans ( $n = 89$ ).<sup>1</sup>

Catégorie de compétence	Compétences	Étudiants – Professionnels < 5 ans	Étudiants – Professionnels > 5 ans	Professionnels < 5 ans – Professionnels > 5 ans
Techniques	Analyse de données	<b>0,04</b>	<b>&lt; 0,001</b>	0,16
	Conduite de projet	0,5	<b>0,006</b>	0,13
	Esprit de synthèse	<b>0,04</b>	<b>&lt; 0,001</b>	0,16
	Polyvalence	0,09	0,19	0,58
	Résolution de problèmes	<b>0,03</b>	<b>&lt; 0,001</b>	0,16
Comportementales	Travail en équipe	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	0,99
	Sens de la communication	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	0,66
	Prise de recul	0,18	<b>&lt; 0,001</b>	<b>0,06</b>
	Capacité de décision	<b>&lt; 0,001</b>	<b>&lt; 0,001</b>	0,80
	Capacité d'adaptation	0,92	0,39	0,57
	Autonomie	<b>&lt; 0,001</b>	<b>0,004</b>	0,30

<sup>1</sup> Les résultats ont été analysés en utilisant un modèle linéaire généralisé et en associant une loi binomiale à la variable réponse (le groupe étudié a cité ou non la compétence). La significativité entre deux groupes a été estimée à l'aide des p-values issues d'un test de chi<sup>2</sup> et en fixant un seuil de significativité de 0,05.

## RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Blandin B., Guillot M.N., Ouarrak B., Pallado G., Wiart C., 2007. Socialisation et développement des compétences de l'élève ingénieur. Contribution au colloque "Compétences et socialisation", Montpellier, France.

# ORIGAMI, un consortium interdisciplinaire pour identifier les freins et les leviers au développement de la production porcine biologique

*Justine FAURE et Lucile MONTAGNE*  
*PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France*

*[justine.faure@agrocampus-ouest.fr](mailto:justine.faure@agrocampus-ouest.fr)*

*Avec la collaboration de l'ensemble des membres du consortium*

## **ORIGAMI, an interdisciplinary consortium to identify obstacles to and mechanisms for development of organic pig production**

French pig production under organic farming (OF) specifications has increased recently (83% more sows and 103% more slaughtered volume from 2015 to 2019); however, it represents only 1.7% of the total sow herd in France (Agence Bio, 2019). ORIGMI (ORganic for pIG fArMing) is a consortium funded by INRAE's Métabio meta-program for 18 months (2021-22). This network of INRAE, IFIP, ADIV and ITAB partners is composed of approximately 50 attendees, bringing together a variety of professions (research, teaching, training and development), disciplines (biology, animal science, agronomy, food processing, economic and human sciences), levels of approach (from the animal to sectors and territories) and geographical situations (metropolitan France and overseas). Work of the consortium is based on the hypothesis that pig farming should be a driving force for the development of OF by permitting optimization and closure of biogeochemical cycles at multiple levels of organization. It aims to identify the obstacles to and mechanisms for development of OF pig farming in order to ask shared research questions. The first step was to collect the expectations and needs of the participants, and then to develop a tool to facilitate knowledge sharing and acquisition of a common culture on organic pork. Interviews with stakeholders of the pork sector (organic, conventional or mixed; historical or new) are nearly finished. Several narratives converge regarding the obstacles and mechanisms related to technical (buildings, feed, health), economic (carcass value, price) and social (dialogue between stakeholders, communication with consumers) dimensions.

## **INTRODUCTION**

La production porcine française sous cahier des charges agriculture biologique (AB) s'est développée récemment (+83% de truies et +103 % de volume abattu entre 2015 et 2019). Elle ne représente toutefois que 1,7% du cheptel total de truies (Agence Bio, 2019). Origami (ORganic for pIG fArMing) est un consortium financé par le méta-programme Métabio d'INRAE pour une durée de 18 mois (2021-22). Ce réseau composé d'une cinquantaine de partenaires INRAE et enseignement supérieur agricole, IFIP, ADIV et ITAB met en synergie une diversité de métiers (recherche, enseignement, formation et développement), de disciplines (biologie, zootechnie, agronomie, transformation, économie et sciences humaines), de niveaux d'approche (de l'animal aux filières et territoires) et de situations géographiques (métropole et outre-mer). Il repose sur l'hypothèse que l'élevage de porcs est un moteur de développement de l'AB en favorisant l'optimisation et le bouclage des cycles à différents niveaux d'organisation. Il a pour objectif d'identifier les freins et les leviers au développement de l'élevage porcin AB pour expliciter des questions de recherche partagées. Les objectifs de cet article sont de présenter la démarche de travail et le fonctionnement du réseau ainsi que les premiers freins et leviers identifiés.

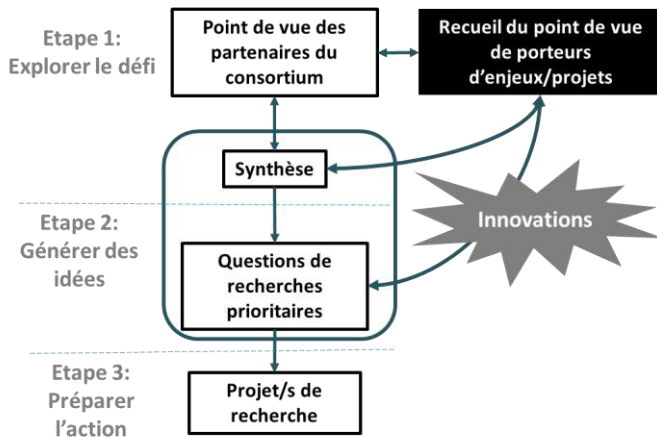
## **1. MATERIEL ET METHODES**

### **1.1. Faire vivre le consortium**

L'animation du consortium part du postulat que le bon fonctionnement d'un projet porté par un consortium repose essentiellement sur la motivation de ses membres à s'impliquer aux différentes étapes. Dans la mesure où la motivation repose en partie sur la satisfaction des besoins individuels et sociaux, nous avons organisé une réunion plénière à distance (classe virtuelle permettant des échanges oraux et écrits interactifs) en janvier 2021 pour identifier les apports de chacun (utilisation de photo-langage), recueillir les attentes et besoins (recueil de mots-clés via le logiciel Klaxoon) de tous les participants. Cette séance plénière a permis de réfléchir collectivement aux méthodes et aux outils adaptés pour répondre aux attentes des participants et pour faire vivre le consortium, à distance.

### **1.2. Démarche globale du projet**

La démarche globale du projet reprend le principe de la méthode CPS (*Creative Problem Solving*) (Lubart, 2001). Elle est basée sur trois étapes et présente l'avantage de fournir des résultats exploitables à chacune d'entre elles (Figure 1).



**Figure 1** – Schéma fonctionnel des étapes et action du consortium ORIGAMI (janvier 2020 – juin 2022)

### 1.3. Entretiens d’acteurs des filières porcines

Sept thèmes croisant les niveaux d’approche, les disciplines et couvrant l’ensemble des enjeux de l’élevage ont été identifiés, grâce à l’expertise des membres du consortium. Pour chaque thème, une problématique et une hypothèse ont été formulées. A titre d’exemple, le thème « Evolution récente des filières et des marchés du bio » renvoie aux niveaux élevages et filière et à la problématique suivante : Comment les acteurs AB et mixtes se structurent et participent au développement du porc bio ? Pour chaque thème, nous avons identifié deux à quatre acteurs à interviewer. Ces acteurs travaillent pour les filières porcines (biologiques, conventionnelles ou mixtes ; historiques ou nouveaux au sein de structure de taille variée). Des entretiens semi-directifs, conduits par deux personnes, sont réalisés à distance, enregistrés et ouverts à l’ensemble des participants du consortium. Ces entretiens débutent par la présentation d’un exemple concret de réalisation et se poursuivent par des questions ouvertes permettant l’analyse de cet exemple (moyens et ressources, difficultés, facilités, résultats...). En fin d’entretien, il est demandé aux personnes interviewées de répondre à la question : selon vous, quels sont les trois principaux freins et leviers au développement du porc bio en France ? Chaque citation est ensuite caractérisée. Les données des entretiens sont en cours d’analyse. Seule une illustration des premiers résultats est rapportée ici.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Méthodes et outils pour faire vivre le consortium

Les 92 mots-clefs présentant les attentes des participants traduisent à la fois le souhait de chacun d’apporter des éléments, selon ses compétences et ses disponibilités, pour échanger et co-construire un projet multidisciplinaire et innovant, mais aussi un besoin plus individuel d’enrichir sa vision et son réseau. Les 68 mots-clefs recueillis pour les besoins identifient la mise en place d’outils pour faciliter la connaissance mutuelle, les échanges d’informations, d’idées et le travail de co-construction.

L’animation du collectif repose sur un comité de pilotage construit sur la base du volontariat et la recherche de la diversité de thèmes d’expertise. Tous les membres du consortium sont sollicités pour participer aux différentes étapes suivant leur motivation et leur disponibilité. Un trombinoscope contenant les expertises de chacun a été mis en place. Un « ABCdaire » présentant les principales caractéristiques et spécificités de l’élevage de porc AB est en cours de réalisation. Il permettra le partage de connaissance et la création d’une culture commune partagée sur la production porcine biologique. Enfin, la création d’un espace Moodle en ligne dédié et interne au consortium permet le partage d’informations.

### 2.2. Premiers résultats

Treize séances d’entretiens de 1h30 à 2h15 ont déjà été réalisées sur les 16 prévues et ont permis de recueillir les témoignages de 19 personnes. Les séances, ouvertes à l’ensemble des membres du consortium, ont pu être suivies par 8 à 14 participants. Parmi les freins sont souvent cités les coûts de production aboutissant à un prix des produits porcins AB plus élevé pour le consommateur par rapport aux produits conventionnels. Différents leviers ont été cités pour lever ce frein de nature économique. Ces leviers peuvent être 1) technico-économiques par la mise en place de stratégies individuelles ou collectives visant à réduire les coûts de production (bâtiments, alimentation), à augmenter la valeur ajoutée des produits, à valoriser l’ensemble de la carcasse ; 2) sociologiques : communication et explicitation de la construction du prix aux consommateurs, éducation, évolution des habitudes alimentaires vers des portions moindres mais de meilleures qualités ; 3) logistiques : proximité et agilité des outils d’abattage et de transformation et 4) politiques : investissements publics, projets alimentaires territoriaux (PAT) et Loi #Egalim. Ces leviers intègrent différents niveaux d’organisation que sont l’animal (composition de la carcasse), l’élevage (maîtrise des coûts), les filières (diversité et coexistence des modèles d’élevage, d’organisation des filières et des débouchés : magasins, bouchers, restauration hors domicile) et les territoires (présence des acteurs, liens entre production et consommation).

## CONCLUSION

Le consortium ORIGAMI permet de faire dialoguer les acteurs de la recherche et du développement autour de la thématique du développement du porc bio en France. Les entretiens réalisés favorisent le dialogue avec des acteurs variés des filières porcines AB et conventionnelles. Les premiers résultats indiquent une convergence des freins entre les différents acteurs et d’une diversité de leviers pour lever un même frein. Ces stratégies sont spécifiques des contextes mais impliquent en général des collectifs multi-acteurs. Elles mettent en évidence des besoins de recherche-action pluridisciplinaire pour travailler certains leviers. L’analyse complète des résultats des entretiens est en cours. Elle sera poursuivie par l’identification de questions de recherche permettant d’aller plus loin dans la compréhension et l’activation des leviers.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence Bio, 2019. Dossier de presse : les chiffres 2018 du secteur Bio. 21 p.
- Lubart T.I, 2001. Models of the Creative Process: Past, Present and Future, Creativity Research Journal, 13, 3-4, 295-308.

# Impact économique d'un rationnement alimentaire ou d'une carence en acides aminés pendant l'engraissement des porcs

Gérard DAUMAS et Alexia AUBRY

IFIP – Institut du porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

[gerard.daumas@ifip.asso.fr](mailto:gerard.daumas@ifip.asso.fr)

## Economic assessment of feed restriction or amino-acid deficiency during the pig fattening period

The profitability of pig farms is influenced greatly by feed efficiency and carcass grading. The aim of this study was to assess the economic impact of two feeding strategies during the fattening period, compared to that of a control (T), which was *ad libitum* feeding with no amino-acid deficiency. The first strategy was *ad libitum* feeding with a three-phase sequence limited in amino acids (CA). The second strategy was restricted feeding at 85% of the *ad libitum* without amino-acid deficiency (RA). Each of the three feeding strategies was applied to 48 gilts and 48 barrows. Technical performances were estimated using a general linear model. Then, the feed conversion ratio (FCR) was standardized to the range of 30-120 kg. The lean meat percentage (LMP) was standardized to 120 kg. These criteria were input into a simulator (GT-DIRECT, "Calculate" module) to assess the economic feeding margin of each strategy. Two extreme economic contexts were considered using two assumptions for fattening feed price (HIGH and LOW). The CA margin was lower than that of T, by € 3.4 and € 5.6 per pig produced for the LOW and HIGH feed price contexts, respectively. The predominant effect was that of feed price, which penalized feed cost due to an FCR higher by 0.18 units. The RA margin was also lower than that of T, by € 0.7 and € 2.8 per pig produced for the LOW and HIGH feed price contexts, respectively. The higher FCR (+0.17 kg/kg) induced an increase in feed cost which was compensated only partially by the increase in output due to the better LMP ratio (+1.5 percentage point). Thus, meeting amino-acid needs and mastering feed restriction remain essential.

## INTRODUCTION

La rentabilité des élevages de porcs est très dépendante de l'efficacité alimentaire des animaux et du classement des carcasses, impactant leur rémunération. Un des objectifs du projet SCANALI (2018-2021) est de quantifier l'impact de plusieurs stratégies alimentaires sur les performances technico-économiques des porcs. Cette étude vise à évaluer l'incidence d'un rationnement alimentaire ou d'une carence en acides aminés pendant la phase d'engraissement sur le résultat économique de l'élevage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Caractéristiques des conduites alimentaires

Deux conduites alimentaires, à volonté avec une séquence alimentaire triphase limitante en acides aminés (CA) ou rationnée à 85% de l'à volonté sans carence (RA), ont été comparées à un témoin (T : à volonté sans carence). Ces conduites ont été détaillées par Quiniou *et al.* (2021). Chacune des trois modalités alimentaires a été appliquée à 48 femelles et 48 mâles castrés issus de Piétrain, élevés par case de six. Le dispositif factoriel 3 x 2 a été équilibré sur deux bandes, l'une en hiver et l'autre en été.

### 1.2. Performances techniques et économiques

#### 1.2.1. Performances techniques en engraissement

Les performances considérées dans la comparaison étaient les poids vifs en début et fin d'engraissement, l'Indice de Consommation (IC) technique et le Taux de Muscle des Pièces

(TMP). Ces performances ont été estimées par un modèle linéaire général, dont l'unité statistique était la case, comprenant en effets fixes la conduite alimentaire, le sexe, la bande, leurs interactions et le bloc intra bande. Les analyses ont été mises en œuvre par la procédure GLM du logiciel SAS (SAS, v9.4, Inst. Inc. Cary, États-Unis).

Pour permettre les comparaisons, l'IC technique en engraissement observé pour les trois conduites alimentaires a été standardisé sur une même phase de croissance entre 30 et 120 kg (Aubry *et al.*, 2021). Le TMP a également été corrigé pour être ramené à un poids de sortie d'engraissement de 120 kg. Le correctif (-0,8 point de TMP par 10 kg de poids vif supplémentaire) a été estimé par régression sur les données de cet essai. Les performances retenues sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1** – Paramètres techniques retenus pour chaque conduite alimentaire

Performances en engraissement	Témoin (T)	Carencée (CA)	Rationnée (RA)
IC 30-120kg, kg/kg	2,57	2,75	2,74
TMP <sup>1</sup> , %	60,9	60,4	62,4

<sup>1</sup>TMP corrigé pour un poids de sortie de 120 kg

#### 1.2.2. Critères économiques

Deux contextes économiques extrêmes ont été envisagés en considérant deux hypothèses de prix d'aliment (HAUT et BAS), à partir du prix de l'aliment IFIP (aliment acheté en engraissement) en moyenne mensuelle des prix hebdomadaires pour les 20 dernières années, à savoir :

- Prix Aliment<sub>HAUT</sub> = 290 €/T (mars 2013)
- Prix Aliment<sub>BAS</sub> = 152 €/T (septembre 2005)

Le prix intermédiaire entre ces deux valeurs a également été retenu :

- Prix Aliment<sub>INTER</sub> = 221 €/T.

### 1.3. Simulation économique

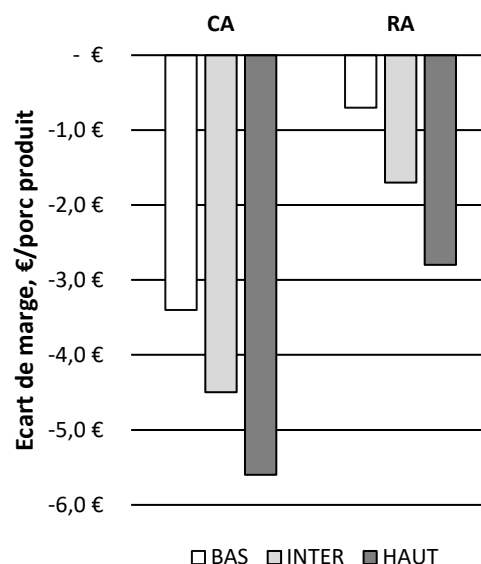
L'impact économique des conduites CA et RA par rapport au témoin a été estimé à l'aide du module « Calculer » de GTDIRECT (Aubry *et al.*, 2014). Ce simulateur établit l'écart de marge sur coût alimentaire et renouvellement entre deux situations d'élevage. Dans le cadre de cette simulation, le simulateur permet de mettre en évidence l'écart de produit lié à la vente des porcs charcutiers, en lien avec l'écart de TMP observé (Tableau 1), et d'autre part l'écart de charge alimentaire, impacté par l'écart d'IC retenu entre les conduites alimentaires, et le contexte du prix de l'aliment.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

La conduite CA est directement pénalisée par une charge alimentaire supérieure, entre +2,5 et +4,7 €/porc produit, du fait d'un IC plus élevé (+0,18 unité par rapport à T), dont l'impact s'accroît quand le prix de l'aliment augmente. Par ailleurs, avec un TMP inférieur (-0,5 point), le produit de CA est dégradé par rapport à T (-0,9 €/porc produit) et contribue également à réduire la marge. Ces deux éléments défavorables au traitement CA provoquent une baisse marquée de la marge, comprise entre -3,4 et -5,6 € par porc produit ; les valeurs extrêmes correspondent respectivement aux contextes de Prix Aliment<sub>BAS</sub> et Prix Aliment<sub>HAUT</sub> (Figure 1).

Avec un TMP supérieur de 1,5 point par rapport à T, le traitement RA bénéficie d'une meilleure valorisation des carcasses, laquelle permet d'augmenter le produit de la vente des porcs (+1,7 €/porc produit). Ce gain ne compense cependant pas l'augmentation de la charge alimentaire, du même ordre que celle du traitement CA puisque les IC sont similaires. Finalement, l'impact sur la marge du traitement RA est également négatif, entre -0,7 et -2,8 €/porc produit selon le contexte de prix de l'aliment (Figure 1).

Quel que soit le contexte économique, la conduite carencée et la conduite rationnée génèrent une perte de marge sur coût alimentaire et renouvellement par rapport au témoin. La conduite CA dégradant à la fois le TMP et l'IC, sa marge est toujours inférieure à celle de la conduite RA. Dans le contexte de prix de l'aliment intermédiaire, la perte de marge par rapport à T est trois fois plus importante dans la conduite CA que dans la conduite RA. Elle atteint -4,5 €/porc produit, soit une perte de marge annuelle de plus de 20 000 € pour un élevage moyen de 200 truies présentes.



**Figure 1** – Ecart de marge pour chaque conduite alimentaire (CA-Carence ; RA-Rationnée) par rapport au témoin, selon le contexte du prix de l'aliment<sup>1</sup>

<sup>1</sup>BAS : Prix Aliment<sub>BAS</sub> ; INTER : Prix Aliment<sub>INTER</sub> ; HAUT : Prix Aliment<sub>HAUT</sub>

## CONCLUSION

Les résultats de cette étude confirment l'intérêt d'appliquer des conduites alimentaires non carencées, pour permettre aux animaux d'optimiser leurs performances techniques, notamment en termes d'efficacité alimentaire, et de maximiser ainsi la marge de l'élevage. Ils soulignent également les atouts d'une conduite rationnée pour améliorer le classement des carcasses et leur rémunération, mais ne montrent pas ici de gain au niveau de la charge alimentaire.

Dans un contexte économique actuel de prix de l'aliment proche du niveau haut retenu ici, lequel risque de se maintenir à moyen terme, les conduites alimentaires permettant de maîtriser l'IC restent à privilégier pour éviter une dégradation trop marquée des résultats économiques des éleveurs. L'intérêt de couvrir les besoins en acides aminés et d'éviter un rationnement trop sévère reste primordial.

## REMERCIEMENTS

Cette communication est issue du programme SCANALI, qui a bénéficié d'une subvention du Ministère chargé de l'agriculture (fonds CASDAR géré par FranceAgriMer). La responsabilité du Ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubry A., Correge I., Badouard B., Salaün Y., Vila T., Joisel F., 2014. Développement d'un simulateur pour évaluer l'incidence économique de variations des performances techniques en élevage de porcs. Journées Rech. Porcine, 46, 253-254.
- Aubry A., Badouard B., Querne M., Quiniou N., 2021. Modélisation de la croissance et de la consommation des porcs pour l'actualisation des critères standardisés en Gestion Technico-Economique. Journées Rech. Porcine, 53, 103-104.
- Quiniou N., Renaudeau D., Dumas G., 2021. Influence du rationnement et de la couverture des besoins en acides aminés sur les performances du porc en croissance selon les conditions climatiques. Journées Rech. Porcine, 53, 169-174.



# ALIMENTATION ANIMALE





# Effet de la supplémentation en acides gras oméga-3 du régime sur le profil en oxylipines du lait de truie et quelques paramètres immunologiques des porcelets

*Eudald LLAURADÓ-CALERO, Núria TOUS, David TORRALLARDONA, Enric ESTEVE-GARCIA, Rosil LIZARDO*

*IRTA-Nutrition Animale, Centre Mas de Bover, Ctra de Reus-El Morell km 3,8, 43120 Constantí, Espagne*

*Rosil.lizarDO@irta.es*

## **Effet de la supplémentation en acides gras oméga-3 du régime sur le profil en oxylipines du lait de truie et quelques paramètres immunologiques des porcelets**

Les acides gras (AG) omega-3 (n-3) à chaîne longue (EPA, DHA) sont les précurseurs des eicosanoïdes et semblent avoir des propriétés immunomodulatrices ou anti-inflammatoires. L'objectif de cette étude a été d'incorporer des AGPI n-3 dans les régimes de la truie et voire leurs effets sur la production d'oxylipines dans le colostrum et le lait, et sur des paramètres immunologiques des porcelets. Trente-six truies multipares ont été groupées par blocs (n = 18) après confirmation de la gestation, puis ont été assignées au hasard à un des deux traitements expérimentaux : alimentation avec un régime témoin contenant des matières grasses d'origine animale ou avec un régime enrichi en AGPI n-3 grâce à l'utilisation d'huile de poisson. Des échantillons de colostrum ont été prélevés à la mise-bas et les porcelets pesés afin d'en sélectionner quatre qui ont été suivis pendant l'allaitement. Des échantillons de lait et de sang ont été également prélevés au sevrage sur les truies et les porcelets. La concentration en AGPI n-3 et en résolvines E2/3 et 17-HDHA, deux puissantes oxylipines anti-inflammatoires synthétisées à partir des précurseurs EPA et DHA, augmente dans le colostrum et dans le lait avec la supplémentation en AGPI n-3 des régimes. En revanche, la concentration en IL-10 et TNF- $\alpha$  du lait est réduite. La concentration en IgM et IL-6 dans le sang des truies du groupe AGPI n-3 et celle des IgG, IL-1 $\beta$  et IL-10 des porcelets de ces truies étaient plus élevées au sevrage. En conclusion, l'enrichissement des régimes des truies en AGPI n-3 exerce une influence majeure sur des paramètres immunologiques des truies et des porcelets jusqu'au sevrage.

## **Effect of dietary supplementation with omega-3 fatty acids on the oxylipin profile of sow milk and some immune parameters of piglets**

Omega-3 (n-3) long-chain (EPA, DHA) polyunsaturated fatty acids (PUFA) are precursors of eicosanoids and seem to have immunomodulatory or anti-inflammatory properties. The aim of this study was to incorporate n-3 PUFA in sow diets and evaluate their effects on the production of oxylipins in colostrum and milk, and on some immunological parameters of piglets. Thirty-six multiparous sows were grouped into blocks (18) at the beginning of gestation and assigned at random to one of two experimental treatments: a control diet (with animal fat) and a n-3 PUFA enriched diet (with fish oil replacing animal fat). At farrowing, colostrum samples were collected, and four piglets in each litter were identified for monitoring during lactation. At weaning, milk samples were obtained, and blood samples were taken from sows and piglets. Diet supplementation with n-3 PUFA increased the n-3 PUFA concentration in colostrum and in milk, as well as those of resolvin E2/3 and 17-HDHA, which are powerful anti-inflammatory oxylipins synthesized from the precursors EPA and DHA. At weaning, n-3 PUFA supplementation also resulted in reduced concentrations of IL-10 and TNF- $\alpha$  in milk, increased IgM and IL-6 in sow blood, and increased IgG, IL-1 $\beta$ , and IL-10 in piglet blood. In conclusion, enrichment of sow diets with n-3PU FA has a major influence on immunological parameters of sows and piglets at weaning.

## INTRODUCTION

L'utilisation de truies hyperprolififiques en production porcine intensive est devenue une pratique courante. Cependant, l'augmentation de la prolificité des truies est corrélée avec une diminution du poids vif (PV) des nouveau-nés, une réduction de la survie des plus faibles et donc une augmentation de la mortalité périnatale (Theil *et al.*, 2014). Par ailleurs, passer du lait maternel à une alimentation solide à base de céréales et protéagineux lors d'un sevrage précoce fait que de nombreux porcelets ne s'adaptent pas au changement et deviennent anorexiques. Ce jeûne entraîne une atrophie des villosités de la muqueuse intestinale et une réponse inflammatoire conséquente. Pour pallier cela, des antimicrobiens promoteurs de la croissance ont été incorporés dans les aliments. Cependant, leur retrait a conduit à rechercher de nouvelles stratégies nutritionnelles qui puissent atténuer le syndrome du post-sevrage.

Les acides gras polyinsaturés (AGPI) à chaîne longue modifient le profil des oxylipines et la synthèse des cytokines, ayant donc une influence sur le statut immunitaire de l'individu (Calder, 2010). Les oxylipines sont le produit d'une ou plusieurs étapes d'oxydation des AGPI et sont les principaux médiateurs de leurs effets dans l'organisme (Gabbs *et al.*, 2015). Cependant, les AGPI des familles n-6 ou n-3, ainsi que les oxylipines qui en dérivent, semblent avoir des effets différents. Alors que ceux de la famille n-6 seraient précurseurs des oxylipines pro-inflammatoires, ceux de la famille n-3 joueraient plutôt un rôle anti-inflammatoire (Calder, 2010). Considérant que les oxylipines sont des médiateurs lipidiques impliqués dans la physiologie néonatale (Wu *et al.*, 2016), leur présence dans le colostrum puis dans le lait (Robinson *et al.*, 2017) suggère qu'elles pourraient exercer une influence majeure sur le statut immunitaire du nouveau-né. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'impact de l'incorporation d'huile de poisson riche en AGPI n-3, majoritairement l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA), dans le régime alimentaire des truies sur la composition du colostrum et du lait (profil d'AG, des oxylipines, des immunoglobulines et des cytokines) et quelques paramètres immunitaires (immunoglobulines et cytokines) du plasma des truies et porcelets au sevrage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et dispositif expérimental

Après l'insémination, 36 truies multipares ont été sélectionnées, puis groupées dans 18 blocs selon leur rang de portée et PV. Intra-bloc, chaque truie a été assignée au hasard soit à un régime témoin contenant des matières grasses d'origine animale, soit à un régime enrichi en AGPI n-3 en provenance de l'huile de poisson. A la mise-bas, après la naissance du premier porcelet, des échantillons de colostrum ont été prélevés à partir de plusieurs tétines, puis regroupés dans un seul échantillon par animal. Les porcelets ont été pesés à la naissance et les portées ont été homogénéisées intra-traitement à 12 porcelets dans les 24 heures après mise-bas. A partir du 11<sup>ème</sup> jour de lactation, des aliments de 1<sup>er</sup> âge contenant des sources de matières grasses similaires aux régimes de leurs mères ont été distribués aux porcelets. Des échantillons de lait et de sang ont été prélevés chez les truies et sur quatre porcelets par portée lors du sevrage.

**Tableau 1** – Composition centésimale et chimique (mesurée) des régimes alimentaires des truies

	Gestation		Lactation	
	Témoin	AGPI <sup>1</sup>	Témoin	AGPI
<b>Ingrédients (g/kg)</b>				
Céréales <sup>2</sup>	723,4	715,9	508,5	498,8
Tourteaux <sup>3</sup>	220,6	222,7	422,3	425,3
Graisse animale <sup>4</sup>	15,0	-	30,0	15,0
Huile de poisson <sup>5</sup>	-	21,5	-	21,5
Min, Vit., AA, autres <sup>6,7</sup>	41,0	40,9	39,5	39,5
<b>Nutriments (/kg)</b>				
EM (MJ)	12,4	12,5	13,7	13,6
Lysine digestible (g)	56,0	56,0	92,0	92,0
Matières grasses (g)	38,6	37,2	56,7	59,2
<b>AG (mg/g gras)</b>				
C16:0	146,4	129,6	135,5	128,7
C16:1	11,4	18,7	11,2	17,7
C18:0	37,9	22,3	47,7	39,4
C18:1 n-9	199,2	129,6	241,6	201,8
C18:2 n-6	292,9	256,4	237,3	217,0
C18:3 n-3	20,1	21,3	14,5	15,3
C20:4 n-6	0,9	2,6	1,5	2,5
C20:5 n-3	ND	26,7	ND	19,0
C22:5 n-3	0,5	3,5	0,6	1,9
C22:6 n-3	0,5	23,2	0,5	16,7
AGS	196,8	182,0	196,9	192,4
AGMI	227,5	173,1	272,2	243,4
AGPI	317,4	338,3	257,6	276,8
AGPI n-6	296,2	263,6	241,6	222,8
AGPI n-3	21,3	75,7	16,0	54,0

<sup>1</sup> EM, AG, AGS, AGMI, AGPI : énergie métabolisable, acides gras saturés, monoinsaturés et polyinsaturés.

<sup>2</sup> Un mélange de maïs (20,0, 20,0%), d'orge (44,3, 43,5%) et du son de blé (8,0, 8,0%) en gestation et uniquement du maïs (50,8, 49,9%) en lactation.

<sup>3</sup> Un mélange de respectivement en gestation, puis en lactation de tourteaux de soja 48 (40,6, 42,7 et 24,0, 24,1%), de tournesol 37 (10,0, 10,0 et 4,0, 4,0%), de pulpes de betterave (8,0, 8,0 et 6,0, 6,0%) et de coques de soja uniquement en lactation (8,2, 8,4%).

<sup>4</sup> Graisse Sysfeed (Sysfeed SLU, Granollers, Espagne) : acide myristique, palmitique, palmitoléique, stéarique, oléique, linoléique et linoléique, respectivement à 1,5, 18,0, 2,0, 14,0, 28,0, 12,0 et 6,0 %.

<sup>5</sup> Huile de poisson Lipomega® (V&S Asociados, Madrid, Espagne) à 63,4 % de matières grasses : acide myristique, palmitique, palmitoléique, stéarique, oléique, linoléique, linoléique, arachidonique, EPA et DHA, respectivement à 4,8, 14,9, 3,8, 12,3, 2,7, 1,2, 0,7, 7,9 et 6,9 %.

<sup>6</sup> Un mélange d'acides aminés synthétiques (lysine, thréonine, méthionine, tryptophane), de carbonate de Ca, phosphate bicalcique, sel, bicarbonate de Na, de prémélange de vitamines et minéraux, et d'antioxydant Noxyfeed (BHT + gallate de propyle + acide citrique ; Itpsa, Barcelone, Espagne).

<sup>7</sup> Le prémélange de vitamines et minéraux (DEX Ibérica, Tarragona, Espagne) apporte par kg/aliment : vitamine A, 10000 UI ; vitamine D3, 1600 UI ; vitamine E, 15 mg ; vitamine B1, 1 mg ; vitamine B2 2,7 mg ; vitamine B6, 1,8 mg ; vitamine B12, 15 µg ; vitamine K3, 1 mg ; pantothénate de Ca, 11 mg ; acide nicotinique, 15 mg ; acide folique, 1 mg ; biotine, 100 µg ; chlorure de choline, 200 mg ; Fe (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), 150 mg ; I (CaI<sub>2</sub>), 0,5 mg ; Co (2CoCO<sub>3</sub>·3Co(OH)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O), 0,5 mg ; Cu (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), 10 mg ; Mn (MnO), 40 mg ; Zn (ZnO), 100 mg ; Se (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>), 0,25 mg.

### 1.2. Régimes expérimentaux

Les aliments de gestation et de lactation témoin contenaient, respectivement, 15 et 30 g/kg de matières grasses d'origine animale (Sysfeed SLU, Granollers, Espagne) (Tableau 1). Le régime expérimental à AGPI n-3 résultait de la substitution totale (dans l'aliment de gestation) ou partielle (dans l'aliment

de lactation) de la graisse animale par une source d'huile de poisson (Lipomega®; V&S Asociados, Madrid, Espagne). Tous les régimes ont été formulés selon les recommandations Fedna. La ration allouée était limitée à un maximum de 3 kg/jour pendant la gestation et augmentait progressivement après la mise-bas jusqu'à ce que l'ingestion *ad libitum* soit atteinte en lactation. L'aliment 1<sup>er</sup> âge témoin pour les porcelets sous leur mère contenait 30 g/kg de matières grasses d'origine animale. Ceux-ci ont été complètement remplacés par de l'huile de poisson dans le régime AGPI n-3. Ces régimes (données non présentées) ont été également formulés selon les recommandations Fedna et distribués aux porcelets selon leur appétit. Pour éviter le gaspillage, les quantités allouées étaient ajustées quotidiennement.

### 1.3. Analyse quantitative des acides gras

Les lipides des échantillons du colostrum et du lait ont été extraits avec du chloroforme-méthanol et transméthylés avec du trifluorure de bore. Les AG ont été déterminés par chromatographie gazeuse, en utilisant une colonne capillaire et un détecteur à ionisation de flamme, et des esters méthyliques d'acides gras (Mix C4-C24) ont été utilisés en tant qu'étalons externes. Parmi les échantillons de colostrum et de lait, six ont été choisis au hasard pour l'analyse des oxylipines. Au total, 65 échantillons ont été analysés par spectrométrie de masse triple quadripôle selon la procédure de Ostermann (2017) décrite par Llauradó-Calero *et al.* (2021). L'identification des oxylipines à partir de standards était limitée car toutes ne sont pas disponibles dans le commerce. En conséquence, une tentative d'identification a été réalisée à partir des données publiées sur leur comportement chromatographique ainsi que par confirmation en spectrométrie de masse (Astarita *et al.*, 2014 ; Ostermann, 2017). Des données sur les oxylipines majoritaires

dans les matrices étudiées publiées récemment ont été également utilisées afin de confirmer leur identification (Bruins *et al.*, 2013 ; Mavangira *et al.*, 2015). Pour les quantifier, des courbes d'étalonnage linéaire ont été construites à partir d'étalons commerciaux disponibles et en utilisant une correction par étalon interne sélectionné par des critères de comportement chromatographique.

Pour les composés ne disposant pas de standard commercial, une courbe d'étalonnage d'un composé similaire a été utilisée (Serhan *et al.*, 2006 ; Isobe *et al.*, 2012). Pour plus de détails, il faut se reporter à la description de Llauradó-Calero *et al.* (2021). La détermination des immunoglobulines (IgG, IgA et IgM) et des cytokines interleukine 1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ), interleukine 6 (IL-6), interleukine 10 (IL-10) et facteur de nécrose tumorale  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) dans les échantillons du colostrum, du lait et du sang a été réalisée à l'aide de kits ELISA commerciaux du type sandwich (Llauradó-Calero *et al.*, 2021).

### 1.4. Analyse statistique

L'effet du traitement alimentaire et du bloc de PV sur les différentes variables a été testé par analyse de variance avec la procédure PROC MIXED (SAS 9.4, SAS Inst., Cary, NC), en utilisant la truie comme unité expérimentale. Les effets du poids vif et de la parité des truies ont été également testés au préalable puis éliminés car non significatifs ( $P > 0,05$ ). Une transformation logarithmique ( $\log_{10}(X + 1)$ ) a été appliquée aux valeurs de concentration des oxylipines. Lorsque la limite de détection n'était pas atteinte, les valeurs ont été remplacées par la valeur positive minimale de chaque variable, divisée par 5. Les valeurs suspectées d'être aberrantes ont été testées au préalable avec le test de Kolmogorov-Smirnov et extraites de la base de données si la valeur de la probabilité ( $P$ ) était hautement significative.

**Tableau 2** – Contenu en lipides et composition en acides gras du colostrum et du lait des truies selon le lot<sup>1</sup>

	Colostrum				Lait			
	Témoin	AGPI n-3	ETR	P	Témoin	AGPI n-3	ETR	P
<b>Lipides (g/kg)</b>	64,0	57,0	19,0	NS	74,0	71,0	19,0	NS
<b>AG (mg/g gras)</b>								
C16:0	135,3	153,0	40,3	NS	152,2	151,6	45,5	NS
C16:1	15,9	20,4	5,0	0,05	47,1	49,0	17,6	NS
C18:0	35,4	39,2	12,1	NS	21,0	19,8	6,70	NS
C18:1 n-9	181,2	188,2	70,0	NS	185,9	178,4	63,0	NS
C18:2 n-6	132,1	147,6	41,2	NS	76,2	74,5	24,4	NS
C18:3 n-3	7,0	9,8	2,6	0,01	3,9	4,3	1,5	NS
C20:4 n-6	7,5	5,0	2,2	0,01	2,7	1,9	1,0	0,05
C20:5 n-3	0,1	8,2	1,6	< 0,001	0,1	3,2	0,8	< 0,001
C22:5 n-3	2,3	9,9	2,2	< 0,001	0,6	1,6	0,8	0,01
C22:6 n-3	0,70	11,7	2,7	< 0,001	0,4	3,8	1,0	< 0,001
<b>AGS</b>	184,5	212,0	56,0	NS	196,7	196,5	57,4	NS
<b>AGMI</b>	217,9	232,1	69,2	NS	252,0	246,4	80,1	NS
<b>AGPI</b>	158,6	202,3	51,5	0,05	88,6	94,3	29,1	NS
<b>AGPI n-6</b>	147,6	160,5	44,3	NS	83,2	83,8	26,9	NS
<b>AGPI n-3</b>	11,0	41,8	8,52	< 0,001	6,36	14,7	3,46	< 0,001

<sup>1</sup> AG, AGS, AGMI, AGPI : acides gras saturés, monoinsaturés et polyinsaturés. Modèle avec l'effet du traitement (P-value indiquée) et du bloc de PV ; ETR : écart-type du résidu.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Composition en acides gras

La source de matières grasses incorporée dans l'aliment de la truie ne modifie pas le contenu en lipides que ce soit du colostrum ou du lait de la truie (Tableau 2). Par ailleurs, la teneur des principaux AG, que ce soit saturés, monoinsaturés, voire AGPI n-6 n'est pas significativement affectée. En revanche, celle des AGPI n-3 est très fortement affectée ( $P < 0,001$ ), conséquence de l'apport d'huile de poisson dans l'aliment. Les teneurs en acide linoléique (C18:3), EPA (C20:5), DPA (C22:5) ou DHA (C22:6) augmentent également très significativement ( $P < 0,001$ ) chez les truies nourries avec le régime riche en AGPI n-3 tandis que la teneur en acide arachidonique (C20:4), au contraire, a été réduite ( $P < 0,01$ ). En conséquence, le contenu en AGPI totaux ( $P < 0,05$ ) augmente dans le colostrum, mais pas dans le lait des truies nourries avec des AGPI n-3. Même si les valeurs absolues de la concentration en AG du colostrum et du lait diffèrent, l'effet du traitement alimentaire est assez semblable, en particulier pour l'enrichissement en AGPI n-3.

**Tableau 3** - Oxylipines quantifiées (pg/mL) dans le colostrum<sup>1,2</sup>

	Témoïn	AGPI n-3	ETR	P
17,18-DiHETE	1,6	6,5	0,10	0,01
5(s)-HEPE	ND	21,4	0,07	<0,001
8-HEPE	ND	15,3	0,12	0,01
11-HEPE	4,1	34,0	0,26	0,05
12(s)-HEPE	10,4	78,3	0,39	0,05
15(s)-HEPE	ND	174,9	0,22	0,01
18-HEPE	1,4	13,0	0,18	0,01
Résolvine E2/E3	ND	5,8	0,10	0,01
4,5-DiHDPE	0,8	10,6	0,22	0,05
10-HDHA	ND	35,1	0,08	<0,001
16-HDHA	6,8	29,5	0,26	0,05
20-HDHA	2,1	28,4	0,29	0,05
Résolvine D5	0,8	11,8	0,21	0,01

<sup>1</sup> DiHETE, acide dihydroxy-eicosatétraénoïque; HEPE, acide hydroxy-eicosapentaénoïque; DiHDPE, acide dihydroxy-docosapentaénoïque; HDHA, acide hydroxy-docosahexaénoïque; ND, non détecté.

<sup>2</sup> Voir le tableau 2.

### 2.2. Profil des oxylipines

Indépendamment de son origine ou précurseur (EPA vs DHA), la concentration des oxylipines trouvées dans le colostrum est très fortement affectée ( $P < 0,01$ ) par le régime alimentaire des truies (Tableau 3). Quelques-unes ne sont même pas détectables dans les échantillons des truies nourries avec le régime témoin. Les oxylipines dérivées de l'EPA, telles que le 17,18-dihydroxy-EPA, 5(s)-, 8-, 11-, 12(s)-, 15(s)- et 18-hydroxy-EPA et la résolvine E2/E3, ainsi que celles dérivées du DHA, comme le 10-, 16- et 20-hydroxy-DHA ou le 4,5-dihydroxy-docosapentaénoïque et la résolvine D5 augmentent toutes dans le colostrum des truies nourries avec de l'huile de poisson par rapport à celles du régime témoin. Dans le lait, une situation similaire s'observe avec une concentration des oxylipines plus élevée avec le régime AGPI n-3 (Tableau 4). Parmi les 24 identifiées, celles dérivées de l'EPA comme les 8-, 9-, 14,15-/11,15- et 17,18-DiHETE, les 5(s)-, 8-, 9, 11-, 12(s)-, 15(s)- et 18-HEPE et la résolvine E2/3 ( $P < 0,05$ ) ou celles dérivées du DHA tels que le 4,5-DiHDPE, ou les 4-, 8-, 10-, 11, 13-, 14-, 16-, 17- et

20-HDH, voire les protectine D1 et D1- augmentent toutes très significativement ( $P < 0,05$ ). En plus des oxylipines dérivées de l'EPA et du DHA, l'acide 12(13)-hydroxy-octadécatriénoïque dérivé de l'acide linoléique augmente également ( $P < 0,05$ ).

**Tableau 4** – Concentrations en oxylipines (pg/mL) dans le lait<sup>1,2</sup>

	Témoïn	AGPI n-3	ETR	P
12(13)-EpOME	491,4	1088,2	0,14	0,05
8,9-DiHETE	2,2	38,9	0,19	0,01
11,15-DiHETE	4,7	48,6	0,18	0,01
17,18-DiHETE	4,3	44,7	0,20	0,01
5(s)-HEPE	4,4	354,9	0,24	<0,001
8-HEPE	5,7	106,8	0,27	0,01
9-HEPE	3,3	132,3	0,26	0,01
11-HEPE	8,9	380,7	0,31	0,01
12(s)-HEPE	22,0	290,0	0,25	0,01
15(s)-HEPE	102,0	1473,2	0,94	0,01
18-HEPE	40,6	174,7	0,24	0,01
Résolvine E2/E3	7,2	14,0	0,12	0,05
4,5-DiHDPE	ND	32,0	0,13	0,01
4-HDHA	ND	291,3	0,10	<0,001
8-HDHA	ND	84,4	0,15	0,01
10-HDHA	3,5	309,2	0,30	<0,001
11-HDHA	ND	37,4	0,25	0,05
13-HDHA	ND	181,9	0,06	<0,001
14-HDHA	ND	78,3	0,12	0,01
16-HDHA	6,6	289,9	0,28	0,01
17-HDHA	ND	239,4	0,14	0,01
20-HDHA	ND	220,0	0,11	<0,001
Protectine D1	0,3	1,4	0,08	0,05
Protectine D1-	ND	2,0	0,14	0,05
Résolvine D5	ND	4,1	0,07	0,01

<sup>1</sup> EpOME, acide époxy-octadécénoïque.

<sup>2</sup> Voir les tableaux 2 et 3.

### 2.3. Indicateurs immunitaires

Que ce soit dans le colostrum ou le lait, aucune différence significative n'a été observée due aux traitements alimentaires sur la concentration en immunoglobulines G, M et A (Tableau 5). Comme il était prévisible, les teneurs en IgG sont beaucoup plus élevées dans le colostrum que dans le lait tandis que celles des IgA ou IgM sont du même ordre de grandeur. Un résultat similaire est observé pour les cytokines étudiées. Leur concentration dans le colostrum est beaucoup plus élevée que dans le lait mais aucun effet des traitements alimentaires n'a été observé. Uniquement une tendance de réduction de l'IL-10 ( $P = 0,06$ ) et une diminution significative du TNF- $\alpha$  ( $P < 0,05$ ) ont été observées dans le lait des truies nourries avec le régime AGPI n-3. La concentration en IgG et IgA, aussi bien que des cytokines IL-1 $\beta$ , IL-10 et TNF- $\alpha$  dans le plasma des truies, reste similaire entre traitements alimentaires (Tableau 6). En revanche, une augmentation significative de la concentration d'IgM ( $P < 0,01$ ) et d'IL-6 ( $P < 0,01$ ) a été observée chez les truies du groupe AGPI n-3. Chez les porcelets, la concentration en IgG plasmatique est beaucoup plus élevée que chez leurs mères tandis que la concentration en IgA et IgM, ainsi que de toutes les cytokines dosées, est beaucoup plus faible. Par ailleurs, la concentration en immunoglobulines IgA et IgM, ainsi que des cytokines IL-6 et TNF- $\alpha$  dans le plasma des porcelets, reste similaire entre les traitements alimentaires. En revanche la concentration en IgG ( $P < 0,05$ ) et en cytokines IL-10 et IL-1 $\beta$  ( $P < 0,001$ ) augmente chez les porcelets issus des truies nourries aux AGPI n-3.

**Tableau 5** – Concentrations en immunoglobulines (mg/mL) et cytokines (ng/mL) dans le colostrum et le lait<sup>1,2</sup>

	Témoin	AGPI n-3	ETR	P
<b>Colostrum</b>				
IgG	185,9	149,2	140,5	NS
IgA	4,48	2,01	7,12	NS
IgM	1,42	1,03	1,22	NS
IL-1 $\beta$	25,14	31,13	13,04	NS
IL-6	136,6	186,8	190,0	NS
IL10	5,49	11,49	20,02	NS
TNF- $\alpha$	1,15	1,92	2,25	NS
<b>Lait</b>				
IgG	0,65	0,74	0,39	NS
IgA	3,20	4,42	2,21	NS
IgM	1,54	1,55	0,66	NS
IL-1 $\beta$	6,12	7,09	8,25	NS
IL-6	7,00	6,19	1,90	NS
IL10	0,10	0,09	0,01	NS
TNF- $\alpha$	0,16	0,15	0,003	0,05

<sup>1</sup> IgA, IgG, IgM, IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-10, TNF- $\alpha$  : immunoglobulines A, G et M, interleukines 1 $\beta$ , 6, 10 et facteur de nécrose tumorale  $\alpha$ .

<sup>2</sup> Voir le tableau 2.

**Tableau 6** – Concentrations en immunoglobulines (mg/mL) et cytokines (ng/mL) plasmatiques chez la truie et le porcelet<sup>1,2</sup>

	Témoin	AGPI n-3	ETR	P
<b>Truie</b>				
IgG	5,27	5,08	2,84	NS
IgA	1,44	1,62	0,92	NS
IgM	4,43	6,34	1,68	0,01
IL-1 $\beta$	144,8	203,9	151,9	NS
IL-6	135,7	420,7	268,1	0,05
IL10	0,11	0,68	1,21	NS
TNF- $\alpha$	1,40	0,91	2,23	NS
<b>Porcelet</b>				
IgG	7,38	10,76	4,10	0,05
IgA	0,42	0,36	0,14	NS
IgM	0,65	0,62	0,33	NS
IL-1 $\beta$	6,43	19,85	6,18	<0,001
IL-6	13,37	14,67	24,88	NS
IL10	0,20	0,51	0,20	<0,001
TNF- $\alpha$	0,20	0,28	0,22	NS

<sup>1</sup> IgA, IgG, IgM, IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-10, TNF- $\alpha$  : immunoglobulines A, G et M, interleukines 1 $\beta$ , 6, 10 et facteur de nécrose tumorale  $\alpha$ . <sup>2</sup> Voir tableau 2.

### 3. DISCUSSION

Le colostrum, puis le lait, en plus d'être la première source d'énergie et nutriments pour le porcelet nouveau-né, jouent également un rôle clé dans le transfert de l'immunité passive (Darragh et Moughan, 1998). Ils sont donc essentiels au développement et à la croissance du porcelet avant le sevrage. Selon les résultats d'une étude précédente (Tanghe et de Smet, 2013), l'incorporation d'AGPI n-3 dans les régimes des truies gestantes n'affecterait pas le nombre, le développement, la taille ou la survie des embryons. Dans le cas présent, le nombre de porcelets ou le poids de la portée étaient numériquement plus faibles qu'avec l'aliment témoin en accord avec les résultats de Rooke *et al.*, (2001). En revanche, le poids de la portée au sevrage était plus élevé entraînant une augmentation significative du poids individuel au sevrage (Calero-Llauradó *et al.*, 2021).

Une meilleure qualité du colostrum et du lait des truies du groupe AGPI n-3 pourrait contribuer à l'obtention du résultat précédent. Dès la naissance, le porcelet est en mesure de digérer la presque totalité des lipides présents dans le colostrum, puis dans le lait. En plus de l'apport d'énergie et autres nutriments, le lait sert également à transférer d'autres molécules, tels que les AGPI n-3 de la truie vers sa progéniture (Lauridsen, 2020). Une augmentation de la concentration en EPA et DHA a été observée à la fois dans le colostrum et le lait, ce qui était tout à fait prévisible au regard de leur concentration dans l'huile de poisson incorporée dans le régime expérimental. Des résultats similaires avaient été déjà observés précédemment (Rooke *et al.*, 2001 ; Eastwood *et al.*, 2014). De plus, une augmentation de la concentration d'acide linoléique et de DPA dans le colostrum et de DPA dans le lait est également observée. En relation avec les AG de la famille n-6, une diminution du niveau d'acide linoléique a été observée avec l'incorporation des AGPI n-3, tel que déjà rapporté par Eastwood *et al.* (2014), et qui pourrait être mis en relation avec une diminution de la teneur en acide linoléique dans certains types de cellules (Calder, 2010).

Les AGPI sont connus pour exercer une influence sur les processus inflammatoires par différents mécanismes. Ceux-ci incluent leur oxydation qui conduit à la formation d'oxylipines, lesquelles agissent à leur tour dans la coordination de la réponse inflammatoire. Chaque oxylipine a des fonctions pro-inflammatoires et/ou anti-inflammatoires (Gabbs *et al.*, 2015) et, à notre connaissance, la présence de ces molécules dans le colostrum ou lait de truie n'a pas été étudié précédemment. Les oxylipines dérivées des AG n-6 ont tendance à jouer un rôle pro-inflammatoire, tandis que celles dérivées des AGPI n-3 présentent plutôt une activité anti-inflammatoire (Calder, 2010).

L'incorporation d'huile de poisson dans les régimes s'est traduite par un changement de la composition en AG et donc du profil en oxylipines. Très clairement, l'augmentation de la concentration d'EPA et de DHA s'est traduite par une augmentation de leurs dérivés oxygénés. Au sein du groupe des oxylipines présentes en concentrations significativement différentes entre traitements, les intermédiaires hydroxy-AGs, résolvines et protectines se distinguent. Bien que la plupart des hydroxy-AG n'ont pas de fonction clairement décrite, certains d'entre eux sont liés à la capacité de réduire ou d'inhiber la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires (Gabbs *et al.*, 2015). Concernant les résolvines et les protectines, leurs effets biologiques ont été largement étudiés sur d'autres modèles animaux et il convient de souligner leur puissante activité anti-inflammatoire et leur capacité de résolution de l'inflammation (Calder, 2010). Dans le cas présent, une augmentation de la résolvine E2/3, de la résolvine D5 et de la protectine D1 dans le colostrum et le lait a été mise en évidence. En plus de l'impact que les AGPI n-3 peuvent exercer sur le système immunitaire en modifiant le profil des oxylipines, une influence sur la production des immunoglobulines et des cytokines a été également observée.

Différentes études ont rapporté un impact des AGPI n-3 sur la concentration en immunoglobulines du colostrum et du lait en conséquence de la réduction du ratio n-6:n-3 des régimes (Mitre *et al.*, 2005 ; Yao *et al.*, 2012). Cependant, dans l'étude présente, aucune différence n'a été observée sur cet aspect, en cohérence avec les résultats de Leonard *et al.* (2010). Concernant la concentration de cytokines, aucun changement n'a été observé non plus dans le colostrum.

Uniquement, une diminution du TNF- $\alpha$ , voire une tendance vers une moindre concentration d'IL-10 dans le lait ont été observées. L'impact plus important observé sur le profil d'oxylipines du lait, dans lequel les augmentations du 18-HEPE, de l'hydroxy-EPA, et du 17-HDHA ont été observées, pourrait contribuer à l'inhibition du TNF- $\alpha$ , comme il a été démontré lors d'études avec des lignées cellulaires (Gabbs *et al.*, 2015).

Enfin, l'incorporation d'AGPI n-3 dans l'alimentation des truies a eu un certain impact sur l'immunité systémique de la truie et du porcelet au moment du sevrage. Une augmentation des IgM et IL-6 totales a été observée chez la truie, ce qui pourrait indiquer une amélioration de l'immunité non spécifique. Par ailleurs, l'augmentation de la concentration d'IgG observée chez le porcelet est en accord avec les résultats obtenus par Mitre *et al.* (2005) et pourrait contribuer à l'amélioration de la réponse immunitaire des porcelets. L'augmentation de la concentration plasmatique d'IL-1 $\beta$  et d'IL-10 chez les porcelets du groupe AGPI n-3 est opposée aux résultats observés dans le lait. Cependant, l'augmentation de l'IL-1 $\beta$ , qui est une cytokine pro-inflammatoire, et de l'IL-10, qui joue un rôle certain dans l'inhibition de la production de cytokines pro-inflammatoires, pourrait être également associée au stress induit par le sevrage.

## CONCLUSION

L'incorporation d'AGPI n-3 à chaîne longue dans l'alimentation des truies conduit à l'augmentation de la concentration d'EPA, de DHA et de leurs dérivés oxygénés de nature anti-inflammatoire, ainsi qu'une amélioration de l'activité de résolution de l'inflammation du colostrum et du lait. Par ailleurs, l'augmentation de la concentration d'IgG et d'IgM dans le plasma renforçant l'immunité non-spécifique semble indiquer que l'incorporation d'AGPI n-3 dans les régimes pourrait contribuer à l'amélioration l'immunité systémique de la truie et du porcelet au sevrage.

## REMERCIEMENTS

Les remerciements s'adressent au personnel de la ferme et du laboratoire qui ont rendu possible cette étude, ainsi qu'au personnel de l'Unité de Métabolomique de l'Université Rovira i Virgili - EURECAT pour sa contribution à l'analyse des oxylipines. Ce projet de recherches a été financé par l'INIA (RTA2017-00086-C02-01), et E. Llauradó Calero a obtenu une subvention INIA (PRE2018-086726) pour mener à bien cette recherche.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Astarita G., Kendall A.C., Dennis E.A., Nicolaou A., 2015. Targeted lipidomic strategies for oxygenated metabolites of polyunsaturated fatty acids. *Biochim. Biophys. Acta. Mol. Cell Biol. Lipids*, 1851, 456-468.
- Bruins M.J., Dane A.D., Strassburg K., Vreeken R.J., Newman J.W., Salem N. Jr., Tyburczy C., Brenna J.T., 2013. Plasma oxylipin profiling identifies polyunsaturated vicinal diols as responsive to ARA and DHA intake in growing piglets. *J. Lipid Res.*, 54, 1598-607.
- Calder P.C., 2010. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes. *Nutrients*, 2, 355-374.
- Darragh A.J., Moughan P.J., 1998. The composition of colostrum and milk. In: "The lactating sow", M.W. Verstegen, P.J. Moughan, J.W. Schrama (Eds.). Wageningen Pers., Wageningen, The Netherlands, pp. 3-21.
- Eastwood L., Leterme P., Beaulieu A.D., 2014. Changing the omega-6 to omega-3 fatty acid ratio in sow diets alters serum, colostrum, and milk fatty acid profiles, but has minimal impact on reproductive performance. *J. Anim. Sci.*, 92, 5567-5582.
- Gabbs M., Leng S., Devassy J.G., Aukema H.M., 2015. Advances in understanding of oxylipins derived from dietary PUFAs. *Adv. Nutr.*, 6, 513-540
- Isoe Y., Arita M., Matsueda S., Iwamoto R., Fujihara T., Nakanishi H., Taguchi R., Masuda K., Sasaki K., Urabe D, Inoue M., Arai H., 2012. Identification and structure determination of novel anti-inflammatory mediator resolvin E3, 17,18-diHEPA. *J. Biol. Chem.*, 287, 10525-10534.
- Lauridsen C., 2020. Effects of dietary fatty acids on gut health and function of pigs pre- and post-weaning. *J. Anim. Sci.*, 98, 1-12.
- Llauradó-Calero E., Badiola I., Delpino-Rius A., Lizardo R., Torrallardona D., Esteve-Garcia E., Tous N., 2021. Fish oil rich in eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) in sow diets modifies oxylipins and immune indicators in colostrum and milk. *Animal* (accepted).
- Leonard S.G., Sweeney T., Bahar B., Lynch B.P., O'Doherty J.V., 2010. Effect of maternal fish oil and seaweed extract supplementation on colostrum and milk composition, humoral immune response, and performance of suckled piglets. *J. Anim. Sci.*, 88, 2988-2997.
- Mavangira V., Gandy J.C., Zhang C., Ryman V.E., Jones A.D., Sordillo L.M., 2015. Polyunsaturated fatty acids influence differential biosynthesis of oxylipins and other lipid mediators during bovine coliform mastitis. *J. Dairy Sci.*, 98, 6202-6015.
- Mitre R., Etienne M., Martinais S., Salmon H., Allaume P., Legrand P., Legrand A.B., 2005. Humoral defence improvement and haematopoiesis stimulation in sows and offspring by oral supply of shark-liver oil to mothers during gestation and lactation. *Br. J. Nutr.*, 94, 753-762.
- Ostermann A.I., 2017. Development of instrumental analytical methods for the investigation of omega-3 fatty acid induces effects on the fatty acid and oxilipin pattern. PhD thesis, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, Germany, 237p.
- Robinson D.T., Palac H.L., Baillif V., Van Goethem E., Dubourdeau M., Van Horn L., Martin C.R., 2017. Long chain fatty acids and related pro-inflammatory, specialized pro-resolving lipid mediators and their intermediates in preterm human milk during the first month of lactation. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*, 121, 1-6.
- Rooke J.A., Sinclair A.G., Edwards S.A., Cordoba R., Pkiyach S., Penny P.C., Penny P., Finch A.M., Horgan G.W., 2001. The effect of feeding salmon oil to sows throughout pregnancy on pre-weaning mortality of piglets. *J. Anim. Sci.*, 73, 489-500.
- Serhan C.N., Gotlinger K., Hong S., Lu Y., Siegelman J., Baer T., Yang R., Colgan S.P., Petasis N.A., 2006. Anti-inflammatory actions of neuroprotectin D1/protectin D1 and its natural stereoisomers. *J. Immunol.*, 176, 1848-1859.
- Tanghe S., de Smet S., 2013. Does sow reproduction and piglet performance benefit from the addition of n-3 polyunsaturated fatty acids to the maternal diet? *The Veterinary J.*, 197, 560-569
- Theil, P. K., Lauridsen, C., Quesnel, H., 2014. Neonatal piglet survival: impact of sow nutrition around parturition on foetal glycogen deposition and production and composition of colostrum and transient milk. *Animal*, 8, 1021-1030.
- Wu J., Gouveia-Figueira S., Domellof M., Zivkovic A.M., Nording M.L., 2016. Oxylipins, endocannabinoids, and related compounds in human milk: Levels and effects of storage conditions. *Prostaglandins Other Lipid Mediat.*, 122, 28-36.
- Yao W., Li J., Wang J.J., Zhou W., Wang Q., Zhu R., Wang F., Thacker P., 2012. Effects of dietary ratio of n-6:n-3 polyunsaturated fatty acids on immunoglobulins, cytokines, FA composition, and performance of lactating sows and suckling piglets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 3, 43-51.



# Effets bénéfiques d'une combinaison d'arginine, valine, leucine, isoleucine, cystine et de polyphénols chez le porcelet : approche *in vivo* et organoïdes

Martin BEAUMONT (1), Corinne LENCINA (1), Joffrey VIÉMON-DESPLANQUE (1), Tristan CHALVON-DEMERSAY (2)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, F-31326 Castanet Tolosan, France

(2) METEX NOOVISTAGO, 32 rue Guersant, 75017, Paris, France

[martin.beaumont@inrae.fr](mailto:martin.beaumont@inrae.fr) ; [Tristan.Chalvon-Demersay@metex-noovistago.com](mailto:Tristan.Chalvon-Demersay@metex-noovistago.com)

## Effets bénéfiques d'une combinaison d'arginine, valine, leucine, isoleucine, cystine et de polyphénols chez le porcelet : approche *in vivo* et organoïdes

Nous avons émis l'hypothèse que la supplémentation d'un mélange d'acides aminés fonctionnels et de polyphénols pourrait avoir des effets bénéfiques chez le porcelet en période de post-sevrage. Des porcelets sevrés à 25 jours ont reçu pendant les 14 premiers jours après le sevrage un aliment supplémenté ou non avec 0,1 % d'acides aminés fonctionnels (arginine, valine, leucine, isoleucine, cystine) et 100 ppm d'un extrait de raisin riche en polyphénols (AA+PP). La composition et l'activité du microbiote ont été analysées dans le contenu du jéjunum et du caecum. En parallèle, des organoïdes du jéjunum de porcelet ont été incubés pendant 7 jours avec les mêmes acides aminés et polyphénols (AA+PP). L'expression des gènes a été analysée dans les organoïdes par qPCR. Chez les porcelets ayant reçu la supplémentation, le gain de poids corporel et l'indice de consommation ont été significativement améliorés par rapport aux porcelets du groupe témoin (+22% et +15%, respectivement,  $P=0,010$ ). Dans le contenu du jéjunum, la supplémentation en AA+PP a augmenté l'abondance relative des Lactobacillaceae tandis que celle des Bacteroidaceae, Lachnospiraceae et Ruminococcaceae a diminué. Dans le contenu du caecum, la supplémentation en AA+PP a réduit l'abondance relative des Proteobacteria par rapport au groupe témoin. La supplémentation en AA+PP a également augmenté la concentration caecale d'acides gras à courtes chaînes, de putrescine et de 3-phénylpropionate. Dans les organoïdes, l'incubation avec AA+PP a réduit l'expression des gènes impliqués dans la prolifération épithéliale (OLFM4, MKI67, PCNA) et l'immunité innée (LBP, NFKB2, RELA) tout en augmentant fortement l'expression de l'ALPI, un marqueur de différenciation épithéliale. En résumé, nos résultats montrent que la supplémentation en acides aminés fonctionnels et polyphénols a favorisé la performance des porcelets en période post-sevrage, probablement par l'intermédiaire d'une modulation du microbiote et de la fonction barrière de l'épithélium.

## Beneficial effects of arginine, valine, leucine, isoleucine, cystine and polyphenols in piglets: *in vivo* and organoid experiments

Nutritional products represent promising alternatives to antibiotics to preserve gut health in piglets. We hypothesized that a mixture of functional amino acids and polyphenols could have beneficial effects by modulating gut microbiota and the epithelial barrier. We used a combination of experiments *in vivo* in piglets and *in vitro* in jejunum organoids. For the first 14 days after weaning, piglets received a pre-starter feed supplemented or not with 0.1% amino acids (arginine, valine, leucine, isoleucine, cystine) and 100 ppm grape polyphenols (AA+PP). Microbiota composition and activity were analyzed in jejunum and caecum contents collected on day 14 after weaning. In parallel, piglet jejunum organoids were treated for 7 days with the same amino acids and grape polyphenols (AA+PP). Gene expression was analyzed in organoids by qPCR. Body weight gain and the gain-to-feed ratio were significantly higher in AA+PP piglets (by 22% and 15%, respectively,  $P=0.010$ ) than in control piglets. In the jejunum content, AA+PP supplementation increased the relative abundance of Lactobacillaceae compared to that of the control group, while it decreased microbiota richness and the relative abundances of Bacteroidaceae, Lachnospiraceae and Ruminococcaceae. In the caecum content, AA+PP supplementation reduced the relative abundance of Proteobacteria compared to that of the control group. AA+PP supplementation also increased the cecal concentration of short-chain fatty acids, putrescine and 3-phenylpropionate. The treatments did not modify the growth or morphology of piglet jejunum organoids. AA+PP reduced the expression of genes involved in epithelial proliferation (OLFM4, MKI67, PCNA) and innate immunity (LBP, NFKB2, RELA), while it strongly enhanced the expression of ALPI, a marker of epithelial differentiation. In summary, our results show that AA+PP supplementation promoted the performance of post-weaning piglets, possibly through the modulation of gut microbiota and epithelial barrier function.

## INTRODUCTION

Des troubles digestifs sont fréquemment observés chez les porcelets au moment du sevrage en raison de la transition abrupte du lait maternel à l'alimentation solide, de modifications environnementales et de stress (Lallès *et al.*, 2004). L'utilisation d'antibiotiques ou d'oxyde de zinc pour lutter contre les diarrhées post-sevrage des porcelets contribue à l'émergence de gènes de résistance aux antibiotiques et entraîne des dommages environnementaux (Gresse *et al.*, 2017). Dans ce contexte, il est urgent de trouver des alternatives pour préserver la santé digestive des porcelets au moment du sevrage.

L'épithélium intestinal et le microbiote constituent des barrières contre les infections entériques et représentent ainsi deux cibles clés pour prévenir les troubles digestifs au moment du sevrage. Ainsi, des produits nutritionnels ciblant à la fois l'épithélium intestinal et le microbiote pourraient être des alternatives aux antimicrobiens utilisés dans la période du sevrage chez les porcelets. Les acides aminés (AA) ont un rôle clé dans l'homéostasie intestinale en tant que constituants des protéines mais aussi en raison de leurs propriétés fonctionnelles telles que la régulation du métabolisme énergétique, du stress oxydant, de l'immunité et de la fonction barrière de l'épithélium (Chalvon-Demersay *et al.*, 2021). De plus, les AA peuvent être dégradés par le microbiote intestinal en métabolites bactériens bioactifs (Beaumont et Blachier, 2020). Les polyphénols (PP) sont des métabolites secondaires végétaux connus pour leurs effets antioxydants et anti-inflammatoires au niveau intestinal (Girard et Bee, 2020). Contrairement aux AA, la majorité des PP atteint les parties distales de l'intestin où ils régulent la composition du microbiote et où ils sont dégradés en petits métabolites phénoliques aux propriétés anti-inflammatoires (Larrosa *et al.*, 2009).

Les AA et les PP constituent donc deux classes de nutriments ciblant à la fois l'épithélium intestinal et le microbiote. Nous avons donc formulé l'hypothèse que leur combinaison pourrait faciliter la transition alimentaire du sevrage chez les porcelets. Dans cette étude, nous avons testé les effets d'une faible dose (0,1%) d'un mélange d'acides aminés fonctionnels (L-arginine, L-leucine, L-valine, L-isoleucine, L-cystine) combiné avec 100 ppm d'un extrait de raisin riche en PP sur la croissance et le microbiote de porcelets après le sevrage. Nous avons également testé *in vitro* les effets directs du mélange d'AA et de PP sur l'épithélium intestinal en utilisant un modèle innovant d'organoïde d'intestin de porcelet (Beaumont *et al.*, 2021a).

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Expérimentation animale

L'expérimentation a été réalisée au Bangkok animal research center Co., Ltd (Bangkok, Thaïlande). Cent vingt porcelets (Landrace x Large White x Duroc) sevrés à 25 jours ont été répartis dans deux groupes (10 cases de 6 porcelets, 3 mâles et 3 femelles par case). Les porcelets ont été nourris pendant les deux premières semaines après le sevrage avec un aliment pre-starter (1.36% de lysine digestible, 2509 kCal/kg d'énergie nette, suivant les recommandations en acides aminés de METEX NOOVISTAGO) supplémenté ou non avec 0,1 % (1 kg par tonne d'aliment) d'un mélange d'acides aminés : L-arginine, L-cystine, L-leucine, L-isoleucine et L-valine (METEX NOOVISTAGO, Paris)

dans un ratio 42:25:17:8:8 basé sur une précédente publication (Prates *et al.*, 2021) avec 100 ppm d'un extrait de graines et de pépins de raisins riche en polyphénols (> 70%) (Ajinomoto Omnicem, Bruxelles). La consommation alimentaire de chaque case et le poids individuel des porcelets ont été mesurés une fois par semaine. Deux semaines après le sevrage, 5 porcelets par groupe (3 mâles, 2 femelles, provenant des cinq premières cases de chaque groupe et dont le poids moyen est le plus proche de la moyenne de la case) ont été abattus pour prélever le contenu digestif du jéjunum et du caecum. Ces contenus ont été stockés à -80°C jusqu'à analyse.

### 1.2. Analyse du microbiote et du métabolome digestif

L'ADN des contenus de jéjunum et de caecum a été extrait avec le kit Quick-DNA Fecal/Soil Microbe 96t (Zymo Research) et la région de l'ARNr 16S V3-V4 (marqueur de la taxonomie des bactéries) a été amplifiée par PCR. Un séquençage Illumina MiSeq a été réalisé comme décrit précédemment (Beaumont *et al.*, 2021b). Les séquences ont été analysées par l'outil bio-informatique FROGS (Escudiet *et al.*, 2018). Le métabolome des contenus digestifs a été analysé par résonance magnétique nucléaire (RMN) comme décrit précédemment (Beaumont, *et al.*, 2021b). Brièvement les contenus digestifs ont été centrifugés pour éliminer les particules et le surnageant a été homogénéisé dans un tampon phosphate préparé dans de l'eau deutérée. Les données brutes ont été acquises à la plateforme de métabolomique MetaboHUB-MetaToul-AXIOM (Toulouse, France) avec un spectromètre Avance III HD NMR et analysées avec l'outil bioinformatique Workflow4Metabolomics (Giacomoni *et al.*, 2015).

### 1.3. Culture d'organoïdes *in vitro*

Des organoïdes de jéjunum de porcelet de 54 jours a été cultivée dans une matrice extracellulaire (Matrigel, Corning) avec du milieu de culture d'organoïdes (IntestiCult human, Stem Cell Technologies). Les organoïdes ont été traités pendant 7 jours avec le milieu de culture seul ou supplémenté avec un mélange d'AA et PP (L-cystine [0,4 mM], L-arginine [0,8 mM], L-leucine [1,6 mM], L-isoleucine [1,6 mM], L-valine [1,6 mM], extrait de pépins et de peaux de raisins riche en polyphénols [20 µg/mL]). Le milieu de culture était remplacé tous les 2-3 jours et les expériences ont été répétées 4 fois. Après 7 jours de culture, le nombre, la surface et la morphologie des organoïdes ont été évalués par microscopie optique (Eclipse Ts2, Nikon Instruments, Melville, NY). Ensuite, les ARN des organoïdes ont été extraits dans du TRI reagent (Zymo Research), purifiés avec le kit Direct-zol RNA MiniPrep Plus (Zymo Research) et rétrotranscrits en ADNc avec le kit GoScript Reverse Transcription Mix, Random primer (Promega). L'expression de gènes a été analysée par qPCR en temps réel.

### 1.4. Statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 4.0.3). Des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour tous les statistiques univariées (performance, expression de gènes). L'unité expérimentale considérée est la case pour les paramètres de performance. L'analyse de la composition du microbiote a été réalisée avec le package *phyloseq*. Les échantillons ont été raréfiés à une profondeur égale de séquençage pour les calculs de diversité  $\alpha$  et  $\beta$ . L'effet du traitement sur la diversité  $\beta$  a été analysé par PERMANOVA en utilisant le package *vegan*. Pour l'analyse de

l'abondance relative des groupes bactériens, les taxons représentant moins de 0,05% du total des séquences de tous les échantillons ont été exclus.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances zootechniques

La supplémentation en AA+PP pendant les deux premières semaines après le sevrage a amélioré significativement l'indice de consommation sans modifier le niveau d'ingestion par rapport au groupe témoin (CTRL) (Tableau 1). Les porcelets supplémentés avaient également un poids à 14 jours après le sevrage et un gain de poids moyen quotidien significativement plus élevés que les porcelets du groupe témoin (Tableau 1).

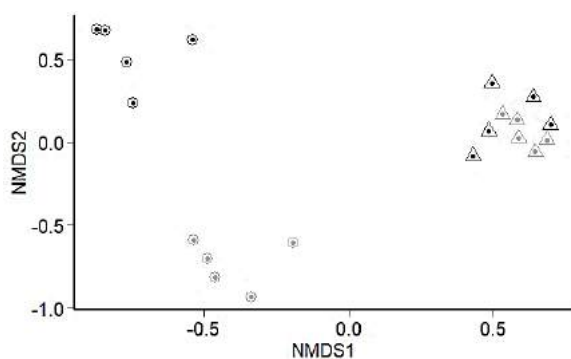
**Tableau 1** – Performances zootechniques des porcelets.

	CTRL	AA+PP	SE	P-Value
			M	
Poids au sevrage, kg	6,92	6,92	0,07	0,979
Poids à 14 jours, kg	9,50	10,07	0,15	<b>0,049</b>
Gain de poids quotidien, g/j	184	225	8,02	<b>0,010</b>
Ingestion moyenne g/j	263	275	8,83	0,450
Indice de consommation	1,43	1,23	0,04	<b>0,010</b>

1 footnote pour expliquer les abréviations dans le tableau

### 2.2. Microbiote et métabolome dans le jéjunum

Nous avons étudié si les effets bénéfiques de la supplémentation en AA+PP sur la croissance des porcelets après le sevrage pouvaient être liés à une modification du microbiote intestinal. La supplémentation en AA+PP a fortement réduit la richesse du microbiote dans le jéjunum (188,4 et 66,8 espèces bactériennes observées en moyenne dans les groupes CTRL et AA+PP, respectivement,  $P < 0,05$ ). L'analyse de la  $\beta$ -diversité utilisant la distance de Bray-Curtis a révélé un fort effet du traitement sur la structure du microbiote dans le jéjunum (PERMANOVA:  $R^2=0,41$ ,  $P < 0,05$ ) (Figure 1). La figure 1 illustre également la différence de composition du microbiote du jéjunum par rapport à celui du caecum.



**Figure 1** – Représentation Non Metric Dimensional Scaling (nMDS) de la diversité  $\beta$  utilisant la distance de Bray-Curtis distance.

Ronds : Jéjunum, Triangles : Caecum, Noir : CTRL, Gris : AA+PP

Au niveau taxonomique du phylum, la supplémentation en AA+PP est associée à l'absence de Bacteroidota dans le jéjunum, à la différence des porcelets témoins (abondance relative moyenne de 16,9%). Au niveau taxonomique de la

famille, la supplémentation en AA+PP a triplé l'abondance relative des Lactobacillaceae aux dépens de la majorité des autres familles dominantes du microbiote du jéjunum telles que les Bacteroidaceae, Lachnospiraceae et Ruminococcaceae (Tableau 2). La supplémentation en AA+PP n'a pas eu d'effet sur l'abondance relative des Enterobacteriaceae, la deuxième famille bactérienne la plus abondante dans le jéjunum.

**Tableau 2** – Abondance relative des familles bactériennes dominantes (>1%) dans le jéjunum

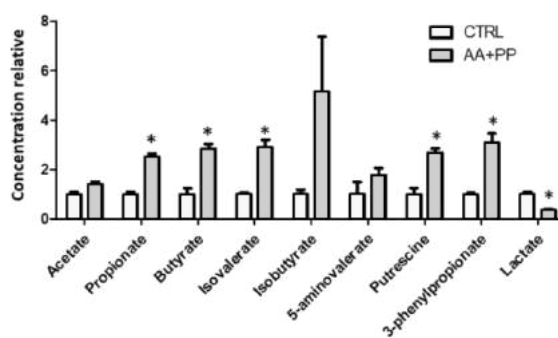
Famille	Abondance relative moyenne (%)		P-value
	CTRL	AA+PP	
Lactobacillaceae	27,941	85,118	<b>0,016</b>
Enterobacteriaceae	22,694	13,873	0,917
Lachnospiraceae	13,788	0,033	<b>0,009</b>
Bacteroidaceae	9,915	0,026	<b>0,009</b>
Ruminococcaceae	5,435	0,002	<b>0,008</b>
Oscillospiraceae	5,055	0,011	<b>0,009</b>
Rikenellaceae	2,875	0,004	<b>0,009</b>
Barnesiellaceae	2,036	0,007	<b>0,009</b>
Acholeplasmataceae	1,342	0,002	<b>0,034</b>
Monoglobaceae	1,320	0,000	<b>0,005</b>
Clostridiaceae	1,143	0,044	<b>0,009</b>
Peptostreptococcaceae	1,080	0,018	<b>0,009</b>
Christensenellaceae	1,072	0,002	<b>0,008</b>

Aucun effet significatif de la supplémentation en AA+PP n'a été observé sur le métabolome dans le contenu du jéjunum (données non présentées).

### 2.3. Microbiote et métabolome dans le caecum

La supplémentation en AA+PP n'a pas modifié la diversité  $\alpha$  et  $\beta$  du microbiote dans le caecum par rapport aux porcelets témoins (Figure 1). L'abondance relative du phylum des Proteobacteria était moins élevée chez les porcelets traités (0,98%) que chez les témoins (6,23%) ( $P < 0,05$ ). Aucun effet significatif du traitement n'a été observé aux niveaux taxonomiques inférieurs (données non présentées).

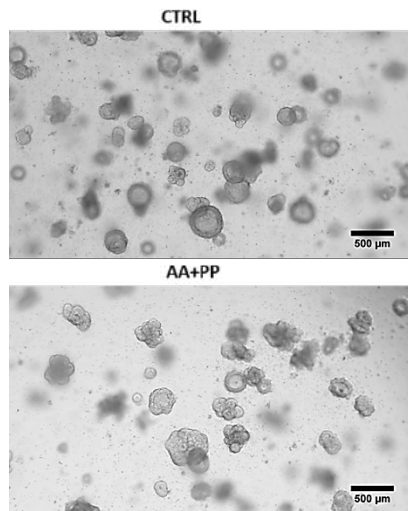
L'analyse du métabolome par RMN dans le contenu du caecum a révélé un effet majeur de la supplémentation en AA+PP sur l'activité métabolique du microbiote intestinal. En effet, la concentration relative de plusieurs métabolites bactériens (butyrate, propionate, isovalérate, putrescine et 3-phenylpropionate) était plus élevée chez les porcelets traités que chez les témoins (Figure 2). Au contraire, la supplémentation en AA+PP a réduit la concentration relative en lactate par rapport aux témoins.



**Figure 2** – Concentration relative de métabolites bactériens détectés dans le contenu du caecum \* :  $P < 0,05$

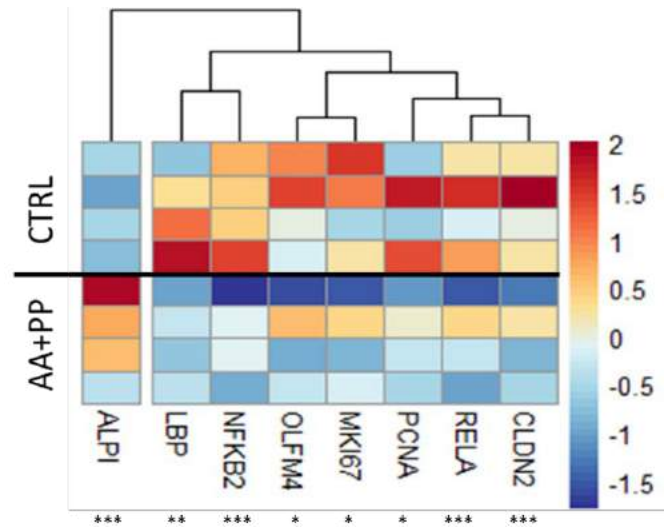
#### 2.4. Effets du mélange AA+PP sur les organoïdes

Les effets directs du mélange d'AA et PP sur l'épithélium intestinal ont été évalués *in vitro* dans des organoïdes de jéjunum de porcelets. Dans ce modèle innovant de culture cellulaire en 3 dimensions, tous les types de cellules épithéliales (absorbatives et sécrétoires) sont présentes et s'auto renouvellent grâce à la présence de cellules souches issues de l'espèce d'intérêt (Beaumont, *et al.*, 2021a). Ces caractéristiques indiquent que les organoïdes d'intestin de porc reproduisent plus fidèlement la physiologie de l'épithélium digestif que les lignées cellulaires classiquement utilisées (e.g. IPEC-J2) qui présentent des anomalies génomiques et ne sont composées que d'un type cellulaire.



**Figure 3** – Observation au microscope optique des organoïdes de jéjunum de porc.

Le mélange d'AA et PP n'a pas modifié le nombre, la surface et la morphologie des organoïdes (sphériques versus non sphériques) (Figure 3). L'expression de gènes impliqués dans l'homéostasie de l'épithélium intestinal a été analysé par qPCR (Figure 4). Le traitement avec les AA+PP a induit une forte augmentation de l'expression du gène ALPI (alkaline phosphatase intestinale), un marqueur de la différenciation épithéliale. Au contraire, les AA+PP ont réduit l'expression de gènes impliqués dans la prolifération des cellules épithéliales (OLF4, olfactomedin 4 ; MKI67, marker of proliferation Ki-67 ; PCNA, proliferating cell nuclear antigen) en comparaison des organoïdes non traités. L'expression génique de CLDN2 (Claudine-2, une protéine formant des pores au niveau des jonction serrées) était réduite dans les organoïdes traités avec les AA+PP par rapport aux organoïdes témoins. Le traitement des AA+PP a également réduit l'expression de plusieurs gènes codant pour des protéines jouant un rôle clé dans les réponses immunitaires innées de l'épithélium intestinal : LBP (lipopolysaccharide binding protein), NFKB2 (nuclear factor kappa B subunit 2) et RELA (nuclear factor kappa B p65 subunit). Les données obtenues dans le modèle organoïdes montrent donc que le traitement par le mélange d'AA et PP régule des fonctions majeures de l'épithélium intestinal du porc.



**Figure 4** – Représentation du niveau d'expression de gènes (niveau d'ARN messager – unité arbitraire) différentiellement exprimés dans les organoïdes en fonction des groupes

La couleur représente le niveau d'expression (rouge : élevée, bleue : faible). Chaque ligne correspond à un échantillon et chaque colonne correspond à un gène. \* :  $P < 0,05$  ; \*\* :  $P < 0,01$  ; \*\*\* :  $P < 0,001$

### 3. DISCUSSION

Au moment du sevrage, la composition du microbiote intestinal et son activité métabolique sont fortement altérés, principalement en raison de la modification des substrats disponibles pour les bactéries (Bian *et al.*, 2016; Beaumont *et al.*, 2021b). Ces modifications peuvent éventuellement conduire à un déséquilibre (« dysbiose ») du microbiote favorisant l'inflammation intestinale et les infections entériques impliquées dans les diarrhées post-sevrage (Gresse *et al.*, 2017). Il est donc important d'identifier des stratégies nutritionnelles de modulation du microbiote au moment du sevrage pour contribuer à maintenir la santé digestive des porcelets.

L'intérêt d'une supplémentation en AA ou en PP chez le porc a été démontré par des études précédentes, lorsque ces nutriments sont apportés individuellement (Chalvon-Demersay *et al.*, 2021 ; Girard et Bee, 2020). Notre travail montre que l'apport simultané d'un mélange complexe de cinq AA et d'un extrait de raisin riche en PP améliore la croissance et l'efficacité alimentaire des porcelets après le sevrage. Les résultats obtenus suggèrent que les effets bénéfiques de la supplémentation en AA+PP pourraient être liés à deux mécanismes complémentaires : 1) la modulation de la composition du microbiote et de son activité métabolique et 2) la régulation de fonctions clés de l'épithélium intestinal. Ces nouvelles données suggèrent qu'une supplémentation en AA+PP pourrait être une stratégie prometteuse pour faciliter la transition du sevrage chez le porc.

Dans notre étude, nous avons analysé les effets de la supplémentation en AA+PP sur la composition du microbiote du jéjunum et du caecum. Comme attendu, les communautés bactériennes colonisant ces deux segments digestifs étaient largement distinctes. Dans le jéjunum, nous avons observé que les AA+PP ont très fortement favorisé la famille des Lactobacillaceae, aux dépens de la majorité des autres familles bactériennes. Il s'agit de la famille la plus abondante du microbiote de l'intestin grêle chez le porc (Holman *et al.*, 2017). Les Lactobacillaceae sont généralement considérés bénéfiques pour la santé digestive en raison de leur capacité à prévenir la colonisation par des pathogènes, à sécréter des composés antimicrobiens et à stimuler le système immunitaire (Valeriano *et al.*, 2017). En effet, de nombreux probiotiques utilisés en production porcine sont issus du genre *Lactobacillus*. Les AA et les PP pourraient chacun contribuer à l'augmentation des Lactobacillaceae dans le jéjunum des porcelets. Précédemment, des études contradictoires ont été présentées concernant les effets de PP de raisin sur l'abondance des Lactobacillaceae, probablement en raison de différences de source ou de niveau de supplémentation (Choy *et al.*, 2014 ; Han *et al.*, 2016). Par ailleurs, une étude chez la souris a montré qu'une supplémentation en arginine pouvait augmenter l'abondance des *Lactobacillus* dans le jéjunum (Ren *et al.*, 2014).

Dans le caecum, la supplémentation en AA+PP n'a pas eu d'effet global sur la structure du microbiote. Ces différences en fonction des segments digestifs pourraient être dues à la variation de la disponibilité des AA et des PP le long du tractus digestif. Cependant, l'apport d'AA+PP a réduit l'abondance du phylum des Proteobacteria dans le caecum. Des pathogènes entériques potentiellement impliqués dans les diarrhées post-sevrage des porcelets appartient à ce phylum (*Salmonella enterica*, *Escherichia coli*) (Gresse *et al.*, 2017). Il a déjà été montré que l'abondance des Enterobacteriaceae pouvait être réduite par l'apport de PP de raisin ou par l'apport d'AA ramifiés (Yang *et al.*, 2016 ; Verhelst *et al.*, 2014).

La production de métabolites par le microbiote est un des mécanismes par lequel il influence la santé de son hôte. Le mélange d'AA+PP n'a pas eu d'effet sur le métabolome du jéjunum, contrairement au caecum. Ces différences en fonction du segment digestif sont probablement liées aux variations de disponibilité des substrats et de composition de microbiote. Dans le caecum, l'augmentation de la concentration des acides gras à courtes chaînes propionate et butyrate pourrait favoriser la santé digestive des porcelets, ces métabolites étant considérés protecteurs (van der Hee et Wells, 2021). L'augmentation de leur production par le microbiote est probablement liée à l'apport en PP, selon des études précédentes (Han *et al.*, 2016). Au contraire, l'augmentation de la production de métabolites bactériens issus du catabolisme des AA (isovalérate et putrescine) est probablement liée à

l'apport de leurs précurseurs (leucine et arginine, respectivement). Ces métabolites bactériens exercent de nombreux effets, il est donc difficile de prédire les conséquences pour la santé digestive de l'augmentation de leur concentration. Enfin, l'augmentation de la concentration du métabolite immunomodulateur 3-phenylpropionate est probablement lié à l'apport en précurseurs polyphénols (Larrosa *et al.*, 2009).

Les effets bénéfiques de la supplémentation en AA+PP chez les porcelets pourraient donc être liés à la modulation de la composition et de l'activité métabolique du microbiote intestinal. De plus, nos résultats obtenus *in vitro* sur les organoïdes d'intestin suggèrent que des effets directs du mélange d'AA+PP sur l'épithélium digestif pourrait également contribuer aux effets observés *in vivo*.

Le traitement des organoïdes par le mélange d'AA+PP a induit l'expression de gènes de certains marqueurs liés à la différenciation de l'épithélium et a réduit celle de certains marqueurs liés à la prolifération. Ces effets correspondent à ce qui a été observé précédemment sur des organoïdes intestinaux traités par des PP (Casanova-Martí *et al.*, 2020). Au contraire, les AA testés dans le mélange ont précédemment été décrits comme favorisant la prolifération épithéliale (Chalvon-Demersay *et al.*, 2021). Il semblerait donc que l'effet des PP l'emporte sur celui des AA concernant l'équilibre prolifération/différenciation dans l'épithélium. Le mélange d'AA+PP a également réduit l'expression de gènes impliqués dans les réponses immunitaires innées de l'épithélium. La littérature suggère que ces effets pourraient être dus à la fois aux AA et aux PP (Chalvon-Demersay *et al.*, 2021; Girard et Bee, 2020). Globalement, les résultats obtenus *in vitro* montrent que le mélange d'AA+PP module les fonctions de l'épithélium. Des études complémentaires seront nécessaires pour déterminer les conséquences de ces régulations pour la santé digestive des porcelets.

## CONCLUSION

Notre étude montre qu'une supplémentation fonctionnelle avec une faible dose (0,1%) d'AA (L-arginine, L-leucine, L-isoleucine, L-valine, L-cystine) combinée avec 100 ppm d'un extrait de raisin riche en PP améliore la croissance et l'efficacité alimentaires des porcelets lors des deux premières semaines après le sevrage. L'augmentation de l'abondance des Lactobacillaceae dans le jéjunum, la diminution de l'abondance des Proteobacteria dans le caecum et l'augmentation de la production de métabolites bactériens pourraient contribuer aux effets bénéfiques du mélange d'AA et PP. Par ailleurs, les effets directs du mélange d'AA et PP sur l'épithélium intestinal pourraient également participer à améliorer la santé digestive des porcelets.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Beaumont M., Blachier F., 2020. Amino acids in intestinal physiology and health. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 1265, 1-20.
- Beaumont, M., Blanc, F., Cherbuy, C., Egidy, G., Giuffra, E., Lacroix-Lamandé, S., Wiedemann, A., 2021a. Intestinal organoids in farm animals. *Vet. Res.*, 52, 33.
- Beaumont, M., Cauquil, L., Bertide, A., Ahn, I., Barilly, C., Gil, L., Canlet, C., Zemb, O., Pascal, G., Samson, A., Combes, S., 2021b. Gut microbiota-derived metabolite signature in suckling and weaned piglets. *J. Proteome Res.*, 20, 982-994.
- Bian, G., Ma, S., Zhu, Z., Su, Y., Zoetendal, E.G., Mackie, R., Liu, J., Mu, C., Huang, R., Smidt, H., Zhu, W., 2016. Age, introduction of solid feed and weaning are more important determinants of gut bacterial succession in piglets than breed and nursing mother as revealed by a reciprocal cross-fostering model: Gut bacterial succession in piglets. *Env. Micro.*, 18, 1566-1577.
- Casanova-Martí, À., González-Abuín, N., Serrano, J., Blay, M.T., Terra, X., Frost, G., Pinent, M., Ardévol, A., 2020. Long term exposure to a rape seed proanthocyanidin extract enhances L-cell differentiation in intestinal organoids. *Mol. Nutr. Food Res.*, 64, 2000303.
- Chalvon-Demersay, T., Luise, D., Le Floc'h, N., Tesseraud, S., Lambert, W., Bosi, P., Trevisi, P., Beaumont, M., Corrent, E., 2021. Functional amino acids in pigs and chickens: Implication for gut health. *Front. Vet. Sci.*, 8.
- Choy, Y.Y., Quifer-Rada, P., Holstege, D.M., Frese, S.A., Calvert, C.C., Mills, D.A., Lamuela-Raventos, R.M., Waterhouse, A.L., 2014. Phenolic metabolites and substantial microbiome changes in pig feces by ingesting grape seed proanthocyanidins. *Food Funct.*, 5, 2298-2308.
- Escudí, F., Auer, L., Bernard, M., Mariadassou, M., Cauquil, L., Vidal, K., Maman, S., Hernandez-Raquet, G., Combes, S., Pascal, G., 2018. FROGS: Find, Rapidly, OTUs with Galaxy Solution. *Bioinformatics*, 34, 1287-1294.
- Giacomoni, F., Le Corguillé, G., Monsoor, M., Landi, M., Pericard, P., Pétéra, M., Duperier, C., Tremblay-Franco, M., Martin, J.-F., Jacob, D., Goultquer, S., Thévenot, E.A., Caron, C., 2015. Workflow4Metabolomics: a collaborative research infrastructure for computational metabolomics. *Bioinformatics*, 31, 1493-1495.
- Girard M., Bee G., 2020. Invited review: Tannins as a potential alternative to antibiotics to prevent coliform diarrhea in weaned pigs. *Animal*, 14, 95-107.
- Gresse, R., Chaucheyras-Durand, F., Fleury, M.A., Van de Wiele, T., Forano, E., Blanquet-Diot, S., 2017. Gut microbiota dysbiosis in postweaning piglets: understanding the keys to health. *Trends in Microbiology*, 25, 851-873.
- Han, M., Song, P., Huang, C., Rezaei, A., Farrar, S., Brown, M.A., Ma, X., 2016. Dietary grape seed proanthocyanidins (GSPs) improve weaned intestinal microbiota and mucosal barrier using a piglet model. *Oncotarget*, 7, 80313-80326.
- van der Hee B., Wells J.M., 2021. Microbial Regulation of Host Physiology by Short-chain Fatty Acids. *Trends in Microbiology*. 29, 700-712
- Holman D.B., Brunelle B.W., Trachsel J., Allen H.K., 2017. Meta-analysis to define a core microbiota in the swine gut. *mSystems*, 2, e00004-17.
- Lallès, J.-P., Boudry, G., Favier, C., Le Floc'h, N., Luron, I., Montagne, L., Oswald, I.P., Pié, S., Piel, C., Sève, B., 2004. Gut function and dysfunction in young pigs: physiology. *Anim. Res.*, 53, 301-316.
- Larrosa, M., Luceri, C., Vivoli, E., Pagliuca, C., Lodovici, M., Moneti, G., Dolara, P., 2009. Polyphenol metabolites from colonic microbiota exert anti-inflammatory activity on different inflammation models. *Mol Nutr Food Res*, 53, 1044-1054.
- Prates, J.A.M., Freire, J.P.B., de Almeida, A.M., Martins, C., Ribeiro, D.M., Osório, H., Pinho, M.A.S., Lopes, P.A., Correia, J.M.J., Pinto, R.M.A., Costa, T., Corrent, E., Chalvon-Demersay, T., 2021. Influence of dietary supplementation with an amino acid mixture on inflammatory markers, immune status and serum proteome in LPS-challenged weaned piglets. *Animals*, 11, 1143.
- Ren, W., Chen, S., Yin, J., Duan, J., Li, T., Liu, G., Feng, Z., Tan, B., Yin, Y., Wu, G., 2014. Dietary arginine supplementation of mice alters the microbial population and activates intestinal innate immunity. *J Nutr*, 144, 988-995.
- Valeriano V.D.V., Balolong M.P., Kang D.K., 2017. Probiotic roles of *Lactobacillus* sp. in swine: insights from gut microbiota. *J. Applied Micro.*, 122, 554-567.
- Verhelst R., Schroyen M., Buys N., Niewold T., 2014. Dietary polyphenols reduce diarrhea in enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC) infected post-weaning piglets. *J. Livest. Sci.*, 160, 138-140.
- Yang, Z., Huang, S., Zou, D., Dong, D., He, X., Liu, N., Liu, W., Huang, L., 2016. Metabolic shifts and structural changes in the gut microbiota upon branched-chain amino acid supplementation in middle-aged mice. *Amino Acids*, 48, 2731-2745.

# Etude de sources protéiques alternatives (pois et lupin doux) en remplacement du soja dans les aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge

Ashley SIJMONSBERGEN (1), Rhana AARTS (1), Clément MOIRE (2), Ard VAN ENCKEVORT (1)

(1) Denkavit Nederland BV, Tolnegeweg 65, 3781 PV Voorthuizen, Pays-Bas

(2) Denkavit France SARL, ZI de Méron, 49260 Montreuil-Bellay, France

[a.sijmonsbergen@denkavit.nl](mailto:a.sijmonsbergen@denkavit.nl)

## Etude de sources protéiques alternatives (pois et lupin doux) en remplacement du soja dans les aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge

L'une des sources de protéines les plus utilisées en nutrition animale est le soja. Considérant son importation majoritairement hors Union Européenne, il est intéressant d'étudier des sources protéiques alternatives plus durables. Le pois et le lupin doux peuvent être produits en Europe et devenir ainsi des sources alternatives intéressantes. Afin d'identifier la possibilité d'un remplacement partiel du soja par du pois ou du lupin dans les aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge, les performances et les digestibilités ont été suivies durant les 5 premières semaines après sevrage. Deux essais ont ainsi été conduits au centre de Recherche et d'Innovation Denkavit, Pays-Bas. Dans le premier essai (n = 48 porcelets), les performances et digestibilités après sevrage ont été mesurées lors de la deuxième semaine et cinquième semaine chez les animaux recevant un aliment standard contenant 18% de tourteau de soja (TS) ou 19% de lupin doux. Dans le deuxième essai (n = 66 cases pour 393 porcelets), les performances de porcelets ayant reçu un aliment standard avec TS, un aliment où le TS est remplacé partiellement par du pois, ou par du lupin doux ont été suivies sur la totalité du post-sevrage. Dans chacun des essais, la consommation, le gain de poids vif et l'indice de consommation ne diffèrent pas significativement entre les groupes. Aucune différence significative entre les groupes n'a été relevé quant à la consistance des fèces. Dans le premier essai, il a pu être mis en avant que la rétention de l'azote et la digestibilité de la matière grasse, de la cellulose brute et de la matière sèche de l'aliment n'était pas affectée par le remplacement partiel du soja par du lupin. Ces essais démontrent que le pois et le lupin peuvent partiellement remplacer le soja dans des aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge sans compromettre l'ingéré, la digestibilité de l'aliment et la croissance des animaux.

## Testing the ability of alternative protein sources (pea and sweet lupine) to replace soybean in weaner and rearing diets

One of the protein sources used most in the feed industry is soybean. Since it is commonly imported from outside the European Union, it is interesting to look at alternative protein sources that are produced more sustainably. Because field peas and blue lupines can be produced inside the European Union, they may be relevant alternative sources. To identify the ability to replace some soybean in weaner and rearing diets with pea and lupine, piglet performances and digestibilities were measured for the first five weeks after weaning. Two trials were conducted at the Denkavit Research & Innovation Center, Netherlands. In the first trial (n=48 piglets), the performance and nutrient digestibility in the second and fifth week after weaning were measured for a standard diet with 18% soybean meal or 19% sweet lupine. In the second trial (n = 66 pens for 393 piglets), the performance of weaner and rearing piglets fed either a conventional diet with soybean or a diet in which some soybean was replaced by either pea or sweet lupine was monitored. In both trials, daily feed intake and daily weight gain did not differ significantly between the treatment groups. No significant difference was observed between groups concerning fecal consistency. In the first trial, nitrogen absorption, and fat, crude fiber and dry matter digestibility remained unaffected by replacing some soybean protein with lupine. These trials show that field pea and blue lupine as alternative protein sources can effectively replace some soybean protein in weaner and rearing diets without compromising growth, feed intake or nutrient digestibility.



## INTRODUCTION

L'une des sources protéiques les plus utilisées dans la nutrition animale est le tourteau de soja (TS). Le TS est une matière première intéressante pour l'animal considérant son coût d'incorporation, sa forte teneur en protéine et sa composition favorable en acides aminés. Considérant son importation principalement en dehors de l'Union Européenne, le soja ne figure pas comme une matière première durable. Ainsi, dans une perspective de durabilité et de recherche d'une plus grande autonomie protéique, il apparaît comme intéressant de rechercher et étudier des sources protéiques alternatives plus adaptées à une production d'avenir. Le lupin bleu (*Lupinus angustifolius*) et le pois cultivé (*Pisum sativum*) peuvent être cultivés dans l'Union Européenne et pourraient ainsi constituer des sources protéiques alternatives intéressantes. En comparaison du TS, la graine de lupin bleu contient 31% de protéine brute en moins tandis que le pois cultivé en contient 50% de moins. Concernant les Polysaccharides Non Amylacés (PNA), la graine de lupin bleu contient 47% de PNA en plus tandis que le pois cultivé en contient 25% de moins. D'autre part, le lupin bleu et le pois cultivé sont déficient en lysine, thréonine et tryptophane par rapport au TS (Kim *et al.*, 2007).

Les études portant sur l'effet des lupins et pois sur les performances en nutrition porcine ne sont pas unanimes. Des réductions significatives de la consommation (Kasproicz-Potocka *et al.*, 2013) et de la croissance (Degola et Jonkus, 2018) ont été observées lorsque le TS était substitué partiellement par des graines de lupin bleu chez le porcelet sevré. D'autre part, plusieurs études ont mis en avant la possibilité d'incorporer du lupin bleu dans des aliments 1<sup>er</sup> âge (Kim *et al.*, 2012) ou en engraissement (Kim *et al.*, 2007) sans compromettre les performances ou la santé intestinale. Concernant le pois, une digestibilité protéique inférieure a été observé avec le remplacement de concentré protéique de soja par un concentré protéique de pois (Parera *et al.*, 2010), mais sans compromettre les performances (Parera *et al.*, 2010 ; Gunawerdana *et al.*, 2010).

Par l'aspect contradictoire et incomplet des résultats de ces

divers essais, davantage de travaux sont nécessaires concernant l'étude des performances et digestibilités sur les phases 1<sup>er</sup> âge et 2<sup>ème</sup> âge. L'objectif des essais présentés était d'étudier la possibilité de remplacer partiellement le TS par du pois ou du lupin dans les aliments 1<sup>er</sup> âge et 2<sup>ème</sup> âge par la digestibilité, puis de vérifier l'effet sur les performances des porcelets.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Essai 1 : Effet du remplacement partiel du tourteau de soja par du lupin bleu sur la digestibilité des aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge

#### 1.1.1. Animaux et dispositif expérimental

Cet essai a été conduit au centre de Recherche et d'Innovation Denkavit (Voorthuizen-Pays-Bas) sur 48 porcelets TN70 x Tempo sevrés à 21 jours ( $6,7 \pm 0,3$  kg) et répartis par paires dans 24 cases. Les cases sont constituées de parois solides avec caillebotis permettant la récupération des fèces et urines. Autant les mâles que les femelles ont été incorporés sans distinction dans cet essai et répartis équitablement entre les groupes. En post-sevrage, les porcelets ont reçu un aliment 1<sup>er</sup> âge dès le premier jour (J1) jusqu'à J16 et un aliment 2<sup>ème</sup> âge de J17 à la fin de l'essai. Les porcelets du groupe A ont reçu des aliments 1<sup>er</sup> âge et 2<sup>ème</sup> âge standards, tandis que les porcelets du groupe B ont reçu des aliments 1<sup>er</sup> âge et 2<sup>ème</sup> âge où le TS a été remplacé partiellement par de la graine de lupin bleu. Les aliments étaient iso-énergétiques et corrigés sur les acides aminés essentiels (Tableau 1). Les porcelets ont reçu l'aliment deux fois par jour à un niveau correspondant à leur poids (3,2 x besoin énergétique d'entretien basé sur un besoin d'entretien de 310 kJ EN/kg poids vif<sup>0.75</sup>) tels que défini par le protocole d'étude de la digestibilité de Schotorst Feed Research (Ouweltjes *et al.*, 2017). Les porcelets ont reçu l'aliment une heure avant les deux collectes de fèces détaillées ci-après, soit à 8h30 et 15h00. La durée de l'essai était de 5 semaines et les collectes et mesures ont été réalisées à la deuxième et cinquième semaine après sevrage. Les première, troisième et quatrième semaines ont servi de périodes d'adaptation au nouvel aliment pour les porcelets.

**Tableau 1** – Composition (%) et valeurs nutritionnelles calculées (%) des aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge de l'essai 1

	1 <sup>er</sup> âge A	1 <sup>er</sup> âge B	2 <sup>ème</sup> âge A	2 <sup>ème</sup> âge B
<b>Composition des aliments, % du brut</b>				
Orge	50,86	43,79	28,23	20,92
Céréales extrudées	20,00	20,00	10,00	10,00
Maïs	-	-	10,00	10,00
Blé	-	-	20,00	20,00
Tourteau de soja	17,83	5,33	12,85	-
Graines de soja	-	-	10,27	10,49
Lupin bleu	-	19,05	-	19,58
Huile végétale	2,29	2,37	1,09	1,11
Poudre de lactosérum	4,00	4,00	2,00	2,00
Acides aminés de synthèse <sup>1</sup>	0,36	0,52	0,73	0,93
Minéraux et vitamines	4,66	4,63	4,83	4,81
<b>Valeurs nutritionnelles</b>				
Matière sèche, %	88,37	88,77	88,55	88,98
Protéine brute, %	17,52	17,11	18,52	18,16
Matières grasses, %	4,53	5,37	5,25	6,10
Cellulose brute, %	3,45	5,54	3,20	5,36
Energie nette, MJ/kg	9,83	9,84	10,00	10,01
Lysine, %	1,17	1,16	1,15	1,15
Calcium, %	0,75	0,74	0,78	0,78
Phosphore, %	0,58	0,54	0,55	0,52

<sup>1</sup> L-Lysine, DL-Méthionine, L-Thréonine, L-Valine, L-Tryptophane 12,5%

Les porcelets ont été pesés individuellement au sevrage, ainsi qu'à J5, J12, J26 et J33 de l'essai. Les consommations d'aliment et d'eau ont été enregistrées du lundi au vendredi par pesée de la quantité distribuée quotidiennement et de la quantité d'aliment restant en fin de semaine dans le nourrisseur. Le gaspillage n'a pas été pris en compte dans le calcul de la consommation d'eau et d'aliments.

### 1.1.2. Prélèvements

Durant les semaines de collecte, les fèces et urines ont été collectées deux fois par jour. Les fèces ont été prélevées sur un tamis à travers lequel l'urine pouvait passer et être collectée dans un seau de manière séparée. Les poids quotidiens des fèces et urines frais ont été mesurés et enregistrés avant mélange des différents échantillons obtenus sur la même semaine. Ces mélanges ont ensuite été analysés en laboratoire afin de déterminer la teneur en matière sèche pour les fèces (séchage à 104°C pendant 24°C), en cellulose brute (méthode van Soest), en azote total (méthode de Kjeldahl) et en matières grasses (méthode par hydrolyse acide). Pour la conservation pour analyse ultérieure, les fèces ont été mélangées avec de l'eau déminéralisée (1:2) et 175 cc de ce mélange ont été conservés avec 2 cc de formaldéhyde et entreposés à 4°C. Concernant l'urine, de l'acide chlorhydrique 6N a été ajouté au seau en début de collecte pour la conservation et éviter les pertes azotées. Le dosage d'acide chlorhydrique a été de 60mL par 24H pour une case de deux porcelets sur les semaines 4 et 5 et de 90mL par 24H pour une case de deux porcelets sur les semaines 6 et 7 de l'essai. Après collecte de l'urine, une analyse du pH a été effectuée afin de garantir un pH<2. En cas de pH supérieur, davantage d'acide chlorhydrique a été ajouté jusqu'à obtenir un pH2. La couleur (noir-gris, gris, gris clair, brun) et la consistance (ferme, ferme-molle, molle, molle-liquide et liquide) des fèces ont été notées lors des collectes (9h30 et 16h00). La digestibilité fécale (%) de la matière sèche, cellulose brute, azote et des matières grasses a été calculée par différence entre l'ingestion et les pertes fécales (100\*[1-(pertes fécales/ingestion)]). La rétention azotée (g/j) a été calculée à partir de l'azote (N) ingéré et excrété dans les fèces et les urines.

### 1.2. Essai 2 : Effet du remplacement partiel de la protéine de soja par du lupin bleu ou du pois cultivé sur les performances de porcelets en phases 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge

Ce deuxième essai a été mené à la suite de l'essai 1 au centre de Recherche et d'Innovation Denkvit de Juin à Juillet 2020. Dans cet essai, 393 porcelets TN70 x Tempo ont été sevrés à 27 jours d'âge et répartis dans 66 cases avec 6 porcelets par case. Les porcelets ont été pesés au sevrage et répartis entre les cases afin d'obtenir un poids de début d'essai similaire entre les différents groupes. Autant les mâles que les femelles ont été incorporés dans cet essai et répartis équitablement entre les groupes expérimentaux. Trois groupes ont été constitués lors de cet essai. Le groupe A a reçu des aliments 1<sup>er</sup> âge et 2<sup>ème</sup> âge standards, dont l'apport protéique était principalement basé sur le tourteau de soja. Dans les aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge du groupe B, 7,5% et 15,0% du TS ont été remplacés par du pois cultivé (*Pisum sativum*). Dans le groupe C, 5,3% et 10,5% du TS ont été remplacés par de la graine de lupin bleu (*Lupinus angustifolius*). Les aliments étaient iso-énergétiques (9,99 MJ/kg pour l'aliment 1<sup>er</sup> âge ; 9,76 MJ/kg pour l'aliment 2<sup>ème</sup> âge) et le remplacement du tourteau de soja par les sources protéiques alternatives a été réalisé en maintenant la même valeur en protéine brute (17,65% pour l'aliment 1<sup>er</sup> âge ; 18,00% pour l'aliment 2<sup>ème</sup> âge). L'aliment 1<sup>er</sup> âge a été distribué aux

porcelets durant les deux premières semaines après sevrage et l'aliment 2<sup>ème</sup> âge durant les trois semaines suivantes. Tous les aliments ont été distribués ad-libitum. Les compositions des aliments sont détaillées dans les tableaux 2 et 3.

**Tableau 2** – Composition (%) et valeurs nutritionnelles (%) des aliments 1<sup>er</sup> âge de l'essai 2

Groupe	A	B	C
<b>Composition des aliments %</b>			
Orge	49,46	44,62	47,28
Céréales extrudées	20,00	20,00	20,00
Lupin bleu	-	-	5,27
Pois cultivé	-	7,50	-
Tourteau de soja	17,83	15,89	14,77
Noyau laitier	5,50	5,50	5,50
Acides organiques	1,30	1,30	1,30
Huile végétale	1,00	1,00	1,00
Graine de soja	0,81	-	0,65
Acides aminés de synthèse <sup>1</sup>	0,83	0,92	0,94
Minéraux et vitamines	3,27	3,27	3,29
<b>Valeurs nutritionnelles (%)</b>			
Protéine brute	17,65	17,65	17,65
Matière grasse	4,29	4,06	4,51
Cellulose brute	3,29	3,37	3,87
Energie nette (MJ/kg)	9,99	9,99	9,99
Lysine	11,75	11,82	11,73

<sup>1</sup> L-Lysine, DL-Méthionine, L-Thréonine, L-Tryptophane 12,5%

**Tableau 3** – Composition (%) et valeurs nutritionnelles (%) des aliments 2<sup>ème</sup> âge de l'essai 2

Groupe	A	B	C
<b>Composition aliment %</b>			
Orge	30,81	21,04	26,59
Blé	20,00	20,00	20,00
Tourteau de soja	15,27	11,18	9,18
Céréales extrudées	10,00	10,00	10,00
Maïs	10,00	10,00	10,00
Graines de soja	5,31	4,02	4,87
Lupin bleu	-	-	10,53
Pois cultivé	-	15,00	-
Noyau laitier	3,00	3,00	3,00
Lignocellulose Opticell®	1,00	1,00	1,00
Acides aminés de synthèse	1,27	1,44	1,50
Acides organiques	0,30	0,30	0,30
Minéraux et vitamines	3,04	3,02	3,03
<b>Valeurs nutritionnelles (%)</b>			
Protéine brute	18,01	18,00	18,00
Matière Grasse	3,58	3,19	4,01
Cellulose Brute	3,60	3,76	4,76
Energie nette (MJ/kg)	9,76	9,76	9,76
Lysine	12,58	12,73	12,53

<sup>1</sup> L-Lysine, DL-Méthionine, L-Thréonine, L-Valine, L-Tryptophane 12,5%

Après la première pesée au sevrage, toutes les mesures ont été réalisées par case. Les pesées par case ont été réalisées au jour 8, 15 et 36. La couleur et la consistance des fèces d'une case ont été notées aux jours 5, 8, 15, 19, 22, 29 et 36. La notation a été réalisée de manière similaire à l'essai 1 présenté précédemment. Le gain moyen quotidien (GMQ) et la consommation moyenne journalière (CMJ) ont été calculés suite à ces mesures. La quantité d'aliment ingéré étant relevée par période, la CMJ est alors calculée en divisant l'ingéré total de la case sur la période donnée par le nombre de porcelets restant dans la case en fin de période.

### 1.3. Statistiques

Pour les deux essais, les données ont été analysées avec le logiciel de statistique SPSS, version 19. Avant chacune des analyses réalisées par variable, la normalité (coefficients d'asymétrie et d'aplatissement entre -2 et 2) et l'homogénéité de la variance (test de Levene) ont été vérifiées. En cas de normalité et d'homogénéité de la variance, un test paramétrique (ANOVA) a été réalisé avec le groupe en facteur fixe et les différentes mesures comme variable dépendante (poids à 8 jours, absorption protéique etc.). Pour les données de digestibilité, un test de Student a été réalisé dans ce cas de normalité et d'homogénéité de la variance. L'analyse post-hoc a été réalisée en utilisant le test de Bonferroni dans le cadre du second essai. En cas de non-respect de la normalité et homogénéité des variances, un test non-paramétrique a alors été réalisé (Kruskal-Wallis) autant pour les données de performance que celles de digestibilité. Concernant les scores fécaux, une moyenne des scores a été calculée pour chaque groupe et l'analyse post-hoc a été réalisée en utilisant le test de Tukey. Une différence statistiquement significative entre les traitements a été acceptée à  $P < 0,05$ .

## 2. RESULTATS

### 2.1. Croissances et ingestions

Dans le premier essai, les GMQ étaient comparables pour les porcelets du groupe A et du groupe B sur la phase 1<sup>er</sup> âge (respectivement  $257 \pm 94$  vs  $216 \pm 114$  g/j ;  $P = 0,19$ ) comme sur la phase 2<sup>ème</sup> âge (respectivement  $379 \pm 135$  vs  $361 \pm 173$  g/j ;  $P = 0,68$ ). De plus, les CMJ des porcelets étaient également similaires pour les groupes A et B lors la deuxième semaine post-sevrage (respectivement  $313 \pm 94$  vs  $321 \pm 124$  g/j ;  $P = 0,63$ ) comme lors de la cinquième semaine de post-sevrage (respectivement  $1748 \pm 256$  vs  $1605 \pm 306$  g/j ;  $P = 0,53$ ).

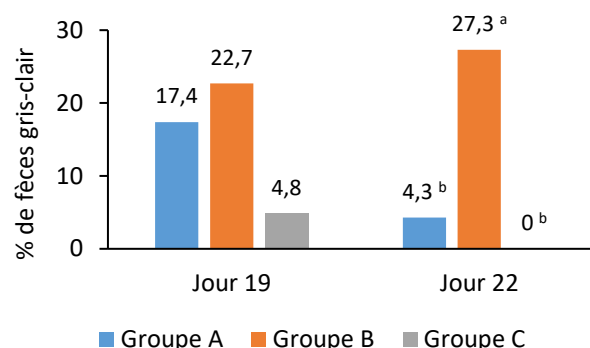
Les GMQ et CMJ mesurés dans le deuxième essai sont représentés dans le tableau 4. Les GMQ et CMJ des trois groupes ne présentaient pas de différence significative en 1<sup>er</sup> âge et 2<sup>ème</sup> âge, ni sur la totalité du post-sevrage.

### 2.2. Scores fécaux

Dans le premier essai, aucune différence significative portant sur la couleur des fèces n'a pu être observée entre les deux groupes ainsi qu'entre les semaines de prélèvement. De même, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes quant à la consistance des fèces la deuxième semaine après sevrage (groupe A : 20,5% ferme, 61,4% ferme-molle ; groupe B : 30% ferme, 57,5% ferme-molles) et la cinquième

semaine après sevrage (groupe A : 66,6% ferme-molle ; groupe B : 75% ferme-molle).

Dans le second essai, la couleur des fèces était davantage gris-clair au jour 22 pour le groupe B par rapport au groupe A ( $P=0,03$ ) et C ( $P = 0,008$ ). La proportion de fèces gris-clair dans les groupes est représentée à la Figure 1.



**Figure 1** – Pourcentage de fèces grises et plus dans les groupes expérimentaux aux jours 19 et 22

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $P < 0,05$ )

De manière générale, la totalité des groupes ont présenté des fèces plus molles directement après le sevrage.

### 2.3. Absorption et rétention

Les niveaux d'ingestion n'ont pas été affecté significativement par le régime alimentaire. Les données de digestibilité et de rétention sont représentées dans le tableau 5. La digestibilité et la rétention de l'azote étaient à des niveaux comparables entre les groupes la première semaine (6,5 ± 1,9 g/j vs 6,4 ± 0,9 g/j / 5,9 ± 1,8 g/j vs 5,9 ± 1,0 g/j) comme la deuxième semaine de collecte (15,1 ± 1,5 g/j vs 15,1 ± 1,2 g/j / 13,3 ± 1,5 g/j vs 13,4 ± 1,5 g/j). La première semaine de collecte, l'absorption de la matière grasse du groupe B (80,1 ± 4,6 %) était similaire ( $P = 0,13$ ) à celle du groupe A (80,1 vs 77,3 %). L'absorption de la matière grasse lors de la deuxième semaine de collecte était comparable entre les deux groupes. La digestibilité de la cellulose brute était plus élevée de façon non-significative pour le groupe B durant la première semaine en comparaison du groupe A (23,3 ± 19,2 % vs. 9,4 ± 9,0 %) et inversement lors de la deuxième semaine de collecte (28,4 ± 11,9 vs 35,4 ± 6,7). L'écart type étant relativement élevé, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence. La digestibilité de la matière sèche était comparable entre les groupes la première semaine ainsi que la deuxième semaine de collecte.

**Tableau 4** – Gain moyen quotidien et consommation moyenne journalière selon le groupe du deuxième essai (moyenne ± ET)

Groupe	A	B	C	P-value
<b>Consommation moyenne journalière (g/porcelet/jour)</b>				
Période de 1 <sup>er</sup> âge (jour 1-15)	224 ± 40	236 ± 40	223 ± 32	0,37
Période de 2 <sup>ème</sup> âge (jour 16-36)	650 ± 66	651 ± 67	647 ± 72	0,99
Totalité du post-sevrage (jour 1-36)	480 ± 51	485 ± 51	477 ± 53	0,89
<b>Gain moyen quotidien (g/porcelet/jour)</b>				
Période de 1 <sup>er</sup> âge (jour 1-15)	230 ± 38	236 ± 36	229 ± 40	0,80
Période de 2 <sup>ème</sup> âge (jour 16-36)	673 ± 69	652 ± 59	648 ± 74	0,40
Totalité du post-sevrage (jour 1-36)	496 ± 48	486 ± 39	480 ± 48	0,50

**Tableau 5** – Coefficient d'Utilisation Digestive apparent CUDa (%) et rétention (g/j) moyennes ( $\pm$ ET) de la matière sèche, de l'azote, de la matière grasse et de la cellulose brute sur les deux semaines de collecte de l'essai 1

Semaine de collecte		CUDa (%)		Rétention (g/j)		P value	
		A	B	A	B	Digestibilité	Rétention
1	Matière sèche	84,4 $\pm$ 1,7	83,7 $\pm$ 3,0	-	-	0,50	-
	Azote	81,2 $\pm$ 2,3	80,2 $\pm$ 4,4	5,9 $\pm$ 1,8	5,9 $\pm$ 1,0	0,51	0,84
	Matière grasse	77,3 $\pm$ 2,6	80,1 $\pm$ 4,6	-	-	0,12	-
	Cellulose brute	9,4 $\pm$ 9,0	23,3 $\pm$ 19,2	-	-	0,24	-
2	Matière sèche	86,7 $\pm$ 1,1	86,2 $\pm$ 1,5	-	-	0,32	-
	Azote	83,0 $\pm$ 2,2	82,2 $\pm$ 1,6	13,3 $\pm$ 1,5	13,4 $\pm$ 1,5	0,33	0,67
	Matière grasse	77,2 $\pm$ 5,4	80,1 $\pm$ 2,6	-	-	0,22	-
	Cellulose brute	35,4 $\pm$ 6,7	28,4 $\pm$ 11,9	-	-	0,16	-

### 3. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de définir la possibilité de remplacer (partiellement) la protéine de soja dans les aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge par des sources protéiques alternatives.

Les GMQ (durant les phases 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge, ainsi que sur la totalité du post-sevrage, n'ont pas été affectés par l'aliment dans chacun des essais. Ce résultat est en accord avec les observations de Gunawerdana *et al.* (2010) avec 17,5% d'incorporation de pois cultivé, ainsi que celles de Kim *et al.* (2012) avec 6% à 24% d'incorporation de lupin bleu, et enfin celles de Kasproicz-Potocka *et al.* (2013) avec 20,5% d'incorporation de lupin bleu. De plus, aucun effet de l'aliment n'a été mis en avant sur la CMJ dans chacun des essais. Cette observation est également en accord avec les travaux de Gunawerdana *et al.* (2010) et de Kim *et al.* (2012). Toutefois, Kasproicz-Potocka *et al.* (2013) mettaient en avant une diminution de l'ingéré des porcelets ayant reçu un aliment contenant 20,5% de lupin bleu brut (1047 g/j d'ingéré) comparé à celui de porcelets ayant reçu un aliment contenant 16% de lupin jaune brut (1136 g/j d'ingéré) ou un aliment conventionnel avec tourteau de soja (1179 grammes/jour,  $P = 0,045$ ). La différence avec ce dernier essai pourrait éventuellement résider dans la différence des niveaux d'incorporation de lupin dans l'essai 2 présenté ici (5,3% en 1<sup>er</sup> âge et 10,5% en 2<sup>ème</sup> âge).

Dans les deux essais, aucun effet sur la consistance fécale n'a été relevé avec le remplacement du TS par du lupin. Kim *et al.* (2012) ont défini la consistance fécale en tant que score cumulé de porcelets ayant des fèces liquides et aucun effet de l'incorporation de lupin dans l'aliment sur le score fécal n'avait alors été rapporté. Cependant et dans ce même essai, le pourcentage moyen de jours de diarrhées en post-sevrage avait diminué avec l'incorporation de 6%, 12% ou 18% de lupin bleu dans l'aliment (0,7% pour ces trois groupes vs 2,1% pour le groupe témoin) (Kim *et al.*, 2012).

Dans cette étude, aucun effet n'a été relevé quant à la rétention de l'azote et la digestibilité de la matière grasse, de la cellulose brute et de la matière sèche, autant sur la phase 1<sup>er</sup> âge que sur la phase 2<sup>ème</sup> âge. Cependant, Kim *et al.* (2012) ont observés une baisse du CUDa lors de l'incorporation de lupin aux jours 7 et 21 après sevrage ( $P < 0,001$ ). Le CUDa du groupe témoin était ainsi de 85% tandis qu'il chutait à 79% avec l'incorporation de 6% de lupin dans l'aliment. Dans cette même étude, Kim *et al.* (2012) ont observé que le CUDa de la matière sèche était négativement corrélée aux valeurs NDF et ADF ( $P < 0,001$ ). Il est ainsi supposé qu'aucun effet sur la digestibilité n'a été mis en avant dans la présente étude étant donné que les valeurs NDF et ADF de l'aliment A (respectivement 118 g/kg aliment et 44 g/kg aliment) et de l'aliment B (respectivement 150 g/kg aliment et 69 g/kg aliment) n'étaient pas comparables avec la valeur NDF supérieure à 180 g/kg de l'aliment contenant du lupin dans l'essai de Kim *et al.* (2012).

### CONCLUSION

Un remplacement partiel de la protéine de soja soit par du pois cultivé, soit par du lupin bleu n'affecte pas la croissance ni la consommation du porc sur les phases de 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge. L'augmentation de la teneur en cellulose brute par l'incorporation du lupin bleu semble prometteuse pour l'amélioration de la consistance des fèces en post-sevrage. La rétention de l'azote et la digestibilité de la matière sèche, de la matière grasse ou de la cellulose brute restent inchangées avec le remplacement partiel de la protéine de soja par le lupin bleu.

Pour conclure, des sources protéiques alternatives telles que le pois cultivé et le lupin bleu peuvent efficacement remplacer la protéine de soja dans les aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge sans compromettre la croissance, la consommation ni la digestibilité des nutriments.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Degola L., Jonkus D., 2018. The influence of dietary inclusion of peas, faba bean and lupin as a replacement for soybean meal on pig performance and carcass traits. *Agron. Res.*, 16(2), 389-397.
- Gunawardena C.K., Zijlstra R.T., Goonewardene L.A., Beltranena E., 2010. Protein and starch concentrates of air-classified field pea and zero-tannin faba bean for weaned pigs. *J. Anim. Sci.*, 88(8), 2627-2636.
- Parera N., Lázaro R.P., Serrano M.P., Valencia D.G., Mateos G.G., 2010. Influence of the inclusion of cooked cereals and pea starch in diets based on soya or pea protein concentrate on nutrient digestibility and performance of young pigs. *J. Anim. Sci.*, 88(2), 671-679.
- Kasproicz-Potocka M., Chilomer K., Zaworska A., Nowak W., Frankiewicz A., 2013. The effect of feeding raw and germinated *Lupinus luteus* and *Lupinus angustifolius* seeds on the growth performance of young pigs. *J. Anim. Feed Sci.*, 22(2), 116–121.
- Kim J.C., Pluske J.R., Mullan B.P., 2007. Lupins as a protein source in pig diets. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Sciences, Nutrition and Natural Resources* 2, No. 003, 12 pp.
- Kim J.C., Heo J.M., Mullan B.P., Pluske J.R., 2012. Performance and intestinal responses to dehulling and inclusion level of Australian sweet lupins (*Lupinus angustifolius* L.) in diets for weaner pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 172, 201-209.
- Ouweljes W., Verschuren L.M.G., Pijlman J., Bergsma R., Schokker D., Knol E.F., van der Aar P.J., Molist F., Calus M.P.L., 2018. The repeatability of individual nutrient digestibility in pigs. *Livest. Sci.* 207, 63-67.

# Impact du déoxynivalénol et de l'ajout de phytase dans un protocole de déplétion et réplétion en calcium chez le porcelet

Béatrice SAUVÉ, Frédéric GUAY, Marie-Pierre LÉTOURNEAU MONTMINY

Département des sciences animales, Université Laval, 2425 rue de l'Agriculture, Québec (QC), Canada, G1V 0A6

marie-pierre.letourneau-montminy@fsaa.ulaval.ca

## Impact du déoxynivalénol et de l'ajout de phytase dans un protocole de déplétion et réplétion en calcium chez le porcelet

La présente étude visait à étudier différents facteurs de modulation de l'utilisation du phosphore (P) que sont les apports de calcium (Ca) et de phytase et la contamination au déoxynivalénol (DON). Quatre-vingts porcelets répartis en 8 blocs ont reçu l'un des 5 traitements suivants durant une première phase de 13 jours : les traitements témoin (DON-) et contaminé au DON (DON+, 2,72 mg/kg d'aliment) apportant des niveaux bas (Ca-, 0,39%) ou non (Ca+, 0,65%) de Ca avec un niveau de phosphore (P) digestible constant (0,40%) et un 5<sup>ème</sup> traitement (Phyt) qui était iso P et Ca avec le Ca+ avec 750 FTU/kg de phytase. Durant la seconde phase de 14 jours, les porcelets recevant les 4 premiers traitements (Ca+, Ca-, DON- et DON+) ont tous reçu un aliment avec les mêmes niveaux de Ca (0,65%) et P digestible (0,35%) sans contamination au DON. Les porcs recevant de la phytase en phase 1 ont continué d'en recevoir (Phyt). Les traitements Phyt ont été analysés séparément des traitements DON. En plus des performances de croissance et du coefficient d'utilisation digestive (CUD) du Ca et du P, le contenu minéral osseux (CMO) d'un porcelet par case a été mesuré au début de l'essai et après chaque phase. Après la phase 1, l'indice de conversion était inférieur pour Ca- ( $P < 0,01$ ) et Phyt ( $P = 0,02$ ) comparativement au Ca+. Le CUD du P était supérieur pour le traitement DON+ recevant Ca- (Interaction DON x Ca,  $P < 0,01$ ) et le CUD du Ca était supérieur pour DON+ ( $P < 0,001$ ). Le CUD du P et du Ca était supérieur pour Phyt ( $P < 0,001$  et  $0,01$ ). Le CMO était plus faible chez les Ca- et supérieur chez les Ca+ avec DON+ (Interaction DON x Ca,  $P < 0,001$ ). Le ratio Ca/P plasmatique était augmenté pour Phyt ( $P = 0,02$ ). Après la phase 2, le gain moyen quotidien ( $P = 0,08$ ) des porcelets Ca- tendait à être inférieur au Ca+. Contrairement aux porcs du lot Ca- avec DON+ (Interaction DON x Ca,  $P = 0,06$ ), les Ca-DON- ont rattrapé leur déficit en CMO. Le ratio Ca/P plasmatique était encore supérieur pour Phyt ( $P = 0,03$ ). Les résultats montrent que les porcelets peuvent rattraper le déficit de minéralisation osseuse induit par la déplétion s'ils ne recevaient pas un aliment contaminé au DON. Les porcelets Phyt présentaient des résultats de performance et de minéralisation osseuse similaires au Ca+ sans toutefois être différents des Ca-.

## Impact of DON and phytase inclusion in a protocol of calcium depletion and repletion in piglets

This study aimed to evaluate factors that modulate phosphorus (P) use, such as calcium (Ca) intake, deoxynivalenol (DON) contamination and phytase supplementation. A total of 80 piglets received one of 5 treatments distributed into 8 blocks during an initial 13-day phase; 4 of the treatments were the control (DON-) or DON-contaminated treatment (DON+, 2.72 mg/kg) with either a low Ca (Ca-, 0.39%) or normal Ca (Ca+, 0.65%) level with a constant digestible P level (0.40%). The fifth treatment (Phyt) was iso P and Ca with Ca+ with 750 FTU/kg of phytase. During a second 14-day phase, the piglets that received Ca+ and Ca- were fed a similar diet containing 0.65% Ca and 0.35% P without DON contamination. Piglets that received phytase in phase 1 continued to receive it (Phyt). Growth performance and total tract digestibility (TTD) of Ca and P for all piglets and bone mineral content (BMC) of one pig per pen were evaluated at the start of the trial and after each phase. After phase 1, the feed conversion ratio was lower for Ca- ( $P < 0.01$ ) and Phyt ( $P = 0.02$ ) than for Ca+. The TTD of P was higher for Ca- with DON+ (DON x Ca interaction,  $P < 0.01$ ) and Phyt ( $P < 0.001$ ). The TTD of Ca was higher for DON+ ( $P < 0.001$ ) and Phyt ( $P < 0,01$ ). The BMC was lower for Ca- and even lower for Ca- with DON+ (DON x Ca interaction,  $P < 0,001$ ). The Ca:P plasma ratio was higher for Phyt ( $P = 0.02$ ). After phase 2, the average daily gain ( $P = 0.08$ ) tended to be lower for Ca- than for Ca+. Ca- piglets regained their BMC deficit, although those that received Ca- with DON+ remained lower (DON x Ca interaction,  $P = 0.06$ ). The Ca:P plasma ratio remained higher for Phyt ( $P = 0.03$ ). The results show that piglets can regain the bone mineralization deficit caused by Ca depletion if they did not receive DON contaminated feed. The Phyt piglets showed similar growth performances and BMC to those of Ca+, although they were not different from Ca- piglets.

## 1. INTRODUCTION

Dans le contexte d'un prix variable de vente des porcs et d'une hausse du coût des aliments, la réduction du coût de production et principalement des aliments est un défi constant pour les producteurs (Centre de Développement du Porc du Québec, 2019). Afin de diminuer ces coûts, les ingrédients des aliments peuvent être diversifiés avec des grains et des coproduits parfois de moindre qualité. Ces aliments peuvent ainsi être contaminés avec des mycotoxines. Une des mycotoxines les plus répandues dans les aliments est le déoxyvalénol (DON) qui est produite par un champignon du genre *Fusarium*. Le DON est un métabolite secondaire qui contamine le blé, le maïs, l'orge et l'avoine (Döll *et al.*, 2009). Chez le porc, il est connu que le DON à concentration supérieure à 1,0 mg/kg (Accensi *et al.*, 2006) entraîne une anorexie, une diminution de la croissance (Etienne, 2007 ; Bonnet *et al.*, 2012) et peut également modifier le métabolisme phosphocalcique à concentration de 4,0 mg/kg (Sauvé *et al.*, 2021 ; Le Thanh *et al.*, 2015).

Un autre enjeu économique et environnemental de la production porcine est la gestion du phosphore (P) un élément essentiel tant pour les animaux que pour les plantes qu'il est primordial d'utiliser judicieusement. En effet, les phosphates minéraux sont une ressource non renouvelable (Cordell et White, 2013 ; Dourmad *et al.*, 2020). Le protocole de déplétion et réplétion permet de déclencher des régulations durant la phase de déplétion afin d'entraîner des régulations chez le porc par les principales hormones régulatrices et ainsi améliorer l'efficacité d'utilisation de ces deux éléments (Létourneau-Montminy *et al.*, 2011). En effet, le métabolisme phosphocalcique est finement régulé par la parathormone (PTH), la calcitonine et la vitamine D (Courbebaisse et Souberbielle, 2011 ; Karsdal *et al.*, 2008). Une seconde solution pour améliorer l'utilisation du P provenant des ingrédients est de compléter l'aliment en phytase qui permet l'hydrolyse du phytate en P disponible (Lautrou *et al.*, 2021).

L'objectif de ce travail était donc d'évaluer l'impact d'une stratégie de déplétion-réplétion en présence du DON sur les performances de croissance, le métabolisme phosphocalcique et les capacités de rattraper la minéralisation osseuse. Un second objectif consistait à évaluer l'impact de l'ajout de phytase sur les performances de croissance, le dépôt osseux et le métabolisme phosphocalcique.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Animaux et plan expérimental

Le projet a été autorisé par le comité de protection des animaux de l'Université Laval (CPAUL). Quatre-vingts porcelets mâles castrés et sevrés à 42 jours d'âge ( $15,9 \pm 1,99$  kg) ont été divisés en 40 cases selon leur poids (2 porcelets/case) en 8 blocs et alimentés en 2 phases avec des aliments maïs tourteau de soja comprenant 30% de blé. Dans la première phase de déplétion de 13 jours, les 4 premiers aliments étaient un factoriel 2 x 2 pour les traitements témoin (DON-, 0,31 mg/kg) et contaminé au DON (DON+, 2,72 mg/kg) provenant de blé naturellement contaminé, Aflatoxines <1,0 µg/kg, Zearalénone <0,03 mg/kg, Fumonisine <0,1 mg/kg, ochratoxine <0,003 mg/kg, toxine T-2 <0,06 mg/kg) croisés avec les traitements carencés (Ca-, 0,39%) ou non (Ca+, 0,65%) en calcium avec un niveau de phosphore digestible constant (0,40%). Le 5<sup>ème</sup> traitement (Phyt) apportait

750 FTU/kg de phytase en considérant les équivalences P digestible et Ca total recommandées (Ca 1,39 kg/g ; P digestible 1,26 kg/g). Chaque traitement était répété dans 8 cases. Durant la seconde phase d'une durée de 14 jours, les porcelets recevant les traitements Ca+ et Ca- avec ou sans DON ont tous reçu un aliment avec les mêmes niveaux de Ca (0,65%) et P digestible (0,35%) sans contamination au DON dit de "réplétion". Les porcs recevant de la phytase en phase 1 ont continué d'en recevoir en phase 2 (Phyt). Tous les porcelets ont été pesés au début de l'essai et ensuite au jour 8, 13, 21 et 27 et la consommation mesurée sur les mêmes périodes par l'évaluation des refus quotidiens. Le contenu minéral osseux (CMO) d'un porcelet entier par case choisi aléatoirement a été évalué au début de l'essai, après la première phase (J13) et après la seconde phase (J27) par ostéodensitométrie à doubles rayons-X (DXA, Hologic Discovery W, Hologic Inc., Waltham, MA). Le gain osseux a été calculé à partir du CMO, soit le gain de CMO quotidien (CMO/j) divisé par le gain moyen quotidien (GMQ) en pourcentage.

### 2.2. Analyse de la digestibilité

Un marqueur indigestible (célite, cendre insoluble 3%) dont le taux de récupération se situe entre 87 et 105% chez le porc (Huang *et al.*, 2018) a été ajouté au régime expérimental et des fèces ont été collectées aux J12 et J26 par collecte partielle des 40 parcs. Les fèces ont été lyophilisées sur une période de 7 jours. Les cendres insolubles (0,50 g) ont été évaluées selon la méthode de McCarthy *et al.* (1974).

### 2.3. Analyse des échantillons sanguins

Des prises de sang (plasma) ont été réalisées sur un porcelet par parc (40) au début de l'essai, après la première phase et après la deuxième phase. Ces échantillons sanguins ont été analysés pour les concentrations de phosphate, de Ca et de magnésium (Mg) par spectrométrie à plasma à couplage inductif.

### 2.4. Statistiques

Les données ont été analysées selon une ANOVA de modèle mixed sur le logiciel Minitab (Minitab 2021, LLC, State College, PA, USA) avec le bloc comme le facteur aléatoire. Le test LSD de Fisher a permis la comparaison des moyennes. L'unité expérimentale était la case de deux porcelets et les variables fixes étaient l'apport en Ca et la contamination au DON. Une expérience factorielle de 2 x 2 (Ca x DON) sans la phytase pour les paramètres à l'étude a permis d'évaluer les effets de la déplétion-réplétion en Ca et du DON ainsi que leurs interactions. Une autre ANOVA de modèle mixed a aussi servi à analyser les effets de la déplétion-réplétion en Ca et de l'ajout de phytase en utilisant les données Ca+ et Ca- sans le DON. L'unité expérimentale était la case de deux porcelets avec le bloc comme facteur aléatoire et les différents apports en Ca comme variables fixes. Les différences ont été considérées comme significatives avec  $P < 0,05$  et les tendances avec  $P < 0,10$ .

## 3. RESULTATS

### 3.1. Phase de déplétion en calcium

#### 3.1.1. Effet de la déplétion en calcium et de la contamination en DON

La consommation moyenne journalière (CMJ) tendait à être diminuée chez les porcelets recevant le Ca- (Tableau 1,  $P = 0,06$ ).



Leur indice de conversion (IC) était inférieur comparativement au Ca+ et les DON- tendaient à avoir un IC plus élevé (interaction DON x Ca,  $P = 0,07$ ; Tableau 1). De plus, la contamination au DON n'a pas affecté pas les performances de croissance (GMQ, CMJ, IC et poids final). Le CUD du Ca était plus élevé chez les porcelets du lot DON+ ( $P < 0,001$ ). Le CUD du P était plus élevé chez les porcelets du lot DON+ recevant Ca- (interaction Ca x DON,  $P < 0,01$ ). Le gain osseux ((CMO/j)/GMQ) des porcelets Ca- était inférieur au Ca+ ( $P < 0,001$ ). Le CMO des porcelets Ca+DON+ avait le CMO le plus élevé (interaction Ca x DON,  $P < 0,001$ ). Les porcelets Ca- avaient une concentration de P plasmatique plus élevée par rapport au Ca+ ( $P = 0,05$ ). Les autres paramètres sanguins ne présentaient pas de différences significatives et aucune interaction n'a été notée.

### 3.1.2. Effet de la phytase

L'IC était réduit chez les Phyt et Ca- (Tableau 2,  $P = 0,02$ ). Les porcelets Phyt avaient un CUD plus élevé pour le Ca ( $P < 0,01$ ) et le P ( $P < 0,001$ ). Le gain osseux et le CMO ( $P = 0,10$ ) des Ca- tendaient à être diminués par rapport au Ca+ avec une valeur

intermédiaire pour Phyt. Le ratio Ca/P plasmatique était augmenté pour Phyt comparativement aux Ca+ et Ca- ( $P = 0,02$ ). La concentration en P plasmatique tendait à être augmentée pour les porcs du lot Ca- comparativement au lot Phyt. La valeur pour le groupe Ca+ était intermédiaire ( $P = 0,06$ ).

## 3.2. Phase de réplétion

### 3.2.1. Effet de la déplétion en calcium et de DON

Le GMQ, le poids final et la CMJ tendaient à être inférieurs pour les porcelets Ca- (Tableau 1,  $P = 0,08$  et  $0,09$ ). Le GMQ tendait à être plus élevé pour DON+ ( $P = 0,06$ ). Le CUD du Ca et du P était inférieur chez les Ca+ que s'ils recevaient DON- (Interaction DON x Ca,  $P = 0,06$ ,  $0,04$ ). Le gain osseux était inférieur pour les porcelets DON+ comparativement au DON- ( $P < 0,01$ ). Les porcelets Ca- ont rattrapé leur déficit en CMO alors que ceux recevant DON+ tendaient à demeurer inférieurs (Interaction DON x Ca,  $P = 0,06$ ). La concentration de P et de Mg plasmatique était plus élevée pour les porcelets Ca- ( $P = 0,05$ ) alors que leur ratio Ca/P ( $P = 0,02$ ) était plus faible.

**Tableau 1** – Effet de la carence en Ca et de la contamination au DON et de leur interaction sur les performances de croissance, la digestibilité, le dépôt osseux ainsi que la concentration plasmatique de calcium, phosphore et magnésium.<sup>1</sup>

Paramètres	Ca+		Ca-		SEM	Valeur de P		
	DON-	DON+	DON-	DON+		Ca	DON	DON x Ca
Nb de cases	8	8	8	8				
<b>Phase 1</b>								
<i>Performances</i>								
GMQ, kg/j	1,41	1,44	1,45	1,31	0,04	0,42	0,27	0,13
CMJ, kg/j	2,37	2,31	2,25	2,06	0,09	0,06	0,18	0,59
IC	1,71 <sup>A</sup>	1,60 <sup>AB</sup>	1,57 <sup>B</sup>	1,55 <sup>B</sup>	0,04	0,007	0,26	0,07
Poids vif initial, kg	16,3	16,2	15,8	16,2	0,65	0,35	0,67	0,50
Poids vif final, kg	26,1	26,3	26,0	25,4	0,83	0,29	0,63	0,39
CUD Ca, %	54,9 <sup>B</sup>	66,1 <sup>A</sup>	54,9 <sup>B</sup>	75,1 <sup>A</sup>	3,49	0,34	0,001	0,10
CUD P, %	58,2 <sup>c</sup>	63,1 <sup>b</sup>	57,7 <sup>c</sup>	68,9 <sup>a</sup>	1,19	0,02	0,001	0,009
CMO, g	356,8 <sup>b</sup>	382,0 <sup>a</sup>	334,5 <sup>c</sup>	304,8 <sup>d</sup>	7,90	0,001	0,75	0,001
Gain osseux, %	0,73 <sup>a</sup>	0,74 <sup>a</sup>	0,58 <sup>b</sup>	0,47 <sup>b</sup>	0,04	0,001	0,21	0,17
<i>Plasma</i>								
Ca, mg/mL	128,8	126,6	129,5	130,1	1,42	0,28	0,67	0,49
P, mg/mL	115,2 <sup>b</sup>	116,5 <sup>b</sup>	120,3 <sup>a</sup>	122,9 <sup>a</sup>	3,77	0,05	0,49	0,82
Mg, mg/mL	17,9	17,6	17,9	18,3	0,30	0,49	0,97	0,41
Ca/P	1,11	1,09	1,08	1,63	0,02	0,24	0,60	0,95
<b>Phase 2</b>								
<i>Performances</i>								
GMQ, kg/j	1,91	1,98	1,79	1,92	0,03	0,08	0,06	0,55
CMJ, kg/j	3,26	3,35	3,13	3,15	0,06	0,09	0,58	0,73
IC	1,71	1,69	1,75	1,65	0,03	0,90	0,19	0,42
Poids final, kg	39,4	40,2	38,5	38,8	1,06	0,09	0,43	0,70
CUD Ca, %	57,8 <sup>B</sup>	67,7 <sup>A</sup>	68,5 <sup>A</sup>	66,9 <sup>A</sup>	2,76	0,10	0,18	0,06
CUD P, %	45,6 <sup>b</sup>	60,6 <sup>a</sup>	54,0 <sup>ab</sup>	51,7 <sup>ab</sup>	4,01	0,96	0,12	0,04
CMO, g	459,0 <sup>A</sup>	463,0 <sup>A</sup>	450,0 <sup>A</sup>	396,3 <sup>B</sup>	11,39	0,02	0,11	0,06
Gain osseux, %	0,47 <sup>a</sup>	0,42 <sup>b</sup>	0,46 <sup>a</sup>	0,34 <sup>b</sup>	0,03	0,16	0,005	0,31
<i>Plasma</i>								
Ca, mg/mL	124,9	127,1	128,6	125,3	1,58	0,33	0,45	0,20
P, mg/mL	109,0 <sup>b</sup>	106,9 <sup>b</sup>	116,9 <sup>a</sup>	115,1 <sup>a</sup>	3,07	0,05	0,63	0,97
Mg, mg/mL	15,3 <sup>b</sup>	15,9 <sup>b</sup>	16,5 <sup>a</sup>	16,4 <sup>a</sup>	0,32	0,05	0,60	0,44
Ca/P	1,16 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1,14 <sup>b</sup>	1,08 <sup>b</sup>	0,02	0,02	0,64	0,15

Ca+ : calcium normal, Ca- : carence en calcium, DON- : Témoin, DON+ : déoxyvalénol, GMQ : gain moyen quotidien, IC : indice de conversion, CMJ : consommation moyenne journalière, CUD : coefficient d'utilisation digestive, CMO : contenu minéral osseux, Ca : calcium, P : phosphore, Mg : magnésium

<sup>1</sup>Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées

Les lettres majuscules indiquent une tendance ( $P < 0,10$ ) pour les interactions Ca x DON

**Tableau 2** – Effet de la carence en Ca et de l'ajout du phytase sur les performances de croissance, la digestibilité, le dépôt osseux ainsi que la concentration plasmatique de calcium et phosphore.<sup>1</sup>

Paramètres	Ca+	Phyt	Ca-	SEM	Valeur de P
Nbre de cases	8	8	8		
<b>Phase 1</b>					
<i>Performances</i>					
GMQ, kg/j	1,42	1,37	1,45	0,05	0,54
CMJ, kg/j	2,35	2,14	2,25	0,10	0,28
IC	1,67 <sup>a</sup>	1,54 <sup>b</sup>	1,55 <sup>b</sup>	0,04	0,02
Poids vif final, kg	15,4	15,7	15,5	0,69	0,75
Poids final, kg	26,0	25,4	26,0	0,87	0,50
CUD Ca, %	55,3 <sup>b</sup>	72,6 <sup>a</sup>	52,3 <sup>b</sup>	4,94	0,01
CUD P, %	58,3 <sup>b</sup>	70,1 <sup>a</sup>	57,7 <sup>b</sup>	1,77	0,001
CMO, g	356,8	346,3	334,5	11,12	0,10
Gain osseux, %	0,73	0,63	0,58	0,05	0,10
<i>Plasma</i>					
Ca, mg/L	131,5	132,8	129,5	2,64	0,68
P, mg/L	115,2	113,4	120,3	2,08	0,06
Ca/P	1,11 <sup>b</sup>	1,17 <sup>a</sup>	1,08 <sup>b</sup>	0,02	0,02
<b>Phase 2</b>					
<i>Performances</i>					
GMQ, kg/j	1,90	1,87	1,79	0,06	0,32
CMJ, kg/j	3,22	3,16	3,13	0,14	0,80
IC	1,71	1,67	1,75	0,04	0,30
Poids final, kg	39,2	38,6	38,5	1,21	0,73
CUD Ca, %	57,5	52,9	68,5	5,34	0,09
CUD P, %	42,0	51,7	54,0	5,94	0,42
CMO, g	459,0	480,1	449,9	18,15	0,28
Gain osseux, %	0,47	0,49	0,46	0,03	0,71
<i>Plasma</i>					
Ca, mg/L	124,49	131,23	131,82	3,45	0,10
P, mg/L	112,64	106,49	116,79	4,36	0,24
Ca/P	1,13 <sup>b</sup>	1,24 <sup>a</sup>	1,13 <sup>b</sup>	0,04	0,03

Ca+ : calcium normal, Phyt : Phytase, Ca- : carence en calcium, GMQ : gain moyen quotidien, IC : indice de conversion, CMJ : consommation moyenne journalière, CUD : coefficient d'utilisation digestive, CMO : contenu minéral osseux, Ca : calcium, P : phosphore

<sup>1</sup>Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées

### 3.2.2. Effet de la phytase

Les performances de croissance et la minéralisation osseuse n'ont pas été affectées par les traitements alimentaires. Le CUD du Ca tendait à être augmenté pour Ca- en comparaison à Phyt alors qu'il était intermédiaire pour Ca+ (Tableau 2,  $P = 0,09$ ). Le ratio Ca/P plasmatique était plus élevé pour Phyt ( $P = 0,03$ ) et le Ca plasmatique tendait à être augmentée pour Ca- et Phyt comparativement à Ca+ ( $P = 0,10$ ).

## 4. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer différentes stratégies pour optimiser l'utilisation de P chez les porcelets en termes de performances de croissance, de dépôt osseux et de métabolisme phosphocalcique. Plus précisément, compte tenu d'essais précédents montrant qu'il était possible d'activer les régulations phosphocalciques d'une part par une stratégie de déplétion-réplétion (Létourneau-Montminy *et al.*, 2014 ; Gonzalo *et al.*, 2017) et d'autre part par l'ajout de DON (Sauvé *et al.*, 2021) ces deux stratégies ont été testées. Enfin, à titre de stratégie reconnue, mais peu documenter chez le porcelet, l'ajout de phytase a été testé sur les mêmes paramètres.

### 4.1. Phase de déplétion en Ca

Durant la phase de déplétion, la carence en Ca a diminué la consommation alimentaire tout en diminuant l'indice de conversion des jeunes porcs. Des études ont observé qu'une période de carence en Ca diminuait la croissance (Lagos *et al.*, 2019) et le poids vif (Gonzalo, 2017) sur des porcs en pouponnière et en début de phase de croissance alors que d'autres études n'ont observé aucun effet (Bai *et al.*, 2017 ; Merriman *et al.*, 2017) sur des porcs en finition. Généralement, la contamination au DON entraîne une diminution de la croissance et de la consommation alimentaire à un seuil de 2,0 mg/kg jusqu'à 1,0 mg/kg (Etienne, 2007; Lessard *et al.*, 2015). Le DON n'a toutefois pas changé les performances de croissance dans cette étude comme cela a déjà été observé auparavant (Accensi *et al.*, 2006; Le Thanh *et al.*, 2016) ce qui peut être expliqué par la courte période d'exposition.

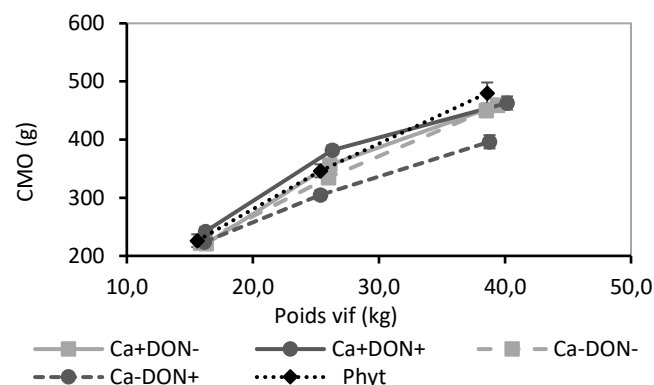
La minéralisation osseuse a été diminuée par la carence en Ca tel qu'attendu (Aiyangar *et al.*, 2010; Bai *et al.*, 2017; Gonzalo, 2017). La carence en Ca aurait provoqué un déséquilibre phosphocalcique qui aurait mené à la hausse du P

plasmatique sous l'action de la PTH (Létourneau-Montminy *et al.*, 2011). De plus, l'ajout de DON à l'alimentation a accentué ce déséquilibre en réduisant la déposition osseuse. Chez la souris, le DON induit l'apoptose des ostéoblastes ce qui inhiberait le dépôt osseux (Wu *et al.*, 2018). Au contraire, avec un niveau de Ca normal, le DON a augmenté la minéralisation osseuse. En fait, la contamination au DON a aussi augmenté la digestibilité du Ca et du P ce qui a pu rendre plus de Ca et de P disponibles pour la déposition. Cet effet pourrait être lié au récepteur sensible au Ca qui induit des changements dans la sécrétion de calcitonine, de PTH et de vitamine D (Karsdal *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2016). La production de vitamine D active augmente sous l'effet de la PTH et de la carence en Ca ce qui augmente l'absorption intestinale du Ca et du P (Courbebaïsse et Souberbielle, 2011). Le DON pourrait ainsi modifier le métabolisme de la vitamine D. Le DON affecte aussi la perméabilité membranaire de la barrière intestinale entre autres par la diminution de la fonction des protéines des jonctions serrées claudines (Pinton *et al.*, 2010), mais aucune étude n'ont porté spécifiquement sur la modification de la digestibilité du Ca et du P par le DON.

#### 4.2. Phase de réplétion

Durant la phase de réplétion, les porcelets ayant été carencés en Ca tendaient à avoir des performances de croissances inférieures. Gonzalo (2017) a également observé qu'une carence en Ca chez des porcs en croissance diminuait la croissance dès la première phase et même après deux phases de réplétion. Néanmoins, l'absorption intestinale du Ca et du P était supérieure pour les porcelets Ca- comparativement aux porcelets recevant Ca+ sans DON. Certaines études ont observé une augmentation de l'efficacité d'utilisation du Ca et du P après une période de carence (Sommerville *et al.*, 1985; Saddoris *et al.*, 2010). La concentration de P et de Mg plasmatique était également plus élevée après la carence en Ca ce qui pourrait indiquer une résorption osseuse accrue, ces deux minéraux étant déposés dans l'os avec le Ca. Le DON a aussi augmenté la croissance et l'absorption intestinale du Ca et du P durant la phase de réplétion. L'augmentation de la rétention et de la digestibilité du Ca par le DON a été observé précédemment, mais pas pour le P (Le Thanh *et al.*, 2015). Dans cette étude, les porcelets recevant un aliment davantage contaminé au DON (4 mg/kg) avaient une consommation et une croissance inférieures ce qui pourrait expliquer des différences le P étant moins régulé que le Ca.

Les porcelets Ca- avaient un gain osseux semblable au Ca+ et ceux recevant DON- ont rattrapé leur déficit en minéralisation osseuse en 2 semaines (Figure 1). La minéralisation osseuse est un processus lent dépendant de la durée de la carence et de l'âge des animaux. Malgré un gain osseux semblable au témoin, des porcelets n'ont pas pu rattraper leur déficit en minéralisation osseuse après une carence en Ca sur une période de 4 semaines dans l'étude d'Aiyangar *et al.* (2010) alors que des porcs en finition ont rattrapé ce déficit après 30 jours dans l'étude de Bai *et al.* (2017). Au contraire, l'exposition préalable au DON a diminué le gain osseux et les porcelets carencés n'ont pas rattrapé leur déficit en minéralisation osseuse (Figure 1) dans la seconde phase. Peu d'études portent sur l'impact du DON sur le métabolisme osseux et aucune n'a été évaluée lors d'une carence en Ca. D'autres analyses sont en cours pour l'expression de gènes liés au métabolisme phosphocalcique dans le rein, le jéjunum et le fémur.



**Figure 1**– Évolution du contenu minéral osseux (CMO, g) en fonction du poids vif (kg) pour les deux phases combinées.

#### 4.3. Effet de la phytase chez le porcelet

La phytase a été ajoutée en considérant les matrices recommandées de remplacement de P digestible et Ca total. Les aliments étaient ainsi iso Ca et P. Les analyses d'activité phytasique ont montrées que le blé ajouté apportait environ 500 FTU/kg alors que la phytase apportait 1400 FTU/kg plutôt que 750 FTU/kg dans les deux phases. L'ajout de phytase a amélioré l'indice de conversion et augmenté la digestibilité du Ca et du P, alors que le gain de CMO et le CMO étaient similaires au Ca+ durant la première phase. En effet, la phytase libère le P et le Ca lié au phytate en hydrolysant ce dernier en phosphate ce qui augmente son absorption intestinale (Arredondo *et al.*, 2019; Ren *et al.*, 2020). Les porcs recevant la phytase avaient des performances de croissance et une minéralisation similaire au Ca+ dans la seconde phase. Dans les deux phases, l'ajout de phytase a diminué le P plasmatique et augmenté le ratio Ca/P plasmatique ce qui indique qu'elle a probablement apporté un surplus de Ca par rapport au P. Le Ca plasmatique n'était pas différent en première phase, étant généralement régulé plus étroitement que le P. Un niveau de Ca trop élevé peut former des complexes avec le phytate et les phosphates (Selle *et al.*, 2009) et conduire à une carence en P (Lagos *et al.*, 2021). Il sera intéressant de mieux comprendre le déséquilibre phosphocalcique induit par l'ajout de phytase.

#### CONCLUSION

La déplétion en Ca a entraîné des régulations du métabolisme phosphocalcique afin de libérer le Ca contenu dans l'os vers la circulation sanguine simultanément avec le P, bien que seul le P plasmatique était plus élevé. La contamination au DON a induit un déséquilibre de la déposition osseuse dépendamment du niveau de Ca des aliments en plus d'augmenter l'absorption intestinale du Ca et du P ce qui suggère que DON agit sur les régulateurs phosphocalciques et de la vitamine D. Durant la réplétion, la déplétion préalable a permis une augmentation de l'efficacité d'utilisation du Ca et du P permettant de rattraper le déficit de minéralisation osseuse sauf chez les porcelets contaminés au DON. En effet, 14 jours après le retrait du DON dans l'alimentation, le dépôt osseux était inférieur chez les Ca-DON+. D'autres analyses en cours permettront de mieux comprendre la régulation des gènes liés au métabolisme phosphocalcique et osseux par le DON. Finalement, l'ajout de phytase a augmenté l'absorption intestinale du Ca et du P après 13 jours. Le ratio Ca/P plasmatique était néanmoins plus élevé ce qui peut supposer que la phytase apportait un surplus de Ca.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Accensi F., Pinton P., Callu P., Abella-Bourges N., Guelfi J.-F., Grosjean F., Oswald I.P., 2006. Ingestion of low doses of deoxynivalenol does not affect hematological, biochemical, or immune responses of piglets. *J. Anim. Sci.*, 84, 1935-1942.
- Aiyangar A.K., Au A.G., Crenshaw T.D., Ploeg H.L., 2010. Recovery of bone strength in young pigs from an induced short-term dietary calcium deficit followed by a calcium replete diet. *Med. Eng. Phys.*, 32, 1116-1123.
- Arredondo M.A., Casas G.A., Stein H.H., 2019. Increasing levels of microbial phytase increases the digestibility of energy and minerals in diets fed to pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 248, 27-36.
- Bai L.L., Wu F., Liu H., Zhang L., Zhang S., Liu L., Piao X.S., Liu Y.H., Thacker P.A., Wang F.L., 2017. Effects of dietary calcium levels on growth performance and bone characteristics in pigs in grower-finisher-transitional phase. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 224, 59-65.
- Bonnet M.S., Roux J., Mounien L., Dallaporta M., Troadec J.-D., 2012. Advances in deoxynivalenol toxicity mechanisms: The brain as a target. *Toxins*, 4, 1120-1138.
- Centre de développement du porc du Québec, 2019. Site web: <http://www.cdpq.ca/cdpq.ca/files/df/dfc46284-d3a1-48d1-9339-70ce1e7fe5b4.pdf>. Page consultée en août 2020.
- Cordell D., White S., 2013. Sustainable phosphorus measures: strategies and technologies for achieving phosphorus security. *Agronomy*, 3, 86-116.
- Courbebaisse M., Souberbielle J. C., 2011. Équilibre phosphocalcique : régulation et explorations. *Néphrol. Thérapeutique*, 7, 118-138.
- Döll S., Schrickx J.A., Dänicke S., Fink-Gremmels J., 2009. Interactions of deoxynivalenol and lipopolysaccharides on cytokine excretion and mRNA expression in porcine hepatocytes and Kupffer cell enriched hepatocyte cultures. *Toxicol. Lett.*, 190, 96-105.
- Dourmad J.-Y., Boudon A., Narcy A., 2020. Le phosphore dans les systèmes d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 33 (1), 31-40.
- Etienne M., 2007. Synthèse - Effets biologiques et physiologiques d'une mycotoxine, le deoxynivalenol (DON), chez le porc. *Journées Rech. Porcine*, 39, 407-418.
- Gonzalo Martinez E., Létourneau Montminy M.-P., Pomar C., Létourneau Montminy M.-P., Pomar C., 2017. Consequences of a dietary phosphorus and calcium depletion and repletion strategy in growing-finishing pigs. Université Laval, Québec
- Huang C., Li P., Ma X., Jaworski N.W., Stein H.H., Lai C., Zhao J., Zhang S., 2018. Methodology effects on determining the energy concentration and the apparent total tract digestibility of components in diets fed to growing pigs. *Asian-Australas J Anim Sci*, 31, 1315-1324.
- Karsdal M.A.D., Henriksen K., Arnold M., Christiansen C., 2008. Calcitonin — A drug of the past or for the future? : Physiologic inhibition of bone resorption while sustaining osteoclast numbers improves bone quality. *BioDrugs*, 22, 137-144.
- Lagos L.V., Lee S.A., Bedford M.R., Stein H.H., 2021. Formulating diets based on digestible calcium instead of total calcium does not affect growth performance or carcass characteristics, but microbial phytase ameliorates bone resorption caused by low calcium in diets fed to pigs from 11 to 130 kg. *J. Anim. Sci.*, 99 (3).
- Lagos L.V., Murphy M.R., Looor J.J., Stein H.H., Lee S.A., Fondevila G., Walk C.L., 2019. Influence of the concentration of dietary digestible calcium on growth performance, bone mineralization, plasma calcium, and abundance of genes involved in intestinal absorption of calcium in pigs from 11 to 22 kg fed diets with different concentrations of digestible phosphorus. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 10 (47).
- Lautrou M., Pomar C., Schmidely P., Montminy M.-P.L., 2021. Effets d'une déplétion-réplétion en phosphore et calcium sur les performances et la minéralisation osseuse des porcs en croissance *Journées de la Rech. Porcine*, 53, 163-168.
- Le Thanh B.V., Lessard M., Chorfi Y., Guay F., 2015. The efficacy of anti-mycotoxin feed additives in preventing the adverse effects of wheat naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins on performance, intestinal barrier function and nutrient digestibility and retention in weanling pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 95, 197-209.
- Le Thanh B.V., Lemay M., Bastien A., Lapointe J., Lessard M., Chorfi Y., Guay F., 2016. The potential effects of antioxidant feed additives in mitigating the adverse effects of corn naturally contaminated with *Fusarium* mycotoxins on antioxidant systems in the intestinal mucosa, plasma, and liver in weaned pigs. *Mycotoxin Res.*, 32, 99-116.
- Lessard M., Savard C., Deschene K., Lauzon K., Pinilla V.A., Gagnon C.A., Lapointe J., Guay F., Chorfi Y., 2015. Impact of deoxynivalenol (DON) contaminated feed on intestinal integrity and immune response in swine. *Food Chem Toxicol*, 80, 7-16.
- Létourneau-Montminy M.-P., Lovatto P.-A., Pomar C., 2011. Effets d'un protocole de déplétion-réplétion en phosphore et calcium sur l'utilisation digestive et métabolique de phosphore et de calcium chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 43, 87-94.
- Létourneau-Montminy M.P., Lovatto P.A., Pomar C., 2014. Apparent total tract digestibility of dietary calcium and phosphorus and their efficiency in bone mineral retention are affected by body mineral status in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 92, 3914-3924.
- Merriman L.A., Walk C.L., Murphy M.R., Parsons C.M., Stein H.H., 2017. Inclusion of excess dietary calcium in diets for 100- to 130-kg growing pigs reduces feed intake and daily gain if dietary phosphorus is at or below the requirement. *J. Anim. Sci.*, 95, 5439-5446.
- Pinton P., Braicu C., Nougayrede J.-P., Laffitte J., Taranu I., Oswald I.P., 2010. Deoxynivalenol Impairs Porcine Intestinal Barrier Function and Decreases the Protein Expression of Claudin-4 through a Mitogen-Activated Protein Kinase-Dependent Mechanism. *The Journal of Nutrition*, 140, 1956-1962.
- Ren P., Blavi L., González-Vega C., Liu Y., Hancock D., Vazquez-Añón M., Almeida F.N., Stein H.H., 2020. Effects of a novel *E. coli* phytase expressed in *Pseudomonas fluorescens* on growth, bone mineralization, and nutrient digestibility in pigs fed corn-soybean meal diets. *Transl. Anim. Sci.*, 4 : txa201.
- Saddoris K.L., Fleet J.C., Radcliffe J.S., 2010. Sodium-Dependent phosphate uptake in the jejunum is post-transcriptionally regulated in pigs fed a low-phosphorus diet and is independent of dietary calcium concentration. *J. Nutr.*, 140, 731-736.
- Sauvé B., Chorfi Y., Létourneau-Montminy M.-P., Guay F., 2021. Effet d'une supplémentation en vitamine D sur la réponse du métabolisme phosphocalcique de porcelets recevant un aliment contaminé au déoxynivaléno. *Journées de la Rech. Porcine*, 53, 381-386.
- Selle P. H., Cowieson A. J., and Ravindran V., 2009. Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livest. Sci.* 124, 126-141.
- Sommerville B.A., Maunder E., Ross R., Care A.D., Brown R.C., 1985. Effect of dietary calcium and phosphorus depletion on vitamin d metabolism and calcium binding protein in the growing pig. *Horm Metab Res*, 17, 78-81.
- Wu H., Sun X., Zhang Z., Zhuang D., Wang Y., Li X., Yu G., Lv G., Wang N., Li Q., Wang C.H., Yu A., Zhao Y., 2018. Deoxynivalenol impairs proliferation and induces apoptosis in primary murine osteoblasts. *Toxicol Environ Chem.*, 100, 214-227.
- Wu W., Zhou H.-R., Bursian S.J., Link J.E., Pestka J.J., 2016. Calcium-Sensing Receptor and Transient Receptor Ankyrin-1 mediate emesis induction by deoxynivalenol (vomitoxin). *Toxicol. Sci.*, 155, 32-42.

# Quel seuil d'incorporation sans effets des facteurs anti-trypsiques du soja pour l'alimentation du porc en engraissement ?

Eric ROYER (1), Nathalie LEBAS (1), Alain QUINSAC (2), Laurent ALIBERT (1)

(1) Ifip-Institut du Porc, 258 route de la Mathébie, 12200 Villefranche-de-Rouergue, France

(2) Terres Inovia, 11 rue Monge, 33600 Pessac, France

laurent.alibert@ifip.asso.fr

Avec la collaboration technique de Benjamin THOMAS, Melissa CASSAN, Julien SAINT-AFFRE, Youri DENIS, Gérard ROQUES, Angélique VASLIN, Kevin MARIE-LOUISE-BREDON et Sébastien PONS (Station expérimentale Villefranche-Grand-Sud).

## Quel seuil d'incorporation sans effets des facteurs anti-trypsiques du soja pour l'alimentation du porc en engraissement ?

Plusieurs variétés de graines de soja (Bahia, Isidor et Ecuror) sont incorporées crues à des taux allant de 2,5 à 12,5%, pour préparer des aliments d'engraissement contenant respectivement 0,8, 1,5, 2,1, 3,3 et 3,5 unités d'inhibiteur de trypsine (TIU) /mg dans l'essai 1, et 0,9, 1,7, 2,2, 2,4, 4,0 et 4,8 TIU/mg dans l'essai 2. Dans l'essai 3, les animaux reçoivent des aliments à 0,7 ou 2,8 TIU/mg en période de croissance, puis en finition reçoivent les mêmes aliments, ou bien changent d'aliment afin d'évaluer l'arrière-effet de l'aliment précédent. Pour les essais 1 et 2, 310 femelles et mâles castrés sont utilisés à raison de six cases de cinq porcs par traitement dans l'essai 1, puis quatre ou six cases de cinq porcs par traitement dans l'essai 2. Dans l'essai 3, 32 porcs mâles castrés sont utilisés en loge individuelle. Pour tous les essais, les scores individuels de consistance des fèces ne diffèrent pas selon le traitement. La consommation d'aliment (CMJ) est affectée par les aliments lors de l'essai 2 pour les périodes nourrain puis croissance ( $P < 0,05$ ), ainsi que le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) pour la période nourrain dans l'essai 1, et les périodes nourrain et croissance dans l'essai 2 ( $P < 0,01$ ). Chaque TIU entraîne une baisse de 32 g du GMQ (ETR = 48) et une hausse de 0,05 point d'IC (ETR = 0,08). En finition, les performances ne diffèrent pas entre régimes. Le rendement de carcasse est diminué à 3,3 et 3,5 TIU/mg dans l'essai 1. Pour l'essai 3, l'aliment à 2,8 TIU/mg diminue la CMJ et le GMQ, et augmente l'IC en période nourrain mais les différences ne sont pas significatives en croissance. En finition, la CMJ et le GMQ des porcs recevant successivement les régimes à 0,7 puis à 2,8 TIU/mg sont moins élevés ( $P < 0,05$ ), alors que leur IC est plus élevé ( $P < 0,05$ ). Les porcs des deux groupes recevant 2,8 TIU/mg en finition ont un rendement carcasse diminué ( $P = 0,08$ ) et un poids de pancréas plus élevé ( $P < 0,05$ ). Une teneur limite maximale de 2,0 TIU de facteurs anti-trypsiques par mg d'aliment est proposée pour le porc en engraissement.

## Which maximum content of soy trypsin inhibitors in feeds for fattening pigs?

Raw full-fat soybeans of three varieties (Bahia, Isidor and Ecuror) were used at levels ranging from 2.5 to 12.5 % to prepare fattening diets averaging 0.8, 1.5, 2.5, 3.3 and 3.5 trypsin inhibitor units (TIU)/mg in Exp.1, and 0.9, 1.7, 2.2, 2.4, 4.0 and 4.8 TIU/mg in Exp.2. In Exp.3, pigs were fed 0.7 or 2.8 TIU/mg during the growing period and for the finishing period were either fed the same diet or switched to a different diet to assess the back-effect of the initial feed. For Exp.1 and 2, a total of 310 females and barrows were housed in six pens of five pigs each per treatment in Exp.1, and four or six pens of five pigs each per treatment in Exp.2. In Exp.3, 32 barrows were used in individual pens. For all trials, individual faecal scoring was similar among treatments. Average daily feed intake (ADFI) was affected by diets in Exp.2 for the early-growing and growing periods ( $P < 0.05$ ), as well as average daily gain (ADG) and feed conversion ratio (FCR) for the early-growing period in trial 1, and the early-growing and growing periods in Exp. 2 ( $P < 0.01$ ). Each TIU resulted in a 32 g decrease in ADG (RSD = 48) and a 0.05 point increase in FCR (RSD = 0.08). For finishing stage, performance did not differ among treatments. Carcass yield was decreased for 3.3 and 3.5 TIU/mg in Exp.1. In Exp.3, the 2.8 TIU feed decreased ADFI and ADG, and increased FCR in the early-growing period but the differences were not significant for the growing period. For finishing period, pigs fed 0.7 then 2.8 TIU/mg diets had lower ADFI and ADG ( $P < 0.05$ ), while their FCR was higher ( $P < 0.05$ ). Pigs of both treatments given 2.8 ITU/mg for the finishing period had lower carcass yield ( $P = 0.08$ ) and higher pancreas weight ( $P < 0.05$ ). A maximum limit of 2.0 TIU of anti-trypsin factors per mg of feed is proposed for growing and finishing pigs.

## INTRODUCTION

Parmi les facteurs antinutritionnels du soja, e.g. saponines, tannins, phytates, lipoxygénases, lectines et inhibiteurs de protéase, ces derniers sont les plus pénalisants pour le porc. Ils forment des complexes avec la trypsine et la chymotrypsine, entraînant une baisse de la protéolyse et de mauvaises performances de croissance. L'ingestion de ces facteurs anti-trypsiques (FAT) stimule la sécrétion des enzymes pancréatiques (revue de Cabrera-Orozco *et al.*, 2013) et augmente les pertes endogènes spécifiques. Par ailleurs, il apparaît que de fortes différences existent entre les porcelets dans leurs réponses individuelles aux FAT du soja (Qin *et al.*, 1996). Pour l'alimentation du porc, le traitement thermique appliqué au soja doit être suffisant pour neutraliser les facteurs antinutritionnels (Halas *et al.*, 2020), mais sans être trop intense pour ne pas détériorer la qualité et la solubilité de la protéine (Qin *et al.*, 1996). Dans le contexte de la récente progression de la production européenne, notamment française, de soja (Guilpart *et al.*, 2019 ; Terres Univia, 2020) et de la sélection de graines à teneurs plus faibles en FAT nécessitant moins d'énergie pour la production de tourteaux (Berger *et al.*, 2015), l'évaluation de la tolérance du porc à une activité anti-trypsique alimentaire modérée est utile pour optimiser le traitement et l'utilisation des produits du soja. Trois essais ont été réalisés à la station de Villefranche-de-Rouergue pour évaluer la teneur maximale en inhibiteurs de trypsine pour l'alimentation des porcs en croissance-finition.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

Pour les essais 1 et 2, respectivement 150 et 160 porcs femelles et mâles castrés croisés Piétrain x (Large White x Landrace) sont mis en lot en fin de post-sevrage (29,2 ± 1,3 kg pour l'essai 1 et 29,6 ± 2,5 kg pour l'essai 2), à raison de, pour chaque sexe, trois cases de cinq porcs par traitement dans l'essai 1, et deux à trois cases de cinq porcs par traitement dans l'essai 2. Dans l'essai 3, 32 porcs mâles castrés (26,7 ± 1,2 kg) sont utilisés en loge individuelle.

Les traitements expérimentaux correspondent à des régimes (R) contenant des graines de soja à teneur en FAT faible (*var.* Bahia) ou standard (*var.* Isidor et Ecuror) et incorporées crues dans les aliments nourrain-croissance puis finition, à des taux allant de 2,5 à 10% (R2 à R5, essai 1) et 2,5 à 12,5% (R2 à R6, essai 2), en substitution de graines extrudées et du tourteau de soja (R1). Dans l'essai 3, les animaux sont alimentés avec une ration contenant 8 % de graines extrudées (R1) ou crues (*var.* Ecuror) (R2). En période nourrain-croissance et finition, les animaux reçoivent les mêmes aliments (R1R1 et R2R2), ou bien changent d'aliment entre la croissance et la finition afin d'évaluer l'arrière-effet de l'aliment précédent (R1R2 et R2R1). Les régimes sont distribués dès le premier jour (J) de la période d'engraissement jusqu'à l'abattage en deux lots à J98 et J110 pour l'essai 1, à J97 et J111 pour l'essai 2, et après une semaine d'adaptation (J8) jusqu'à J97 pour l'essai 3.

### 1.2 Matières premières et aliments

Les graines de soja Bahia, Isidor et Ecuror ont été cultivées à Moissac (82) et Beaumont-sur-Lèze (31). Le lot de graines extrudées est un lot du commerce à partir de graines importées. La composition chimique des matières premières est analysée,

**Tableau 1** – Taux de graines et tourteau de soja incorporés selon le régime (R) dans les essais 1 à 3

%	Ext <sup>1</sup>	Bahia <sup>2</sup>	Isidor <sup>2</sup>	Ecuror <sup>2</sup>	Tsoja 48 <sup>3</sup>
<b>Essai 1</b>					
R1	5				10_8,7
R2	2,5	2,5			10_8,7
R3		5			10_8,7
R4			5		10_8,7
R5		10			7_5,5
<b>Essai 2</b>					
R1	5				10_7,9
R2	2,5			2,5	10_7,9
R3		5			10_7,9
R4				5	10_7,9
R5				10	7,1_5,2
R6				12,5	5,8_3,8
<b>Essai 3</b>					
R1	8				10_9,5
R2				8	10_9,5

<sup>1</sup> Graines extrudées. <sup>2</sup> Graines crues. <sup>3</sup> Tourteau de soja dans l'aliment nourrain-croissance puis finition

puis leurs valeurs énergétique et protéique sont calculées à l'aide du logiciel EvaPig® (INRA-AFZ-Ajinomoto, version 1.3.04). Les aliments expérimentaux sont formulés et produits dans l'unité de fabrication de la station à partir de blé, d'orge, de maïs, de tourteau et de graines de soja, d'acides aminés de synthèse, phytase et minéraux. Les valeurs retenues pour les différentes graines de soja sont celles des Tables INRA –AFZ (2004), soit en particulier 12,03 MJ d'énergie nette (EN) /kg brut. Les taux d'incorporation sont indiqués au Tableau 1.

Les concentrations en EN des aliments sont de 9,8 MJ/kg brut pour l'essai 1, respectivement 9,8 et 10,2 MJ/kg en croissance et finition pour l'essai 2, puis 9,9 MJ/kg pour l'essai 3. Les aliments témoins sont formulés pour les phases de croissance et finition, respectivement, pour atteindre 16,0 et 14,6 % de matières azotées totales pour l'essai 1, 15,5 et 14,4 % pour l'essai 2, puis 15,5 et 15,2 % pour l'essai 3. Ils respectent un rapport de 0,9 puis 0,8 g de lysine digestible par MJ d'EN. Les rapports entre les autres acides aminés (méthionine, acides aminés soufrés, thréonine, tryptophane, valine, isoleucine, leucine et histidine) et la lysine digestible sont, respectivement, de 29, 60, 65, 19, 70, 63, 110, 38% et 30, 59, 65, 19, 70, 59, 120, 38% dans l'aliment croissance et finition. La distribution est réalisée à l'auge en farine humidifiée (ratio eau:aliment de 1:1 l/kg), et augmentée selon l'appétit des cases avec un plafonnement des quantités pour les mâles et les femelles respectivement à 2,8 et 2,6 kg/j pour l'essai 1, 3,0 et 2,8 kg/j pour l'essai 2, et 2,8 kg/j pour l'essai 3.

### 1.3 Mesures zootechniques et analyses de laboratoires

Des pesées individuelles sont effectuées à la mise en lot (J0) puis toutes les 2 à 3 semaines (J15, J28, J43, J56, J70 et J85 pour l'essai 1 ; J15, J28, J42, J56, J78 pour l'essai 2 ; et J8, J21, J35, J49, J63, J76 pour l'essai 3) et la veille de chaque abattage. La mise à jeun des animaux est obtenue après distribution, lors des 24 heures précédant la pesée, d'une quantité correspondant à 80 % de la consommation de la veille. Les quantités d'aliments distribués sont pesées quotidiennement ainsi que les éventuels refus. A l'abattoir, le poids de carcasse chaud est relevé et les épaisseurs de gras et de muscle sont mesurées avec l'appareil CGM. Le taux de muscle est estimé avec l'équation TMPcgm (Daumas, 2008). Lors de l'essai 3, le pancréas est prélevé à l'abattage et pesé. L'état de santé des animaux est

**Tableau 2** – Effets de la teneur en FAT sur les performances des porcs de l'essai 1<sup>1</sup>

Régime FAT <sup>2</sup> TIU/mg	R1	R2	R3	R4	R5	ETR	Statistiques <sup>3,5</sup>	
							P	Contrastes <sup>4</sup>
Poids vif, kg	J0	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	0,0	
	J15	38,4	38,6	37,9	37,5	36,8	1,4	L* B*
	J43	61,6 <sup>a</sup>	60,9 <sup>a</sup>	61,0 <sup>a</sup>	58,0 <sup>b</sup>	57,4 <sup>b</sup>	2,3	R* L** B** C*
	J98	109,9 <sup>a</sup>	108,9 <sup>ac</sup>	109,3 <sup>a</sup>	106,1 <sup>bc</sup>	105,3 <sup>b</sup>	2,2	R* L** B** C*
CMJ, g/j	J0-15	1,29	1,34	1,31	1,25	1,23	0,13	
	J15-43	1,97	1,95	1,96	1,90	1,85	0,10	L* B*
	J43-98	2,62	2,62	2,62	2,61	2,61	0,01	L* B <sup>t</sup>
GMQ, g/j	J0-15	617	626	583	556	507	95	L* B*
	J15-43	827 <sup>a</sup>	800 <sup>ac</sup>	815 <sup>a</sup>	731 <sup>b</sup>	736 <sup>bc</sup>	39	R** L** B** C**
	j 43 à 98	878	872	878	876	872	19	
IC, g/g	J0-15	2,13	2,15	2,24	2,27	2,43	0,20	L* B*
	J15-43	2,38 <sup>a</sup>	2,44 <sup>ab</sup>	2,40 <sup>a</sup>	2,59 <sup>c</sup>	2,51 <sup>bc</sup>	0,06	R** L*** B*** C**
	J43-98	2,99	3,01	2,98	2,99	2,99	0,07	
Poids chaud, kg		91,2 <sup>ab</sup>	91,8 <sup>a</sup>	90,0 <sup>ab</sup>	89,4 <sup>ab</sup>	88,7 <sup>b</sup>	1,5	R* L** A <sup>t</sup> B**
Rendement froid, %		77,7 <sup>a</sup>	77,4 <sup>ab</sup>	77,4 <sup>a</sup>	77,0 <sup>ab</sup>	76,5 <sup>b</sup>	0,4	R* L** B** C*
Taux muscle, %		60,5 <sup>a</sup>	60,8 <sup>a</sup>	59,2 <sup>b</sup>	59,8 <sup>ab</sup>	58,8 <sup>b</sup>	0,6	R* L** A** AC**

<sup>1</sup> Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées calculées pour six cases d'un effectif final de 4 à 5 porcs chacune. La case est l'unité expérimentale. <sup>2</sup> Teneur en facteurs anti-trypsiques calculée pour les aliments nourrain- croissance et finition. <sup>3</sup> Analyse de la variance avec en effets fixes, le régime (R) et le bloc. Le poids moyen d'abattage de la case est ajouté en covariable pour les données de carcasse. <sup>4</sup> Analyse des effets linéaire (L) et quadratique (contrastes) du régime, et R1+R2 vs R3 (A), R1+R2 vs R4+R5 (B), R3 vs R4+R5 (C). <sup>5</sup> Valeur de P pour le régime : <sup>t</sup> P < 0,10, \* P < 0,05, \*\* P < 0,01, \*\*\* P < 0,001. ETR : écart-type résiduel. Les valeurs non indexées de la même lettre diffèrent (P < 0,05).

observé quotidiennement. Une notation individuelle de la consistance des fèces est réalisée pour tous les porcs mâles à J8, J22, J37, J57, J78 et J96 pour l'essai 1 (n = 15 animaux par lot), et J8, J21, J34, J49, J63, J78 et J96 pour l'essai 3 (n = 8 animaux par lot), à l'aide d'une grille en cinq points (moulé-segmenté à diarrhée liquide).

La composition chimique est déterminée pour les matières premières et les aliments. De plus, les graines et les tourteaux de soja ont été analysés pour la solubilité de l'azote dans la soude, la digestibilité enzymatique 1 heure (1H), ainsi que leurs activités anti-trypsique et uréasique, par le laboratoire InVivo Labs (Vannes, France). Les inhibiteurs de trypsine sont mesurés par une méthode dérivée de la méthode AOCS – Ba 12.75 de 1983 (www.AOCS.org).

#### 1.4 Analyses statistiques

La consommation des animaux morts ou retirés entre deux pesées est calculée au prorata de leur durée de présence dans la case sur la période. Les performances zootechniques des essais 1 et 2 sont tout d'abord analysées en distinguant la période initiale nourrain (J0-15), de celle de croissance (J15-42 ou 43) puis celle de finition (J43-98 et J42-97) avec une analyse de variance (proc GLM, SAS 9.4, SAS Inst., Cary, NC) utilisant la case comme unité expérimentale et prenant en compte les effets fixes du régime (R) et du bloc. L'effet des FAT a été analysé par contrastes (linéaire, quadratique et comparaisons en regroupant les niveaux du régime). Pour l'essai 3, le modèle inclut les effets du régime croissance (R<sub>C</sub>), du régime finition (R<sub>F</sub>) et de l'interaction, avec le poids initial comme covariable pour les périodes nourrain et croissance. Le poids vif d'abattage est ajouté en covariable pour les paramètres de carcasse des essais 1 et 3. Le test de Tukey est utilisé pour les comparaisons de moyennes.

Afin de quantifier l'adaptation aux FAT des porcs entre chaque pesée, les performances de la phase nourrain-croissance sont analysées par un modèle mixte (Proc Mixed, SAS), avec la case comme sujet des mesures répétées, incluant les effets R, bloc,

jour de pesée (J) et les interactions R×bloc et R×J. Les comparaisons de moyennes sont effectuées à l'aide du test de Bonferroni. Enfin, les performances des essais 1 et 2 ont été regroupées par période. L'effet de la concentration en FAT sur les performances est étudié pour chacune des périodes en prenant en compte les effets essai, sexe (S<sub>x</sub>) et poids initial (P<sub>0</sub>), à l'aide de modèles linéaire et quadratique (Proc REG, SAS), ou non linéaires (Proc NLIN, SAS) afin de déterminer un éventuel seuil des FAT sur la dégradation des performances. Les notes d'aspect des fèces sont comparées par analyse non paramétrique (Proc NPAR1WAY, SAS).

## 2. RESULTATS

La composition chimique des aliments est proche de celle calculée à partir des analyses des matières premières (données non présentées). Les concentrations en FAT sont respectivement de 5,2, 31,0, 33,2 et 53,5 unités d'inhibiteur de trypsine (TIU) par mg pour les graines Ext, Bahia, Eudor et Isidor. L'activité uréasique est mesurée respectivement à < 0,01, 4,15, 4,19 et 4,68 mg/min. La solubilité de l'azote dans la soude atteint 73,6, 78,1, 81,5 et 83,8 g/100 g de protéine. Enfin, la digestibilité enzymatique 1 H est établie à respectivement 24,3, 61,5, 82,9 et 71,7 g/100 g de protéine pour les quatre graines. Trois lots de tourteaux de soja distincts ont été utilisés pour les essais 1, 2 et 3. Leurs concentrations en FAT sont respectivement de 6,0, 6,1 et 3,1 TIU/g brut. Les teneurs analytiques en FAT des aliments croissance et finition fabriqués pour les trois essais sont conformes aux valeurs calculées. Ces dernières sont utilisées pour l'étude des résultats.

Pour les essais 1 et 3, respectivement trois et un porcs sont morts ou ont été retirés. Deux autres porcs de l'essai 1 ont reçu des soins. Lors de l'essai 2, cinq porcs sont morts entre J11 et J21, soit un taux de pertes de 3,1%. Tous présentent des symptômes de maladie de l'œdème. Les traitements concernés sont les régimes R4 (n = 2), R5 (n = 2) et R6 (n = 1). Un traitement collectif a été effectué à partir de J21 (12 mg de fluméquine et 100 000 UI de colistine /kg PV/J pendant quatre jours). Trois



**Tableau 3** – Effets de la teneur en FAT sur les performances des porcs de l'essai 2<sup>1</sup>

Régime FAT <sup>2</sup> TIU/mg		R1	R2	R3	R4	R5	R6	ETR	Statistiques <sup>3,5</sup>	
									P	Contrastes <sup>4</sup>
Poids vif, kg	J0	29,6	29,6	29,7	29,7	29,6	29,6	0,0		
	J15	40,4 <sup>a</sup>	40,2 <sup>a</sup>	39,9 <sup>a</sup>	39,5 <sup>ab</sup>	38,2 <sup>b</sup>	38,3 <sup>b</sup>	0,7	R***	L*** B*** C***
	J42	60,7 <sup>ab</sup>	62,3 <sup>b</sup>	60,1 <sup>abc</sup>	61,1 <sup>ab</sup>	56,0 <sup>c</sup>	57,6 <sup>ac</sup>	2,2	R***	L*** B*** C**
	J97	111,2 <sup>a</sup>	112,3 <sup>a</sup>	110,7 <sup>ab</sup>	112,2 <sup>a</sup>	104,4 <sup>b</sup>	107,9 <sup>ab</sup>	3,2	R**	L** B*** C**
CMJ, g/j	J0-15	1,59 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	1,57 <sup>ab</sup>	1,57 <sup>ab</sup>	1,46 <sup>c</sup>	1,50 <sup>bc</sup>	0,04	R***	L*** B*** C***
	J15-42	1,83 <sup>ab</sup>	1,90 <sup>a</sup>	1,82 <sup>ab</sup>	1,84 <sup>ab</sup>	1,66 <sup>b</sup>	1,73 <sup>ab</sup>	0,11	R*	L** B** C*
	J42-97	2,50	2,56	2,47	2,59	2,44	2,57	0,11		
GMQ, g/j	J0-15	718 <sup>a</sup>	702 <sup>a</sup>	682 <sup>a</sup>	654 <sup>ab</sup>	575 <sup>b</sup>	579 <sup>b</sup>	46	R***	L*** A <sup>t</sup> B*** C***
	J15-42	752 <sup>ab</sup>	820 <sup>a</sup>	748 <sup>ab</sup>	799 <sup>a</sup>	652 <sup>b</sup>	716 <sup>ab</sup>	58	R**	L** B*** C**
	J42-97	915	909	919	933	880	913	43		
IC, g/g	J0-15	2,21 <sup>a</sup>	2,28 <sup>a</sup>	2,34 <sup>a</sup>	2,43 <sup>ab</sup>	2,56 <sup>ab</sup>	2,64 <sup>b</sup>	0,18	R**	L*** B*** C*
	J15-42	2,43 <sup>ab</sup>	2,32 <sup>a</sup>	2,44 <sup>ab</sup>	2,30 <sup>a</sup>	2,54 <sup>b</sup>	2,42 <sup>ab</sup>	0,10	R**	B* C**
	J42-97	2,73	2,82	2,68	2,79	2,77	2,82	0,09		
Poids chaud, kg		93,6	93,9	93,1	93,0	90,3	91,8	2,1	R <sup>t</sup>	L* B** C <sup>t</sup>
Rendement froid, %		77,7	78,0	77,6	77,1	77,4	77,7	0,6		
Taux muscle, %		60,6	59,8	60,3	59,6	60,1	59,1	1,0		L*

<sup>1</sup> Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées calculées pour 4 (R3 et R4) ou 6 cases (R1, R2, R5 et R6) d'un effectif final de 3 à 5 porcs chacune par régime. La case est l'unité expérimentale. <sup>2</sup> Voir Tableau 2. <sup>3</sup> Analyse de la variance avec en effets fixes, le régime (R) et le bloc. <sup>4</sup> Test des contrastes linéaire (L), quadratique, R1+R2 vs R3+R4 (A), R1+R2 vs R5+R6 (B), R3+R4 vs R5+R6 (C). ETR = écart-type résiduel. <sup>5</sup> Voir Tableau 2.

autres porcs ont reçu des soins dont un du régime R6 pour maladie de l'œdème. Dans les trois essais, les scores de consistance des fèces et de propreté ne sont pas influencés par les régimes. Seuls les porcs R1 de l'essai 1 tendent à avoir des fèces plus fermes à J23 ( $P = 0,08$ ) et J30 ( $P = 0,10$ ).

Lors de l'essai 1 (Tableau 2), la consommation moyenne journalière (CMJ) pendant la période nourrain (J0-15) n'est pas significativement affectée par le régime. Cependant, pour cette période, l'augmentation de la teneur en FAT du régime de 0,9 à 3,5 TIU/mg se traduit par une réduction linéaire du gain moyen quotidien (GMQ ; 617 vs 507 g/j ;  $P = 0,04$ ) et une augmentation de l'indice de consommation (IC ; 2,13 vs 2,43 g/g ;  $P = 0,02$ ). Pour la période croissance (J15-43), l'augmentation de la teneur en FAT dégrade de manière linéaire la CMJ ( $P = 0,04$ ), le GMQ ( $P < 0,01$ ) et l'IC ( $P < 0,001$ ). Au début de la période finition (J43-98), la consommation des porcs atteint la quantité fixée comme plafond. Le GMQ et l'IC ne diffèrent plus entre les régimes.

Lors de l'essai 2 (Tableau 3), l'augmentation de 0,9 à 4,8 TIU/mg de la teneur en FAT se traduit dès la période nourrain (J0-15) par un effet linéaire ( $P < 0,001$ ) sur la CMJ (1,59 vs 1,50 kg/j), le GMQ (718 vs 579 g/j) et l'IC (2,21 vs 2,64 g/g). La période de croissance (J15-42) correspond à l'épisode de maladie de l'œdème. La CMJ et le GMQ sont à nouveau dégradés par l'effet linéaire des FAT ( $P < 0,01$ ), mais celui-ci n'apparaît pas sur l'IC. L'écart d'IC le plus élevé est mesuré entre les porcs du régime R2 et ceux du régime R5 (2,32 vs 2,54 ;  $P < 0,01$ ). En finition (J42-97), le plafond, plus libéral, n'est pas atteint par la plupart des cases. Cependant, la CMJ ainsi que le GMQ et l'IC ne sont pas modifiés par la teneur en FAT des régimes ( $P > 0,05$ ).

Dans les deux essais, le poids vif des animaux est linéairement diminué par les FAT en fin de période nourrain ou croissance puis lors du 1<sup>er</sup> départ à l'abattage. Il est alors inférieur de 4,6 kg pour les porcs du régime R5 de l'essai 1 par rapport à ceux du régime R1 ( $P = 0,02$ ), et de 6,8 kg dans l'essai 2 pour ceux du régime R5 en comparaison du régime R1 ( $P < 0,01$ ). A J0, l'écart-type de poids vif intra case (ETC) s'établit à  $\pm 0,5$  kg pour l'essai 1 et  $\pm 1,0$  kg pour l'essai 2 (données non présentées). Lors de l'essai 1, l'ETC à J56 est respectivement de 3,2, 4,0, 2,8, 5,1 et 4,9 kg pour les régimes R1 à R5 ( $P = 0,07$ ). Pour l'essai 2, les cases des porcs recevant le régime R6 ont un ETC

significativement plus élevé à j 15, 28, 42, 56 et 78. A j 56, l'ETC atteint respectivement 3,4, 3,5, 6,2, 4,8, 4,0 et 7,0 kg pour les régimes 1 à 6 ( $P < 0,01$ ).

L'évolution dans le temps des performances permet d'étudier l'adaptation des porcs à leur régime lors des essais 1 et 2 (Figure 1). Ainsi, la hausse de la CMJ d'une période à l'autre est similaire quel que soit le régime pour l'essai 1, alors que pour l'essai 2 les porcs R5 et R6 ont une CMJ qui n'est pas différente entre J0-15 et J15-28. Par ailleurs, les porcs de l'essai 1 recevant les régimes R1 à 3 ont un IC significativement plus faible pour la période J0-15 comparativement aux périodes suivantes. A l'inverse, l'IC du régime R5 est élevé dès J0-15 mais ne se dégrade plus au-delà. Dans l'essai 2, l'IC ne varie pas significativement d'une période à l'autre pour R1 à R4, alors que pour R5 et R6, l'IC diminue avec le temps.

L'effet essai n'est pas significatif lors des analyses de régression des résultats regroupés des essais 1 et 2. Les données, ne correspondent pas à un modèle quadratique, ou bien linéaire-plateau ou curvilinéaire-plateau, de la réponse aux FAT. Les modèles linéaires suivants ont été déterminés (Proc REG, SAS) pour la période totale nourrain-croissance :

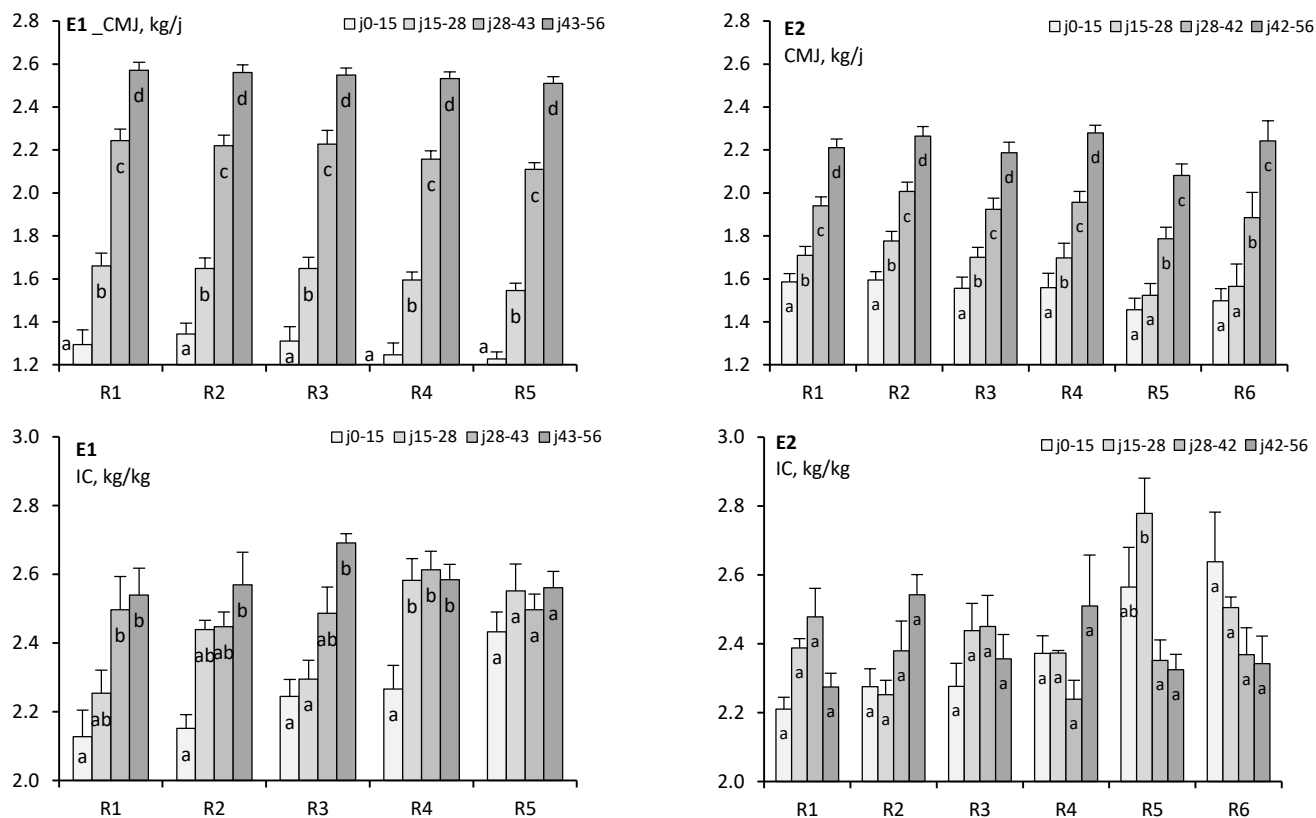
$$CMJ = 0,50 (\pm 0,18) - 0,04 (\pm 0,01) TIU + 0,04 (\pm 0,01) P_{j0} + 0,10 (\pm 0,02) S_x \quad [R^2 = 0,58; ETR = 0,09]$$

$$GMQ = 312 (\pm 99) - 32 (\pm 5) TIU + 15 (\pm 3) P_{j0} + 40 (\pm 13) S_x \quad [R^2 = 0,54; ETR = 48]$$

$$IC = 2,28 (\pm 0,02) + 0,05 (\pm 0,02) TIU \quad [R^2 = 0,39; ETR = 0,08]$$

où CMJ, GMQ, IC, TIU et  $P_{j0}$  sont respectivement exprimés en kg/j, g/j, kg/kg, TIU/mg et kg, alors que  $S_x$  prend la valeur 1 pour les mâles castrés et 0 pour les femelles.

Dans l'essai 3 (Tableau 4), l'aliment R2 à 2,8 TIU/mg diminue significativement la CMJ et le GMQ en période nourrain (J8-21), puis numériquement en période croissance (J21-49) par rapport à l'aliment témoin à 0,7 TIU. L'IC est plus élevé pour le régime R2 que pour le régime R1 en période nourrain ( $P = 0,05$ ), mais est similaire en période croissance. En finition (J49-97), les porcs recevant le régime R2 après avoir reçu le régime R1 en croissance, ont un GMQ plus faible par rapport aux porcs ayant



**Figure 1** – Effet par période du régime sur la CMJ et l'IC pendant les essais 1 (E1) et 2 (E2).

Les valeurs (moyenne et erreur standard) non indexées de la même lettre intra régime différent ( $P < 0,05$ ).

reçu la séquence R1R1 ( $P < 0,05$ ), ainsi qu'un IC plus élevé que celui des porcs R1R1 et R2R2. Les performances de finition des porcs recevant l'aliment R2 puis l'aliment R1, sont intermédiaires entre celles des porcs R1R1 et celles des porcs R2R2 et R1R2. A l'abattage, un poids plus élevé du pancréas est constaté pour les deux groupes ayant reçu le régime R2 en période de finition ( $P = 0,04$ ).

### 3. DISCUSSION

Les teneurs en FAT des graines de soja utilisées sont en accord avec celles rapportées pour les mêmes variétés par Berger *et al.* (2015). Ces auteurs soulignent que l'effet de la variété est plus important que celui du lieu et des conditions de culture, alors que les teneurs en FAT des tourteaux varient selon l'usine et le procédé d'origine (Karr-Lilienthal *et al.*, 2006). Le contrôle qualité et la traçabilité des produits du soja sont donc essentiels pour les utiliser avec précision en alimentation porcine. Dans leur revue, Woyengo *et al.* (2017) indiquent que la baisse de gain de poids provoquée par les FAT chez les monogastriques est liée à la fois à la réduction de l'ingéré et à la diminution de la digestibilité des nutriments. Notre étude confirme l'impact négatif des FAT sur la consommation d'aliment et l'efficacité alimentaire à des teneurs dans l'aliment de 3,3 et 3,5 TIU/mg dans l'essai 1 (R4 et R5), 4,0 et 4,8 TIU/mg dans l'essai 2 (R5 et R6), puis 2,8 TIU/mg dans l'essai 3. Les deux régimes R3 des essais 1 et 2 contiennent la même quantité de graines Bahia et ont des teneurs en FAT (2,2 TIU/mg) très proches. Ils entraînent des baisses numériques de gain de poids, non significatives, par rapport aux régimes R1 et R2 pour la période nourrain des deux essais. Ces résultats sont en accord avec ceux de Zollitsch *et al.* (1992) montrant une baisse de la croissance des porcs en engraissement recevant de 2,7 à 3,2 TIU/mg dans la ration. Chez

le porcelet sevré recevant un aliment à 2,7 TIU/mg, une baisse marquée du gain de poids et de la digestibilité des acides aminés a été rapportée par Halas *et al.* (2020).

La capacité d'adaptation des animaux à la présence des FAT dans les aliments après quelques semaines, observée dans l'étude, est en accord avec les observations précédentes chez le porcelet (Webster *et al.*, 2003 ; Lawrence *et al.*, 2004). En outre, les effets des FAT sont réversibles et les porcs R2R1 de l'essai 3 revenant à un régime à teneur faible après avoir été exposés pendant la période précédente, récupèrent une partie du retard de performance sur les porcs R1R1. A l'inverse, une réduction de la performance peut être constatée pour les porcs R1R2 de l'essai 3 exposés à 2,8 TIU/mg à partir de 60 kg.

Nos résultats correspondent à une dose réponse interprétable par un modèle linéaire, indiquant que la CMJ des porcs pendant la phase de croissance diminue de 40 g/j et que le GMQ diminue de 32 g/j par TIU supplémentaire de FAT par mg d'aliment. Les données ne sont pas statistiquement adaptées à un modèle linéaire-plateau ou curvilinéaire-plateau qui permettrait de calculer un seuil sans effet de l'exposition aux FAT sur les performances d'engraissement. Cependant, compte tenu de ce qui précède, il apparaît, que la limite de 3 TIU/mg dans l'alimentation des porcs indiquée par Woyengo *et al.* (2017) semble trop élevée. Une teneur maximale de 2,0 TIU de FAT par mg d'aliment devrait permettre de s'assurer d'un effet limité des FAT en engraissement.

L'essai 3 montre un poids plus élevé du pancréas des porcs exposés aux FAT, en lien avec la baisse de rendement carcasse dans les essais 1 et 3. L'effet des FAT sur le poids du pancréas a été principalement rapporté chez le poulet (Clarke et Wiseman, 2005) ou le rat. Elle ne serait généralement pas observée chez le porc (revue de Woyengo *et al.*, 2017).

Une digestion incomplète des protéines conduit à des excès de

**Tableau 4** – Effets de la teneur en FAT sur les performances des porcs de l'essai 3<sup>1</sup>

Paramètres <sup>2,3,4</sup>	Régimes FAT <sup>4</sup> TIU/mg	R1R1 0,73 / 0,71	R1R2 0,73 / 2,78	R2R1 2,79 / 0,71	R2R2 2,79 / 2,78	ETR	Valeur de P
Poids, kg	J8	30,2	30,2	30,5	30,0	1,5	
	J21	37,9	37,3	36,5	36,3	1,5	R <sub>C</sub> *
	J49	64,4 <sup>a</sup>	64,1 <sup>a</sup>	63,7 <sup>ab</sup>	60,0 <sup>b</sup>	3,1	R <sub>C</sub> *
	J98	113,8 <sup>a</sup>	108,9 <sup>ab</sup>	111,9 <sup>ab</sup>	106,5 <sup>b</sup>	4,8	R <sub>F</sub> **
CMJ, g/j	J8-21	1,33 <sup>a</sup>	1,33 <sup>a</sup>	1,26 <sup>ab</sup>	1,22 <sup>b</sup>	0,06	R <sub>C</sub> ***
	J21-49	2,06 <sup>ab</sup>	2,08 <sup>ab</sup>	2,10 <sup>a</sup>	1,89 <sup>b</sup>	0,15	R <sub>C</sub> ×R <sub>F</sub> *
	J49-97	2,70 <sup>ab</sup>	2,67 <sup>b</sup>	2,72 <sup>a</sup>	2,67 <sup>b</sup>	0,04	R <sub>F</sub> **
GMQ, g/j	J8-21	594 <sup>a</sup>	548 <sup>ab</sup>	460 <sup>b</sup>	492 <sup>ab</sup>	96	R <sub>C</sub> **
	J21-49	944 <sup>ab</sup>	957 <sup>a</sup>	972 <sup>a</sup>	843 <sup>b</sup>	77	R <sub>C</sub> ×R <sub>F</sub> *
	J49-97	1027 <sup>a</sup>	933 <sup>b</sup>	1005 <sup>ab</sup>	970 <sup>ab</sup>	65	R <sub>F</sub> *
IC, g/g	J8-21	2,26	2,46	2,93	2,56	0,54	R <sub>C</sub> *
	J21-49	2,19	2,17	2,17	2,24	0,12	
	J49-97	2,64 <sup>a</sup>	2,86 <sup>b</sup>	2,72 <sup>ab</sup>	2,76 <sup>a</sup>	0,17	R <sub>F</sub> *
Poids chaud, kg		91,6 <sup>a</sup>	87,4 <sup>ab</sup>	90,4 <sup>a</sup>	85,1 <sup>b</sup>	3,7	R <sub>F</sub> **
Rendement froid, %		79,0	77,6	78,9	76,7	2,4	R <sub>F</sub> <sup>t</sup>
Taux muscle, %		61,3	60,5	59,7	60,4	1,5	
Poids pancréas, g		106,3	128,9	104,4	118,8	24	R <sub>F</sub> *

<sup>1</sup> Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées pour un effectif final de 7 à 8 porcs pour chaque traitement. L'animal est l'unité expérimentale. <sup>2</sup> Analyse de variance avec l'effet fixe des régimes croissance (R<sub>C</sub>), finition (R<sub>F</sub>), l'interaction et le poids initial (P<sub>0</sub>) comme covariable. <sup>3</sup> Le poids vif d'abattage (P<sub>98</sub>) est ajouté en covariable pour les données de carcasse. <sup>4</sup> Voir Tableau 2.

substrats pouvant faciliter la prolifération de pathogènes tels qu'*Escherichia coli*. L'apparition dans l'essai 2 de maladie de l'œdème, après un intervalle de temps caractéristique de 11 j après l'exposition au soja cru, peut aussi indiquer un rôle des FAT ou des allergènes du soja complémentaire aux stress du changement d'aliment et de logement dans la pathogénèse de cette maladie

## CONCLUSION

Les inhibiteurs de trypsine affectent la consommation alimentaire et l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance et finition. Une teneur limite maximale de 2,0 TIU de FAT par mg d'aliment est proposée. Ce seuil est à prendre en compte

pour la formulation des aliments d'engraissement. Parallèlement, la production de graines européennes moins riches en facteurs antinutritionnels, comme le paramétrage *ad hoc* des lignes de trituration ou cuisson des graines doivent assurer la production de tourteaux de soja ou de graines traitées dont les facteurs antinutritionnels soient dénaturés, tout en préservant la qualité de la protéine.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Françoise Labalette (Terres Univia). L'étude a bénéficié d'un soutien financier du PNDAR du Ministère de l'Agriculture et de la Région Occitanie dans le cadre du projet SojaLoc.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Berger M., Paulais A., Rey M., Rooryck S., Labalette F., Maury P., 2015. Facteurs antitrypsiques de la graine de soja : évaluation de la variabilité génotypique dans une collection de référence ; effet du semis précoce et de la réduction de l'irrigation. OCL, 22, D504.
- Cabrera-Orozco A., Jiménez-Martínez C., Dávila-Ortiz G., 2013. Soybean: non-nutritional factors and their biological functionality. In: Hany A. El-Shemy (Ed), Soybean - Bio-Active Compounds, 387-410. InTechOpen, Rijeka, HR. DOI: 10.5772/52598.
- Clarke E., Wiseman J., 2005. Effects of variability in trypsin inhibitor content of soya bean meals on true and apparent ileal digestibility of amino acids and pancreas size in broiler chicks. Anim. Feed Sci. Tech., 121(1), 125-138.
- Daumas G., 2008. Taux de muscle des pièces et appréciation de la composition corporelle des carcasses. Journées Rech. Porcine, 40, 61-68.
- Guilpart N., Iizumi T., Ben Ari T., Makowski D., 2019. Assessing area suitable for diversification crops: an example on soybean in Europe under climate change using machine learning. In: Proc. European Conference on Crop Diversification, 18-21 Sept. 2019, Budapest, Hungary.
- Halas V., Royer E., Carré P., Bikker P., Quinsac A., Bach Knudsen K.E., 2020. Impact du décorticage et des traitements thermiques du soja sur la valeur nutritionnelle des tourteaux partiellement déshuilés chez le porcelet. Journées Rech. Porcine, 52, 82-86.
- Karr-Lilienthal L.K., Bauer L.L., Utterback P.L., Zinn K.E., Frazier R.L., Parsons C.M., Fahey G.C., 2006. Chemical composition and nutritional quality of soybean meals prepared by extruder/expeller processing for use in poultry diets. J. Agric. Food Chem., 54(21), 8108-8114.
- Lawrence K., Hastad C., Webster M., Goodband R., Tokach M., Nelssen J., Dritz S., 2001. Effects of soybean meal particle size on growth performance of nursery pigs. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports, 56-58. 10.4148/2378-5977.6699.
- Qin G., Ter Elst E.R., Bosch M.W., Van Der Poel A.F.B., 1996. Thermal processing of whole soya beans: Studies on the inactivation of antinutritional factors and effects on ileal digestibility in piglets. Anim. Feed Sci. Technol., 57, 313-324.
- Terres Univia, 2020. Statistiques Oléagineux et Plantes riches en protéines 2019. <https://www.terresunivia.fr/sites/default/files/articles/publications/marches/terres-univia-statistiques-2019.pdf>.
- Webster M.J., Goodband R.D., Tokach M.D., Nelssen J.L., Dritz S.S., Woodworth J.C., De La Llata M., Said N.W., 2003. Evaluating processing temperature and feeding value of extruded-expeller soybean meal on nursery and finishing pig growth performance. J. Anim. Sci., 81, 2032-40.
- Woyengo T.A., Beltranena E., Zijlstra, R.T., 2017. Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. Anim. Feed Sci. Tech., 233, 76-86.
- Zollitsch W., Wetscherek W., Lettner F., 1992. Einsatz von inländischem Soja expeller in Schweinemastrationen. Die Bodenkultur, 43: 81-95.

# Apport de fourrages riches en protéines dans l'alimentation des porcs

## Conséquences sur les performances technico-économiques à l'échelle de l'atelier porcin

Constance DRIQUE (1), Catherine CALVAR (1), Aurélien DUPONT (2), Gaël GAUCHER (2), David RENAudeau (3)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Avenus Borgnis Desbordes, 560009 Vannes Cedex, France

(2) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, 1 parc d'activités de Runanvicit, BP 60419, 22970 Ploumagoar, France

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

[constance.drique@bretagne.chambagri.fr](mailto:constance.drique@bretagne.chambagri.fr)

Avec la collaboration de Erwan BLEUNVEN, Aurore CONNAN, Cédric MILON, Pierre LE DEVEHAT, Chloé LEIN, Philippe LIRZIN.

### Apport de fourrages riches en protéines dans l'alimentation des porcs : conséquences sur les performances technico-économiques à l'échelle de l'atelier porcin

Dans l'essai 1, deux bandes de 144 porcs charcutiers en finition, d'un poids initial d'environ 67 kg, ont été alimentés avec 0 (lot T1), 10 (lot E10) ou 20 % (lot E20) d'ensilage de luzerne dans la ration. Dans l'essai 2, deux bandes de 129 porcs charcutiers d'un poids initial de 22 kg ont été suivies et trois traitements ont été testés. Le lot témoin (T2) a été alimenté avec des aliments croissance et finition à 100 % de leur plan d'alimentation. Les deux autres lots EL et TVRG ont été rationnés à 95 % du plan d'alimentation du lot T2, avec une distribution à volonté, respectivement, de luzerne enrubannée ou d'un mélange de trèfle violet et ray-grass enrubanné. Les performances sociales et technico-économiques sont évaluées et mises en relation avec les performances économiques des systèmes de cultures correspondants, pour une exploitation spécialisée en production porcine. Dans l'essai 1, l'apport d'ensilage de luzerne dans les rations des porcs charcutiers n'influence pas le taux de muscle des pièces mais impacte négativement l'indice de consommation des porcs. Pour le lot E20, les performances de croissance sont également moins bonnes, impliquant un coût du kilo de croît plus élevé que pour les lots T1 et E10. Dans l'essai 2, les porcs du lot TVRG présentent de meilleures vitesses de croissance que les lots T2 et EL sur l'engraissement. Les porcs du lot EL présentent une vitesse de croissance similaire au lot T2 mais leur durée d'engraissement est plus longue. Les fourrages étudiés ne sont pas une source de protéines assez efficace pour les porcs, et leurs effets positifs sur les systèmes de cultures ne sont pas assez conséquents pour permettre une bonne rentabilité économique de l'exploitation, dans le contexte de prix actuel des autres sources de protéines.

### High-protein forages in pig feed: effects on technical and economic performances at the pig-farm level

In Experiment 1, two batches of 144 finishing pigs, beginning at 55 kg body weight, were fed 0% (T1), 10% (E10) or 20% (E20) silage lucerne in their feed intake. In Experiment 2, two batches of 129 fattening pigs, beginning at 22 kg body weight, were allocated to three treatments. The control group was fed 100% growing and finishing feeds. The other two groups – EL and TVRG – were rationed at 95% and received wrapped lucerne or wrapped red clover/ryegrass, respectively, ad libitum. Technical, economic and social performances were assessed and related economic performances of crop systems on a pig farm. In Experiment 1, silage lucerne in pig feed had no effect on carcass leanness but a negative effect on the feed-conversion ratio. Pigs in E20 also showed lower growth performances and thus higher feed cost per kilo of weight gained than pigs in T1 and E10. In Experiment 2, pigs in TVRG had high ADG during the fattening period. Pigs in EL and T1 had same ADG, but pigs in EL had a longer fattening period. High-protein forages are not sufficiently digestible as a protein source for pigs. Likewise, their positive effects on crop systems are not sufficient to yield good economic sustainability for pig farms.

## INTRODUCTION

Certains cahiers des charges en production porcine interdisent l'utilisation du soja OGM dans l'alimentation des porcs, d'autres imposent une autonomie alimentaire sur l'exploitation. Aussi, l'amélioration de l'autonomie protéique des exploitations porcines est une voie explorée pour réduire les coûts alimentaires et la dépendance à l'importation de tourteaux d'oléagineux, actuellement très chers dans le cas d'un soja non OGM. Au regard de ces constats, se posent les questions de la production et de la valorisation de légumineuses fourragères comme source de protéines, produites dans ou à proximité de l'exploitation. Si c'est une solution bien connue dans les élevages de ruminants, l'utilisation de fourrages en alimentation porcine est limitée par des considérations techniques liées à la distribution des fourrages aux porcs logés en grande majorité sur caillebotis. De plus, leur forte teneur en fibre et leur faible valeur protéique pour les porcs peuvent impacter les performances technico-économiques de l'atelier porcin. L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets sur les performances technico-économiques et sociales de l'élevage porcin d'une alimentation à base d'ensilage de luzerne associé à un aliment complémentaire, ou de la distribution de fourrages protéiques enrubannés associée à un rationnement alimentaire. Comme l'introduction de légumineuses fourragères dans l'assolement des exploitations porcines pourrait améliorer les systèmes de cultures, les résultats zootechniques seront complétés des résultats économiques du système de culture associé, en suivant la méthodologie de Driquet *et al.* (2022).

## 1. MATERIEL ET METHODES

Les essais ont été menés par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne à la station expérimentale de Crécom (Saint-Nicolas-du-Pelem, 22) sur des porcs charcutiers femelles et mâles castrés issus de truies Large White x Landrace et de verrats Piétrain.

### 1.1. Essai 1 – Ensilage de luzerne

#### 1.1.1. Dispositif expérimental

Deux bandes de 144 porcs charcutiers sont utilisées pour évaluer l'effet de l'incorporation d'ensilage de luzerne dans la ration sur leurs performances en finition. A 60 jours d'âge en moyenne, les porcs mâles castrés et les femelles sont séparés, mis en lot selon leur poids et répartis entre trois traitements, dans deux salles identiques de 72 places (six porcs par case) sur caillebotis intégral. De 60 à 101 jours d'âge, l'ensemble des porcs reçoivent un même aliment croissance avec une distribution initiale de 45 g d'aliment/kg de poids vif et une progression de 35 g/j jusqu'à un plafond de 2,6 kg/j. A partir de 102 jours d'âge, les porcs reçoivent des rations composées de 0 % (lot T1), 10 % (lot E10) ou 20 % (lot E20) d'ensilage de luzerne plante entière sur la base de la teneur en matière sèche (MS). Les porcs sont rationnés et reçoivent les aliments complets (lot T1) ou complémentaires en sec (lots E10 et E20). Seuls les résultats obtenus à partir de 102 jours d'âge jusqu'à l'abattage sont présentés dans l'article.

La distribution d'aliment et d'ensilage se fait manuellement deux fois par jour. L'ensilage est distribué 30 minutes après les aliments complémentaires pour les lots E10 et E20. L'ensilage, broyé finement, aurait pu être distribué sous forme de soupe, mais la taille de la machine à soupe et les circuits de distribution à la station expérimentale ne l'ont pas permis.

#### 1.1.2. Aliments expérimentaux et conduite

Les aliments sont préparés en miette et formulés de façon à ce que les rations (fourrages inclus) des trois lots T1, E10 et E20 soient iso-énergétiques [9,4 MJ d'énergie nette (EN)/kg] et iso-lysine digestible [0,75 g de lysine digestible (Lys Dig)/MJ EN] sur la base des valeurs nutritionnelles des matières premières communiquées par le service formulation de l'usine de fabrication d'aliment. La composition chimique de l'ensilage de luzerne a été analysée et ses valeurs nutritionnelles ont été calculées (Tableau 1) en se basant sur les premiers résultats de Renaudeau *et al.* (2021). Suite à ces travaux, la teneur en lysine digestible de l'ensilage de luzerne de l'essai 1 a été supposée à 0 g et la formulation a été réalisée en suivant cette hypothèse. Les taux d'incorporation moyens des matières premières et les principales caractéristiques nutritionnelles des aliments sont présentés dans le tableau 2.

#### 1.1.3. Mesures

Chaque porc est pesé individuellement à jeun à la mise à l'engrais, au début de l'essai à 102 jours, à 144 jours d'âge et à chacun des trois départs à l'abattoir avec un objectif de 115 kg de poids vif. Pour des contraintes d'organisations, le laps de temps entre le premier départ et le dernier départ à l'abattoir ne peut pas être de plus de trois semaines. Les quantités d'aliments et de fourrages distribuées et les refus sont pesés tous les jours, en brut. Les aliments et fourrages distribués ont été analysés en début de bande. A l'abattoir, les caractéristiques des carcasses sont relevées individuellement. En cas de mortalité ou de transfert en infirmerie d'un porc, son âge, son poids et la cause sont relevés. Au cours de l'essai 1, six porcs sont morts ou ont été transférés à l'infirmerie. Les temps de désilage, de pesée de l'ensilage de luzerne à distribuer et de distribution ont été mesurés afin d'estimer un temps de travail associé à cette tâche.

#### 1.1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R. Les données d'indice de consommation (IC), alimentaire et énergétique, de consommation journalière et de coût alimentaire ont été soumises à une analyse de covariance avec la case comme unité statistique, en effets fixes le traitement (T), la bande (B), le sexe (S), la salle (SA) et leurs interactions, et le poids moyen initial de la case en covariable. Les données de croissance individuelles des porcs ont été soumises à une analyse de covariance en modèle mixte avec en effets fixes T, B, S, SA et leurs interactions, en effet aléatoire la case et en covariable le poids initial. Les caractéristiques individuelles de carcasse ont été étudiées par analyse de variance avec les effets T, B, S, SA et leurs interactions. Le poids chaud de la carcasse est pris en compte en covariable pour analyser le taux de muscle des pièces (TMP).

### 1.2. Essai 2 – Fourrages enrubannés

#### 1.2.1. Dispositif expérimental

Deux bandes de 129 porcs charcutiers sont utilisées pour évaluer l'impact de la distribution à volonté d'enrubannage de luzerne plante entière (EL) et de trèfle violet/ray-grass (TVRG) plante entière, associée à un rationnement alimentaire, sur les performances des porcs en engraissement. Les porcs sont mis en lot à l'entrée en engraissement, à 60 jours d'âge en moyenne, dans trois cases identiques de 43 places sur litière de paille, de façon à ce que le poids vif soit équivalent entre les trois cases. Les porcs sont alimentés en soupe. A chacune des cases est attribué un traitement : les porcs de la case témoin

(T2) sont alimentés avec des aliments croissance et finition formulés avec des matières premières métropolitaines, et leur plan d'alimentation est basé sur une distribution initiale de 45 g d'aliment/kg de poids vif (PV) et une progression de 35 g/j jusqu'à un plafond de 2,6 kg/j. Les porcs des deux autres cases sont alimentés avec les mêmes aliments que le régime T2. Leurs plans d'alimentation sont basés sur une distribution initiale de 42,75 g d'aliment/kg de PV et une progression de 33 g par jour jusqu'à un plafond de 2,47 kg/j ; soit un rationnement à 5 % du plan d'alimentation du régime T2. Ils reçoivent en plus une distribution à volonté, respectivement, d'enrubannage de luzerne (EL-P) et d'enrubannage de trèfle-violet/ray-grass (TVRG).

### 1.2.2. Aliments expérimentaux

Les aliments croissance et finition sont préparés en miette, et formulés pour 9,5 MJ EN/kg et, respectivement, 0,85 et 0,76 g Lys. Dig/MJ EN, sur la base des valeurs nutritionnelles des matières premières communiquées par le service formulation de l'usine de fabrication d'aliment. Les taux d'incorporation moyens des matières premières et les principales caractéristiques nutritionnelles des aliments sont présentés dans le tableau 2. Les analyses des valeurs nutritionnelles des enrubannages ont été réalisées par l'INRAE et sont indiquées dans le tableau 1.

### 1.2.3. Mesures

Chaque porc est pesé individuellement, à jeun, à 60, 102 et 144 j d'âge d'engraissement et lors de son départ à l'abattoir, avec

un objectif de 115 kg de poids vif. Pour des contraintes d'organisations, le laps de temps entre le premier départ et le dernier départ à l'abattoir ne peut pas être de plus de 3 semaines. Les quantités d'aliments et de fourrages distribuées sont mesurées entre deux pesées, en brut. Les aliments et fourrages distribués ont été analysés en début de bande. A l'abattoir, les caractéristiques des carcasses sont relevées individuellement. En cas de mortalité ou de transfert en infirmerie d'un porc, son âge, son poids et la cause sont relevés. Au cours de l'essai 2, quatre porcs sont morts ou ont été transférés à l'infirmerie. Les temps de distribution des enrubannages et de changement de botte d'enrubannage ont été mesurés afin d'estimer un temps de travail associé à cette tâche.

### 1.2.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R. Les données de croissance individuelles des porcs ont été soumises à une analyse de covariance en modèle mixte avec en effets fixes le traitement (T), la bande (B), le sexe (S), et leurs interactions, en effet aléatoire la case, et en covariable le poids initial. Les caractéristiques individuelles de carcasse ont été étudiées par analyse de variance avec les effets T, B, S et leurs interactions. Le poids chaud de la carcasse est pris en compte en covariable pour analyser le taux de muscle des pièces (TMP). Les données de consommation et de coût alimentaire étant mesurées sur deux cases par traitement, elles ne peuvent faire l'objet d'une analyse statistique.

**Tableau 1** – Valeurs nutritionnelles des fourrages utilisés dans les essais 1 et 2

Essais Fourrages	Essai 1		Essai 2	
	Ensilage de luzerne	Enrubannage de luzerne	Enrubannage de luzerne	Enrubannage de TVRG
Matière sèche (MS), %	61,9	45,7	45,7	51,9
Matière minérale, % MS	9,7	10,7	10,7	11,1
Matière organique, % MS	90,3	89,3	89,3	88,9
Cendres brutes, % MS	9,7	-	-	-
Protéines brutes (N x 6,25), % MS	17,8	22,4	22,4	14,8
Azote protéique, % Azote total	57,0	34,8	34,8	71,5
NDF, % MS	52,4	37,6	37,6	47,4
ADF, % MS	35,1	24,3	24,3	30,5
ADL, %MS	6,4	5,4	5,4	4,5
Cellulose brute, % MS	32,6	21,2	21,2	26,1
Energie brute, MJ/kg MS	18,7	19,1	19,1	18,7
Energie digestible calculée, MJ/kg MS	9,4			
Energie nette calculée <sup>1</sup> , MJ/kg MS	5,0	-	-	-

<sup>1</sup>Equation EN<sub>4</sub> publiée par Noblet et al. (2003).

### 1.3. Lien avec le système de cultures et évaluation de la durabilité à l'échelle de l'exploitation

La mesure de l'impact de l'introduction de fourrages, dans les assolements des exploitations porcines bretonnes est réalisée par une évaluation ex ante multicritères dont la méthodologie est décrite par Drique *et al.* (2022). Les résultats zootechniques et économiques des essais 1 et 2 sont mis en relation avec les résultats économiques des systèmes de cultures suite à l'introduction des fourrages testés dans les essais 1 et 2, pour évaluer la durabilité des systèmes à l'échelle de l'exploitation. Les simulations réalisées peuvent s'appliquer à différents types d'exploitations porcines : les spécialisés en production porcine avec plus ou moins de surface agricole utile (SAU) et les exploitations mixtes avec des bovins lait et/ou viande. Dans cette étude, nous nous intéresserons uniquement aux résultats

pour des exploitations spécialisés en production porcine avec 79 Ha de SAU (Drique *et al.*, 2022).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Essai 1 – Ensilage de luzerne pour les porcs charcutiers

Quasiment aucun refus d'ensilage de luzerne n'a été collecté au cours de l'essai. Les performances zootechniques et économiques des porcs sont présentées dans le tableau 3. Les porcs du lot E10 présentent un gain moyen quotidien (GMQ) plus faible que les porcs du lot T1, tandis que les porcs du lot E20 ont un GMQ plus faible que les porcs du lot E10. Cela se traduit par un poids d'abattage plus faible pour le lot E20 et une durée d'engraissement plus longue, comparé au lot T1. Le lot E10 a un poids d'abattage et une durée d'engraissement intermédiaires.

**Tableau 2 – Composition et caractéristiques nutritionnelles des apports alimentaires réalisés**

Essais	Essai 1					Essai 2	
	T1	E10		E20		Aliment croissance	Aliment finition
Lots	Aliment complet	Aliment complémentaire	Ration complète	Aliment complémentaire	Ration complète		
<b>Ingrédients, %</b>							
Blé	30,2	32,1	28,9	32,3	25,9	58,0	49,2
Maïs	25,0	25,0	22,5	25,0	20,0	13,0	20,3
Orge	18,0	20,0	18,0	24,2	19,4	3,2	7,5
Tourteau de soja	10,0	11,5	10,3	14,2	11,2	-	-
Tourteau de colza	-	-	-	-	-	9,5	9,2
Tourteau de tournesol	12,8	7,5	6,7	-	-	12,5	10
Ensilage de luzerne	-	-	10,0	-	20,0	-	-
Acides aminés, minéraux et vitamines	4,0	3,9	3,6	4,3	3,5	3,8	3,8
<b>Caractéristiques nutritionnelles</b>							
MAT <sup>1</sup> , %	15,0	14,8	14,9	14,6	14,9	15,1	14,2
Matière organique, %	95,2	95,7	95,0	96,1	94,7	95,6	95,5
Cellulose brute, %	6,1	4,9	7,3	3,4	8,5	6,5	5,9
Energie nette (EN), MJ/kg	9,4	9,8	9,4	10,32	9,4	9,5	9,5
Lys. Dig. <sup>2</sup> , g/MJ EN	0,75	0,82	0,75	0,94	0,74	0,85	0,76

<sup>1</sup>Matières azotées totales ; <sup>2</sup>Lysine digestible (valeur calculée).

Les porcs des trois lots présentent des consommations journalières identiques mais les IC alimentaire et énergétique des lots E10 et E20 sont dégradés par rapport à celui du lot témoin, en raison d'une plus faible croissance et d'une diminution globale de la densité nutritionnelle de la ration. L'indice de consommation est d'autant plus dégradé que la part d'ensilage dans la ration augmente. Cette chute de performance suite à l'introduction d'ensilage de luzerne dans la ration peut être en partie liée à la faible teneur en acides aminés dans l'ensilage de luzerne, d'après Renaudeau *et al.* (2021). Aussi, la qualité de l'ensilage de luzerne utilisé dans l'essai 1 peut également être mis en cause. En effet, bien que la valeur cible de matière sèche pour l'ensilage de luzerne était de 35 %, un fanage trop long a augmenté la teneur en matière sèche à 61,9 % pour l'ensilage, avec probablement une perte d'azote protéique, représentant ainsi 57 % de l'azote total. De plus, l'ensilage de luzerne a été réalisé en plante entière, augmentant la part de fibres non digestibles. En effet, la teneur en NDF des feuilles de luzerne analysées par Renaudeau *et al.* (2020) est de 27 % MS vs 52,4 % MS pour l'ensilage utilisé dans l'essai 1. Cette forte teneur en fibres a des conséquences directes sur la disponibilité de l'énergie et des acides aminés. Se pose alors la question de la forte variabilité qualitative des ensilages de luzerne des exploitations et leurs conséquences plus ou moins importantes sur les performances zootechniques. Le TMP et la plus-value sont identiques entre les trois lots. Le lot E20 présente un rendement carcasse plus faible que le lot T1, tandis que les porcs du lot E10 sont intermédiaires. La diminution du rendement carcasse avec l'augmentation de la part d'ensilage de luzerne dans la ration est liée à l'augmentation des contenus digestifs, suite à la forte présence de fibres dans la ration. En supposant un coût de production par l'éleveur de l'ensilage de luzerne à 82 € par tonne de matière sèche, main d'œuvre comprise (PEREL, 2015) et un prix des aliments complémentaires des lots E10 et E20 plus élevé respectivement de 3,3 % et 8,9 % que l'aliment du lot T1, le coût alimentaire par porc est similaire entre les trois lots. En revanche le coût du kilo de croît est plus élevé pour le lot E20 du fait d'une moindre croissance.

Les performances zootechniques et économiques du lot E10 sont similaires à ceux du lot T1 mais ceux du lot E20 sont dégradés. Il semblerait donc qu'il ne faille pas atteindre une incorporation de 20 % d'ensilage de luzerne dans la ration des porcs. Un taux d'incorporation de 10 % d'ensilage de luzerne ne dégrade pas les caractéristiques de carcasses et les performances économiques. Ce constat est en accord avec celui de Renaudeau *et al.* (2021) qui conseille de limiter à 10 % l'incorporation d'ensilage de luzerne, en raison de sa faible teneur en acides aminés digestibles. L'ensilage de trèfle semble plus intéressant puisqu'il peut être introduit à 20% d'après Renaudeau *et al.* (2021).

## 2.2. Essai 2 – Fourrages enrubannés pour les porcs charcutiers

Les performances zootechniques et économiques des porcs suivis au cours de l'essai 2 sont présentées dans le tableau 4. Sur la période de croissance, les porcs du lot EL ont un GMQ plus faible que les porcs des autres lots. Sur la période de finition, le GMQ des porcs du lot EL est égal à celui des porcs du lot T2, permettant d'atteindre un GMQ similaire au lot T2 sur l'ensemble de la période d'engraissement. Par rapport aux porcs du lot T2, ceux du lot TVRG présentent des vitesses de croissances identiques sur la période de croissance, et meilleures sur la période de finition. Ferchaud *et al.* (2019) observaient une vitesse de croissance réduite à partir d'un rationnement à 15 % en aliment et une distribution d'enrubannage de luzerne à volonté. Les porcs suivis dans l'essai de Ferchaud *et al.* (2019) ont été rationnés et ont reçu de l'enrubannage de luzerne à partir de 53,6 kg de poids vif en moyenne. La vitesse de croissance du lot EL sur la période de croissance montre en effet qu'un rationnement alimentaire et une distribution d'EL à volonté pour des porcs trop jeunes impacte leurs performances. Sur la période de finition, à partir de 50,3 kg de poids vif, la vitesse de croissance des porcs du lot EL s'est améliorée, en accord avec les résultats de Ferchaud *et al.* (2019). L'introduction de fourrages dans la ration des porcs dégrade leur IC, même si aucune différence significative ne peut



**Tableau 3** – Performances zootechniques et économiques moyennes<sup>1</sup> des porcs en engraissement alimentés suivant les traitements T1, E10, E20.

Essai 1	Traitements			Statistiques		
	T1	E10	E20	ETR	Effets	
Nombre de cases	16	16	16			
Nombre de porcs abattus	94	93	95			
Poids <sup>2</sup> , kg	Initial <sup>3</sup>	67,8	67,4	66,9	4,7	B***
	Abattage	118,0 <sup>a</sup>	116,8 <sup>ab</sup>	115,5 <sup>b</sup>	4,1	T***, B***, S**
GMQ <sup>2</sup> , g/j		916 <sup>a</sup>	870 <sup>b</sup>	825 <sup>c</sup>	92	T***, S**
Durée d'engraissement <sup>2</sup> , j		98 <sup>a</sup>	99 <sup>ab</sup>	101 <sup>b</sup>	4	T***, S*, B*
Consommation moyenne journalière (86 % MS) <sup>4</sup> , kg		2,66	2,65	2,65	0,03	B***
IC (86 % MS) <sup>4</sup> , kg d'aliment/kg de poids vif		2,92 <sup>a</sup>	3,06 <sup>b</sup>	3,26 <sup>c</sup>	0,10	T***, B***, S***
IC énergétique <sup>4</sup> , MJ EN/kg de poids vif		26,8 <sup>a</sup>	28,5 <sup>b</sup>	30,7 <sup>c</sup>	1,0	T***, B***, S***
Taux de muscles des pièces <sup>5,6</sup>		61,3	61,2	61,6	1,8	S*, T x B*
Plus-value, centimes d'euros par kg de carcasse <sup>5</sup>		15,2	14,9	14,6	3,7	T x B**
Rendement carcasse <sup>5</sup> , %		77,6 <sup>a</sup>	77,1 <sup>ab</sup>	77,0 <sup>b</sup>	1,2	T**, S*, S x SA*
Coût alimentaire <sup>4</sup> (base 100 = lot T1)		100,0	99,7	103,5	5,3	B*
Coût du kilo de croît <sup>4</sup> , centimes d'euro par kg de carcasse		77,8 <sup>a</sup>	79,3 <sup>a</sup>	82,9 <sup>b</sup>	2,8	T***, B***, S***

<sup>1</sup>Moyennes ajustées. <sup>2</sup>Analyse mixte de la covariance sur les données individuelles des porcs avec en effets fixes le traitement (T), la bande (B), le sexe (S), la salle (SA) et leurs interactions, en effet aléatoire la case et en covariable le poids initial. <sup>3</sup>Le poids initial n'est pas pris en covariable pour cette analyse. <sup>4</sup>Analyse de la covariance sur les données moyennes par case avec en effets principaux T, B, S, SA et leurs interactions, et en covariable le poids initial. <sup>5</sup>Analyse de la variance sur les données individuelles des porcs avec en effets principaux T, B, S, SA et leurs interactions. <sup>6</sup>Le poids chaud de carcasse est pris en compte en covariable. ETR : écart-type résiduel ; abc : Les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes. \* : P < 0,05, \*\* : P < 0,01, \*\*\* : P < 0,001.

être observée du fait de trop peu de données. Cette dégradation serait notamment due à la consommation des fourrages distribués à volonté, mais sans gain de poids associé. Les porcs des lots EL et TVRG ont consommé en moyenne 173 g de MS/porc/jour d'EL et 110 g de MS/porc/jour d'enrubannage de TVRG respectivement. Les performances zootechniques des porcs du lot TVRG sont meilleures que celles des porcs du lot EL, en lien avec une part d'azote protéique plus importante dans l'enrubannage de TVRG. Cela pourrait être attribué à l'action protectrice de la polyphénol oxydase contre les phénomènes de protéolyse dans l'enrubannage de TVRG, comme indiqué par Renaudeau *et al.* (2021) pour l'ensilage de trèfle violet. Les valeurs de protéines brutes (6,25 x N) des enrubannages ne sont pas un indicateur de la disponibilité des acides aminés pour les porcs, des pertes d'azote protéique pouvant se produire lors

des fermentations des enrubannages, réduisant leur teneur en acides aminés. Les porcs de la modalité EL présentent un meilleur taux de muscle des pièces (TMP) que les porcs des autres lots, en accord avec les observations faites par Ferchaud *et al.* (2019). Leur plus-value est identique à celle des porcs du lot TVRG du fait d'un poids d'abattage plus faible. Les porcs du lot T2 ont une plus-value plus faible à l'abattoir que les porcs des lots EL et TVRG, liée à une valeur de TMP plus faible que celle du lot EL, et à un poids d'abattage plus faible que celui du lot TVRG. En supposant un coût de récolte des enrubannages de luzerne et TVRG à 89 € par tonne de matière sèche, main d'œuvre comprise (PEREL, 2015), le coût alimentaire et le coût du kilo de croît du lot EL sont bien supérieurs à ceux des deux autres lots, liés à une plus forte consommation d'EL et à une moindre croissance.

**Tableau 4** – Performances technico-économiques moyennes<sup>1</sup> des porcs alimentés suivant les traitements T2, EL et TVRG

Essai 2	Traitements			Statistiques		
	T2	EL	TVRG	ETR	Effets	
Nombre de cases	2	2	2			
Nombre de porcs abattus	88	84	85			
Poids <sup>2</sup> , kg	Initial	22,7	23,1	21,9	3,2	-
	Début période de finition	55,7 <sup>a</sup>	49,9 <sup>b</sup>	56,0 <sup>a</sup>	3,9	T***, S**
	Abattage	113,6 <sup>ab</sup>	112,0 <sup>a</sup>	117,2 <sup>b</sup>	6,5	T***, B*
GMQ <sup>2</sup> , g/j	Croissance	788 <sup>a</sup>	651 <sup>b</sup>	795 <sup>a</sup>	93	T***, S**
	Finition	994 <sup>a</sup>	996 <sup>a</sup>	1069 <sup>b</sup>	105	T**, S*
	Période totale	907 <sup>ab</sup>	857 <sup>a</sup>	953 <sup>b</sup>	78	T***, S**
Durée d'engraissement <sup>2</sup> , j	101 <sup>ab</sup>	104 <sup>b</sup>	100 <sup>a</sup>	4,6	T***, S**	
IC (86 % MS) <sup>3</sup>	Croissance	2,66	3,40	2,70	-	-
	Finition	2,82	3,13	2,89	-	-
	Période totale	2,76	3,21	2,83	-	-
Taux de muscles des pièces <sup>4,5</sup>	59,5 <sup>a</sup>	60,8 <sup>b</sup>	59,4 <sup>a</sup>	1,7	T***, S***	
Plus-value, centimes d'euros <sup>4</sup>	11,2 <sup>a</sup>	11,9 <sup>b</sup>	11,8 <sup>b</sup>	5,8	S*	
Coût alimentaire <sup>3</sup> (base 100)	100	108	103	-	-	
Coût du kilo de croît <sup>3</sup> , centimes d'euro	63,6	70,2	62,9	-	-	

<sup>1</sup>Moyennes ajustées. <sup>2</sup>Analyse mixte de la covariance sur les données individuelles des porcs avec en effets fixes le traitement (T), la bande (B), le sexe (S) et leurs interactions, en effet aléatoire la case et en covariable le poids initial. <sup>3</sup>Aucune analyse statistique n'est effectuée sur ces données. <sup>4</sup>Analyse de la variance sur les données individuelles des porcs avec en effets principaux T, B, S, et leurs interactions. <sup>5</sup>Le poids chaud de carcasse est en covariable. ETR : écart-type résiduel ; abc : Les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes. \* : P < 0,05, \*\* : P < 0,01, \*\*\* : P < 0,001.

### 2.3. Temps de travail associé à la distribution des fourrages pour les porcs et contraintes techniques

Le temps de travail pour la distribution des fourrages a été mesuré. Il prend en compte les temps de pesée pour des aspects expérimentaux, et sont donc supérieurs aux temps de travail que l'on pourrait avoir sur des exploitations porcines distribuant des fourrages. Pour la distribution d'ensilage de luzerne, il est de 51 minutes par porc sur l'ensemble de l'essai 1. Le temps de travail associé à la distribution des enrubannages de luzerne ou de TVRG est, respectivement, de 27 et 21 minutes par porc sur l'ensemble de l'essai 2. Le temps de travail associé à la distribution d'ensilage de luzerne est plus élevé car l'ensilage, pesé, était distribué deux fois par jour pour 16 cases. Alors que la distribution des enrubannages se faisait pour le lot entier, logé dans une même case, lorsque les deux râteliers de cette dernière étaient quasiment vides. La différence de temps de travail requis pour la distribution des enrubannages de luzerne et de trèfle/ray-grass est liée à une plus forte fréquence de distribution de l'enrubannage de luzerne, celui-ci étant davantage consommé par les porcs. Ces temps de travail n'intègrent pas celui lié à la conduite des cultures, qui doit être pris en compte dans l'évaluation globale à l'échelle de l'exploitation. Aussi, le temps de travail lié à la distribution d'ensilage de luzerne n'inclut pas le temps qu'il a fallu pour vider les fosses. En effet, les porcs de l'essai 1 étaient logés dans des salles avec accumulation de lisier sous les caillebotis. Les déjections des porcs recevant de l'ensilage étant bien plus fibreuses, l'évacuation du lisier, plus solide, n'a pas été aisée. La dégradation des conditions de travail avec la distribution de fourrages à des porcs logés sur caillebotis, majoritaires en France, est un aspect important à prendre en compte dans l'analyse de la durabilité de ce type d'alimentation.

### 2.4. Lien avec le système de culture et évaluation de la durabilité à l'échelle de l'exploitation

L'introduction de légumineuses fourragères dans les rotations des exploitations porcines pourrait améliorer leurs performances agronomiques, et ainsi leur performance économique globale. La méthode décrite par Drique *et al.* (2022) a été appliquée avec les résultats zootechniques des essais 1 et 2, en supposant une taille d'exploitation de 229 truies, produisant 5 496 porcs par an, spécialisée en production porcine, possédant 79 Ha de SAU et fabriquant son aliment. Les performances économiques à l'échelle de l'exploitation prennent en compte les coûts de production des céréales, des fourrages, l'achat des matières premières et des complémentaires en minéraux et vitamines, le coût de fabrication, les droits à paiement de base et à la production de

légumineuses, et les consommations des porcs des essais 1 et 2. Pour l'essai 1, l'incorporation de 10 % d'ensilage de luzerne dans la ration des porcs augmente le coût alimentaire global de 6 % malgré les aides à la production de légumineuses. Cette augmentation est liée à l'achat supplémentaire de céréales, les surfaces cultivées étant réduites sur l'exploitation et du prix élevé des aliments complémentaires à l'ensilage, supplémentés en acides aminés pour équilibrer la ration. Pour l'essai 2, la distribution d'enrubannage de luzerne et de TVRG augmente le coût alimentaire global de 11 %, le rationnement en aliment de 5 % ne permettant pas d'obtenir un coût alimentaire similaire à celui du lot T2.

### CONCLUSION

L'introduction de fourrages dans l'alimentation des porcs charcutiers affecte l'efficacité alimentaire des porcs, et parfois leur vitesse de croissance, quand la méconnaissance de ces matières premières conduit à des apports en acides aminés réalisés de façon non optimale. Ainsi, à l'échelle de l'atelier porcin, le coût alimentaire s'en voit augmenté. A l'échelle de l'exploitation les performances économiques ne sont pas non plus améliorées, voire même dégradées dans le contexte actuel de prix des matières premières. En effet, bien que l'introduction de fourrages puisse améliorer la capacité productive à long-terme des systèmes de cultures des exploitations, cette amélioration n'est pas assez importante face au coût de production des fourrages, de mécanisation, et d'achat des céréales, par conséquent, moins produites sur l'exploitation. D'autres contraintes de taille à la valorisation des fourrages en exploitation porcine sont également à prendre en compte : la difficulté de distribuer des fourrages à des porcs logés majoritairement sur caillebotis, un plan d'épandage du lisier réduit suite à l'ajout de légumineuses dans l'assolement, ou encore, le temps de travail non négligeable associé à la distribution des fourrages. Ainsi, dans un souci d'amélioration d'autonomie protéique des élevages porcins bretons, les fourrages ne sont pas la solution à privilégier, sauf dans des contextes de productions particuliers (agriculture biologique, non-OGM, démarche HVE,...) et/ou en y associant une refonte des bâtiments et des équipements de distribution. L'utilisation de fourrages pour les porcs peut davantage servir à améliorer leur bien-être.

### REMERCIEMENTS

Ces travaux ont bénéficié de l'appui statistique de Maëla Kloareg. Ils ont été co-financés par le Conseil Régional de Bretagne. La fabrication des aliments a été réalisée par Sanders Bretagne.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Drique C., Calvar C., Dupont A., Gaucher G., 2022. Introduction de légumineuses fourragères dans les assolements des exploitations porcines. Conception et évaluation de la durabilité des systèmes. Journées Rech. Porcine, 54, 205-206.
- Ferchaud S., Alibert L., Gaudré D., Montagne L., Renaudeau D., Roinsard A., 2019. Impact de la distribution de luzerne enrubannée sur les performances des porcs en croissance. Journées Rech. Porcine, 51, 115-116.
- Noblet J., Bontems V., Tran G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. INRA Prod. Anim, 16 (3), 197-210
- PEREL, 2015. Fiche de synthèse sur les coûts des fourrages rendus à l'auge : luzerne conventionnel. 2 pages. [http://www.perel.autonomie-fourragere-des-elevages.fr/fileadmin/user\\_upload/Pays\\_de\\_la\\_Loire/092\\_Eve-perel/Couts-des-fourrages/PEREL\\_repere\\_chiffre\\_cout\\_fourrage\\_luzerne\\_conventionnel\\_4\\_ans.pdf](http://www.perel.autonomie-fourragere-des-elevages.fr/fileadmin/user_upload/Pays_de_la_Loire/092_Eve-perel/Couts-des-fourrages/PEREL_repere_chiffre_cout_fourrage_luzerne_conventionnel_4_ans.pdf)
- Renaudeau D., Duputel M., Juncker E., Calvar C., 2020. Valeurs énergétique et protéique des feuilles de luzerne chez le porc en croissance. Journées Rech. Porcine, 52, 75-80.
- Renaudeau D., Stødkilde L., Krogh Jensen S., Bani P., Adler S., 2021. Valeur nutritionnelle de l'ensilage de luzerne et de trèfle violet chez le porc en croissance. Journées Rech. Porcine, 53, 229-230.

# La sensibilité à l'insuline en tant que modulateur de la composition corporelle et ses effets sur la lipogenèse et l'expression génique chez les porcs à l'engraissement

Hector SALGADO (1, 2), Aline REMUS (1), Marie France PALIN (1), Hélène LAPIERRE (1),  
Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (2), Candido POMAR (1)

(1) Sherbrooke Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Sherbrooke, QC J1M 0C8, Canada

(2) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, QC G1V 0A6, Canada

candido.pomar@agr.gc.ca

## La sensibilité à l'insuline en tant que modulateur de la composition corporelle et ses effets sur la lipogenèse et l'expression génique chez les porcs à l'engrais

Les variations de la composition corporelle des porcs seraient associées aux différences de sensibilité à l'insuline compte tenu de son effet anabolique sur la synthèse des lipides. Ce projet vise à caractériser cette association et à comparer la lipogenèse *de novo* ainsi que l'expression de gènes impliqués dans le métabolisme des lipides et la sensibilité à l'insuline dans le tissu adipeux des porcs gras et maigres. Trente porcs de 95 kg cathétérisés à la veine jugulaire ont reçu une dose orale de glucose (1,75 g /kg de poids vif) après 18 heures de jeûne. Des prélèvements sanguins répétés ont été faits avant et après le repas sur une durée de 6 heures pour calculer les indices de sensibilité à l'insuline (QUICKI et Matsuda) en conditions basales et pendant les 6 heures suivant l'ingestion de glucose. Les huit porcs les plus gras et les huit plus maigres (22,0 % et 17,2 % de lipides corporels, respectivement) ont été utilisés afin de déterminer la lipogenèse *de novo* et l'abondance relative des ARNm par analyses qPCR en temps réel. La lipogenèse a été déterminée en mesurant l'incorporation de [U-<sup>13</sup>C]glucose dans les lipides. L'indice QUICKI est négativement corrélé avec la teneur en lipides corporels ( $r = -0,67$  ;  $P < 0,01$ ) et la lipogenèse *de novo* ( $r = -0,58$  ;  $P < 0,01$ ). Les porcs gras ont eu une sensibilité à l'insuline plus faible et l'expression relative des enzymes lipogéniques (ACACA et ACLY ;  $P < 0,05$ ) est plus élevée que chez les porcs maigres ( $P < 0,05$ ). Nos résultats suggèrent également que la diminution en sensibilité à l'insuline des porcs gras serait associée à une plus haute expression du glucose-6-phosphate déshydrogénase ( $P < 0,05$ ) et à une diminution de l'expression du récepteur gamma activé par les proliférateurs de peroxyosomes ( $P < 0,05$ ). En conclusion, les porcs gras ont une sensibilité à l'insuline plus faible qui est associée à une augmentation de la lipogenèse.

## Insulin sensitivity as a modulator of body composition with implications for lipogenesis and gene expression in finishing pigs

Variations in body composition among pigs can be associated with differences in insulin sensitivity given the anabolic effect of insulin during lipid synthesis. The study objectives were to characterize this association and to compare *de novo* lipogenesis and the relative mRNA abundance of genes associated with lipid metabolism and insulin sensitivity in the adipose tissue of fat and lean pigs. Thirty 95 kg pigs, catheterized in the jugular vein, received an oral dose of glucose (1.75 g/kg of body weight after 18 hours of fasting). Blood samples were collected before and during 6 hours following the glucose ingestion. Insulin sensitivity indexes were calculated during basal conditions and after the glucose ingestion (QUICKI and Matsuda). The 8 fattest and 8 leanest pigs (22.0 % and 17.2 % body lipids, respectively) were studied to determine *de novo* lipogenesis and the relative mRNA abundance of studied genes using real-time qPCR analyses. The rate of lipogenesis was estimated by measuring the incorporation [U-<sup>13</sup>C]glucose into lipids. The QUICKI index correlated negatively with total body lipids ( $r = -0.67$ ;  $P < 0.001$ ) and *de novo* lipogenesis ( $r = -0.58$ ;  $P < 0.01$ ). Fat pigs had reduced insulin sensitivity and higher relative mRNA abundance of lipogenic enzymes (ACACA, ACLY;  $P < 0.05$ ) than lean pigs. Our results suggest that the reduced insulin sensitivity observed in fat pigs could be associated to a higher expression of glucose-6-phosphate dehydrogenase combined with the lower expression of peroxisome proliferator-activated receptor-gamma. In conclusion, pigs with increased body lipids have lower insulin sensitivity which is associated with increased *de novo* lipogenesis.

## INTRODUCTION

Chez le porc, le dépôt de lipides est contrôlé par de nombreux facteurs, tels que la nutrition, le sexe, la génétique ou la température ambiante (Dunshea et D'Souza, 2003). Cependant, lorsque ces facteurs sont fixes, une variation importante de la teneur en gras entre les animaux est encore observée. La variation de la composition corporelle chez les porcs pourrait s'expliquer en partie par des facteurs reliés aux processus métaboliques associés à la régulation énergétique. Parmi ces facteurs, la sensibilité à l'insuline est un candidat clé vu que l'insuline est généralement considérée comme un régulateur positif de la synthèse des acides gras et de l'adiposité corporelle (Benoit *et al.*, 2004). En fait, la perfusion d'insuline chez le porc peut augmenter de 50 % la lipogenèse *de novo* dans le tissu adipeux (Dunshea *et al.*, 1992).

Chez le porc, le principal site de lipogenèse *de novo* est le tissu adipeux, le glucose en étant le précurseur privilégié (Bergen et Mersmann, 2005). En plus de son rôle dans la synthèse et le stockage des lipides, la cellule adipeuse produit et sécrète des hormones appelées adipokines, qui modulent la sensibilité à l'insuline et peuvent influencer le métabolisme et la dépense énergétique (Saltiel et Kahn, 2001). La dysrégulation des lipides dans un modèle de souris obèse (Park *et al.*, 2005) et une masse grasse corporelle élevée chez les humains résistants à l'insuline (Kahn *et al.*, 2001) sont quelques exemples du lien étroit entre la sensibilité à l'insuline et le métabolisme des lipides dans le tissu adipeux.

Des études récentes ont montré une plus grande sensibilité à l'insuline dans des lignées de porcs maigres que dans des lignées obèses (Rodriguez-Lopez *et al.*, 2021). Cependant, cette relation n'a pas été étudiée chez des porcs ayant un bagage génétique similaire. Ainsi, les objectifs de cette étude sont de caractériser l'association entre la composition corporelle, la synthèse des lipides et la sensibilité à l'insuline chez des porcs à l'engrais, et de déterminer si l'expression de gènes intervenant dans le métabolisme des lipides et la sensibilité à l'insuline diffèrent entre les porcs gras et maigres.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le projet a été autorisé par le comité de protection des animaux du CRD d'Agriculture et Agroalimentaire Canada de Sherbrooke. Trente porcs castrés ( $36 \pm 3,8$  kg de poids vif, PV) d'un bagage génétique Yorkshire  $\times$  Duroc (Benjoporc et Akama, Sainte-Geneviève-de-Batiscan, QC, Canada) ont été expédiés au complexe porcin d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (Sherbrooke, QC, Canada). La période expérimentale, qui comptait deux essais, a commencé lorsque les porcs ont atteint 95 kg. Le premier essai consistait en un test d'hyperglycémie provoqué par voie orale (HGPO) pour évaluer la variabilité entre les animaux du glucose plasmatique, de la réponse insulinaire et de la sensibilité à l'insuline, ainsi que la relation entre ces paramètres et la teneur en lipides corporels. Le deuxième essai effectué en utilisant une injection bolus de [U- $^{13}$ C]glucose visait à déterminer sur une partie de ces porcs le taux individuel de lipogenèse *de novo* et l'expression relative d'enzymes lipogéniques et de marqueurs génétiques associés à la sensibilité à l'insuline chez les porcs gras et maigres du groupe initial.

### 1.1. Essai 1

Les porcs ( $n = 30$ ) ont été munis d'un cathéter dans la veine jugulaire (Matte, 1999) et placés dans des loges individuelles. Le

jour du test d'HGPO (jour 7), une dose orale de glucose (1,75 g/kg de poids vif (PV)) mélangée à une solution de 300 ml de collagène hydrolysé et d'eau (23,3 mg/ml) a été offerte à chaque porc après 18 heures de jeûne. Des échantillons de 10 ml de sang ont été prélevés à -20, -10 et 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 300 et 360 min après l'ingestion du glucose pour l'analyse d'insuline et du peptide C (tubes héparinés). Un deuxième échantillon de 2 ml a été prélevé pour l'analyse du glucose (tubes avec fluorure de sodium/oxalate de potassium).

La concentration d'insuline a été mesurée avec une trousse commerciale de dosage radio-immunologique pour l'insuline porcine (no PI-12K; EMD Millipore Corporation, Saint Charles, MO, États-Unis). Les concentrations plasmatiques de glucose ont été mesurées en utilisant une trousse enzymatique (no 997-03001, Wakolife Sciences, Mountain View, CA, États-Unis) et les concentrations du peptide C ont été mesurées avec une trousse ELISA (C-Peptide porcine no 10-1256-01, Mercodia Inc, Winston-Salem, NC, États-Unis).

#### 1.1.1. Détermination des concentrations plasmatiques, de la sensibilité à l'insuline et des paramètres connexes

Les réponses de l'insuline, du peptide C et du glucose dans le plasma ont été évaluées d'après l'aire totale sous la courbe ( $ASC_{0-360}$ ) obtenue avec la méthode trapézoïdale entre 0 et 360 min après l'ingestion du glucose. La sensibilité à l'insuline a été estimée à l'état basal et après l'ingestion de glucose avec les indices du Quantitative Insulin Sensitivity Check (QUICKI; Katz *et al.*, 2000) et de Matsuda (MI; Matsuda et DeFronzo, 1999), respectivement. La résistance à l'insuline (HOMA-IR) et la fonctionnalité des cellules  $\beta$  (HOMA- $\%B$ ) ont été estimées avec le modèle d'évaluation de l'homéostasie (HOMA; Levy *et al.*, 1998) à partir des concentrations plasmatiques basales de l'insuline et du glucose. La sécrétion d'insuline pendant le test d'HGPO a été calculée avec l'indice de disposition orale ( $ODI_{cpep}$ ; Galderisi *et al.*, 2019) en utilisant les concentrations plasmatiques du peptide C et du glucose.

#### 1.1.2. Composition corporelle

Le gras corporel total et la teneur en maigre ont été mesurés par absorptiométrie aux rayons X (DXA; GE Lunar Prodigy Advance; GE Healthcare, Madison, WI, États-Unis) 5 jours avant l'HGPO. Les porcs ont été examinés en position ventrale avec le mode de balayage du corps total (GE Lunar enCORE, version 8.10.027; GE Healthcare). Pour l'examen, l'anesthésie a été induite avec du sevoflurane (7 %) et maintenue avec de l'isoflurane (5 %). Les valeurs DXA de la masse maigre et de la masse grasse du corps ont été converties en leur équivalent chimique protéique et lipidique, selon l'approche proposée par Pomar et Rivest (1996).

## 1.2. Essai 2

Une semaine après avoir terminé l'essai 1, les 8 animaux les plus gras et les 8 plus maigres du groupe initial ont été choisis pour participer au deuxième essai ( $108,9 \pm 2,8$  kg de PV). Comme pour l'essai 1, les porcs ont été munis de cathéters (une nouvelle insertion) et logés dans des cages individuelles pendant une semaine avant de procéder à la mesure de la lipogenèse. Ils ont reçu une ration commerciale (2,9 kg/j) une fois par jour, sauf pendant les 4 derniers jours de l'étude ( $\gamma$  compris le jour de l'injection du bolus), où ils ont été nourris six fois par jour, soit toutes les 4 h à partir de 08h00. Ceci a servi à atteindre un état stable d'absorption et d'utilisation des éléments nutritifs, lequel est nécessaire pour mesurer la

lipogenèse *de novo*. Le jour de l'essai, un bolus intraveineux de [ $U\text{-}^{13}\text{C}$ ]glucose (12 mg/kg de PV; 1,6 mmol/g de solution saline) a été administré à chaque porc, par son cathéter, 2 h après le repas de 08h00. Des échantillons de sang ont été prélevés et immédiatement transférés dans des tubes héparinés à -5, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 180, 210 et 240 min après l'injection du traceur, afin d'analyser l'enrichissement isotopique (EI) et la concentration du glucose dans le plasma. Quatre heures après l'injection du bolus, les porcs ont été euthanasiés à l'aide d'un pistolet à tige perforante, puis saignés, et du tissu adipeux a immédiatement été prélevé sur le côté droit de la ligne médiane, dans une zone située entre 4 et 12 cm de la dernière côte lombaire. Les échantillons ont été congelés dans de l'azote liquide et conservés à -80 °C jusqu'à l'analyse de l'enrichissement isotopique en  $^{13}\text{C}$  des lipides et l'analyse de l'expression génique.

### 1.2.1. Estimation de l'enrichissement isotopique du glucose plasmatique et des lipides du tissu adipeux

L'EI du glucose a été déterminé en fonction de la masse des ions 242 et 247 mesurée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GCMS:GC, système de GC en réseau 6890N couplé au réseau MS 5973; Agilent Technologies, Wilmington, DE, États-Unis) en mode impact électronique. Le GC-MS analyse des fragments de la molécule de glucose dérivatisée, donnant ainsi les résultats sous forme de pourcentage molaire en excès (MPE). L'EI en  $^{13}\text{C}$  et la teneur en C des lipides extraits des tissus adipeux ont été déterminés après combustion sur un analyseur élémentaire interfacé à un spectromètre de masse à ratio isotopique (IRMS; Delta Advantage, Thermo, Allemagne). Les résultats sont exprimés en pourcentage atomique en excès (APE).

### 1.2.2. Estimation de la lipogenèse

La lipogenèse *de novo* a été mesurée selon l'incorporation du  $^{13}\text{C}$  du glucose marqué dans les lipides et la procédure adaptée proposée par Salgado *et al.* (2021). En supposant que tout l'EI des lipides provient du glucose marqué, le  $R_{\text{glucose-lipides}}$  a été calculé comme suit :

$$R_{\text{glucose} - \text{lipides}}(t) = \frac{\Delta IE_{\text{lipides}} \times Cm_{\text{lipides extraits}}}{\sum_0^t IE_{\text{glucose plasmatique}} \times Cm_{\text{glucose}}}$$

où le  $R_{\text{glucose-lipides}}$  [( $\mu\text{g}$  de glucose)/(min  $\times$  g de lipides)] est mesuré du temps 0 au temps t,  $\Delta IE_{\text{lipides}}$  est la différence entre l'IE des lipides au temps t (abattage) et l'abondance naturelle, et  $\Delta IE_{\text{glucose plasmatique}}$  est l'aire cumulée sous la courbe de l'EI du glucose plasmatique, exprimée en MPE, déterminée par l'intégration de la courbe à double exponentielle ajustée à l'EI du glucose du temps 0 au temps t [ $IE_{\text{glucose}}(t) = \alpha e^{(-k_1t)} + \beta e^{(-k_2t)}$ ];  $Cm_{\text{lipides extraits}}$  représente la contribution relative de la masse du carbone à la masse totale de lipides dans chaque échantillon de tissu adipeux, obtenu avec l'analyseur élémentaire, tandis que pour le glucose, la  $Cm_{\text{glucose}}$  égale 0,40 selon le rapport du C à la masse totale ( $6 \times 12 / 180$ ) où 6 est le nombre de C dans 1 mole de glucose, 12 est la masse atomique du C (g) et 180 est la masse molaire du glucose (g).

### 1.2.3. Expression relative des gènes

L'expression génique de facteurs de transcription et d'enzymes intervenant dans le métabolisme des lipides et la sensibilité à l'insuline (Tableau 1) a été déterminée par amplification PCR en temps réel. L'amplification des gènes a été faite en triplicat à l'aide d'un système ABI 7500 Fast Real-Time PCR (PE Applied Biosystems) et la spécificité des fragments amplifiés a été confirmée par l'analyse de la courbe de fusion tel que décrit dans Farmer et Palin (2021). Pour chaque gène, des courbes

d'étalonnage ont été générées avec des dilutions en série de pools d'ADNc (Labrecq *et al.*, 2009) et analysées en double pour obtenir une quantification relative de l'ARNm à l'aide de la méthode de la courbe d'étalonnage (User Bulletin n° 2; Applied Biosystems, 1997).

**Tableau 1** – Gènes analysés intervenant dans le métabolisme des lipides et la sensibilité à l'insuline dans le tissu adipeux

Gènes	Amorces (5'-3')	GenBank
ACACA	(F)CCGTAGAAATCAAATTCGCAG (R)CCTTCAGCTTGCTCTCCAG	NM_001 114269
ACLY	(F)TCACAACACCATCATCTGCG (R)CTTACTGAACATCTTGCTGC	NM_001 257276
ADIPOQ	(F)ATGATGTCACCACTGGCAAATTC (R)GACCGTGACGTGGAAGGAGA	EF601160
ChREBP	(F)ATGTTTCGATGACTATGTCCGG (R)ACACCATCCATTGAAGGAC	XM_0139 95540
FASN	(F)CTCAACTCCGAGACGTCATG (R)ACCATTCCCATCAGCG	NM_001 099930
GAPDH	(F)CCCAACGTGTCGGTTGT (R)CTCGGACGCCTGCTTAC	NM_001 206359
G6PD	(F)AGATGATGACCAAGAAGCCC (R)GCAGAAGACGTCCAGGATG	XM_0210 80744
LEP	(F)GGCCCTATCTGTCTACGTTGA (R)CTTGATGAGGGTTTTGGTGTCAT	NM_213 840
PPAR- $\gamma$	(F)CCTTTGGTGACTTATGGAGC (R)TCGATGGGCTTCACATTCAG	NM_214 379
SREBP-1c	(F)GCTTCCAGAGGGACCTGAG (R)CTCAGACTGCGGTCCAG	NM_214 157

ACACA, acétyl CoA carboxylase ; ACLY, ATP citrate lyase ; ADIPOQ, adiponectine ; ChREBP, facteur de transcription sensible au glucose ; FASN, acide gras synthase ; GAPDH, glyceraldéhyde-3-phosphate déshydrogénase ; G6PD, glucose-6-phosphate déshydrogénase ; LEP, leptine ; PPAR- $\gamma$ , récepteur gamma activé par les proliférateurs de peroxyosomes ; SREBP-1c, protéine 1c de liaison à l'élément de régulation des stérols. F, « Forward » ; R, « Reverse »

### 1.3. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide des logiciels SAS (version 9.4; SAS Institute Inc., Cary, NC, États-Unis) et Minitab (version 19; Minitab Inc., State College, PA, États-Unis). Pour déterminer la relation entre la sensibilité à l'insuline et la composition corporelle, des corrélations de Spearman ont été effectuées entre les indices de sensibilité à l'insuline obtenus pendant l'HGPO et les lipides et les protéines corporelles totales. Des régressions linéaires ont été réalisées pour quantifier la variation expliquée par la sensibilité à l'insuline dans la composition corporelle.

L'expression relative de chaque gène étudié, la lipogenèse *de novo* et les indices de sensibilité à l'insuline des porcs gras et maigres ont été comparés avec la procédure MIXED selon un plan expérimental complètement aléatoire, avec le type de porc (gras et maigre) comme facteur fixe. Une analyse multivariée a permis d'évaluer la gamme d'interactions entre les variables quantitatives selon la procédure des variables en grappes de Minitab. Pour l'analyse multivariée, les données brutes des variables utilisées ont été standardisées à l'aide de la procédure Standard de SAS.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Quatre porcs n'ont pas terminé le test d'hyperglycémie et deux porcs ont perdu leur cathéter pendant l'expérience; les données de ces porcs n'ont donc pas été utilisées dans l'analyse. Les concentrations plasmatiques basales du glucose et de

l'insuline étaient similaires aux valeurs rapportées chez des verrats Duroc de 145,8 kg (Castellano *et al.*, 2010; Tableau 2). Cependant, les CV entre les porcs pour la valeur basale de l'insuline (CV = 48 %) et l'ASC<sub>0-360</sub> insuline (CV = 27,9 %) étaient considérablement plus élevés que ceux obtenus pour la valeur basale du glucose (CV = 5,3 %) et l'ASC<sub>0-360</sub> glucose (CV = 5,7 %). Ceci pourrait indiquer une diminution de la sensibilité à l'insuline chez ces porcs qui ont eu besoin de plus grandes quantités d'insuline pour réguler la glycémie.

**Tableau 2-** Statistiques descriptives de la composition corporelle, du glucose et de l'insuline plasmatique des porcs soumis à une hyperglycémie provoquée par voie orale

Variable	Moyenne	Écart-type	Min.	Max.
Poids vif (kg)	94,8	3,4	88,3	101,2
Lipides corporels (%)	19,8	1,5	16,2	22,3
Protéines corporelles (%)	16,3	0,3	15,8	17,1
Glucose basal (mmol/l)	4,2	0,2	3,9	4,7
Insuline basal (μU/ml)	9,8	4,7	3,6	19,4
ASC <sub>0-360</sub> <sup>1</sup> glucose (mmol×min/l)	1485	84	1338	1690
ASC <sub>0-360</sub> insuline (μU×min/ml)	6220	1733	3025	9269
QUICKI <sup>2</sup>	0,36	0,03	0,31	0,41
MI <sup>2</sup>	6,3	2,4	2,9	13,2
HOMA2-IR <sup>2</sup>	1,2	0,6	0,5	2,4
HOMA-%B <sup>2</sup>	88,8	40,6	33,7	184,9
oDI <sub>cpep</sub> <sup>2</sup>	539,4	157,1	254,1	853,6

<sup>1</sup>ASC<sub>0-360</sub> = aire sous la courbe des concentrations plasmatiques de glucose ou d'insuline obtenues du temps 0 à 360 pendant l'HGPO.

<sup>2</sup>Indices estimés en fonction des concentrations du glucose et de l'insuline (QUICKI: Quantitative Insulin Sensitivity Check, HOMA2-IR: La résistance à l'insuline, HOMA-%B: fonctionnalité des cellules β, oDI<sub>cpep</sub>: indice de disposition orale; MI: indice de Matsuda).

### 2.1. Relation entre les indices de sensibilité à l'insuline et la composition corporelle chez les porcs

Des corrélations modérées à fortes ont été observées entre les lipides corporels totaux, les protéines corporelles totales et les indices de sensibilité à l'insuline (Tableau 3). Il y avait une corrélation négative entre les lipides corporels totaux et la sensibilité à l'insuline estimée par QUICKI et MI (-0,67 et -0,59;  $P < 0,01$ , respectivement). De plus, une corrélation positive a été constatée entre l'indice HOMA2-IR et les lipides corporels totaux ( $r = 0,58$ ;  $P < 0,01$ ). Il y avait une corrélation positive entre la sécrétion d'insuline basale (HOMA-B) et les lipides corporels totaux ( $r = 0,45$ ;  $P < 0,05$ ). Une relation inverse a été observée avec les protéines corporelles totales. Lorsque la concentration de glucose est augmentée après l'ingestion de glucose, une faible fonctionnalité des cellules β, mesurée par oDI<sub>cpep</sub>, est associée à une augmentation des lipides corporels totaux ( $r = -0,60$ ;  $P < 0,01$ ), tandis que les porcs plus maigres étaient associés à une meilleure fonctionnalité des cellules β ( $r = 0,58$ ;  $P < 0,01$ ). Ces corrélations sont conformes aux résultats de Castellano *et al.* (2010) qui ont rapporté des corrélations positives entre les lipides corporels totaux et une faible sensibilité à l'insuline chez les porcs en finition. La relation entre la sensibilité à l'insuline et les lipides corporels a aussi été observée chez l'humain. En effet, il est admis que l'obésité et la

répartition de la graisse corporelle sont étroitement associées à la résistance à l'insuline, et cette association pourrait expliquer l'hétérogénéité observée pour la sensibilité à l'insuline chez les humains en bonne santé (Kahn *et al.*, 2001).

Le contenu élevé en lipides corporels a été corrélé avec une sécrétion accrue d'insuline à l'état basal (HOMA-%B), ce qui peut être expliqué par une augmentation compensatrice de la sécrétion d'insuline par les cellules β pancréatiques en réponse à une plus faible sensibilité à l'insuline (Bergman *et al.*, 1981). Toutefois, lors du test au glucose, la corrélation négative entre l'oDI<sub>cpep</sub> et les lipides corporels indique une perte de fonctionnalité des cellules β, laquelle réduit leur capacité à compenser la résistance à l'insuline. Les analyses de régression entre la composition corporelle et les indices de sensibilité à l'insuline indiquent qu'une proportion modérée de la variation des lipides et les protéines corporelles était expliquée par les indices de sensibilité à l'insuline, comme le montre le R<sup>2</sup> des régressions individuelles, qui variaient de 25 % à 45 % (données non présentées).

**Tableau 3-** Corrélations entre la composition corporelle et les indices de sensibilité à l'insuline et de sa sécrétion

	Lipides corporels totaux		Protéines corporelles totales	
	r	P	r	P
<b>Sensibilité à l'insuline</b>				
QUICKI <sup>1</sup>	-0,67	< 0,001	0,66	< 0,001
MI <sup>2</sup>	-0,59	< 0,01	0,60	< 0,01
HOMA2-IR <sup>1</sup>	0,58	< 0,01	-0,59	< 0,01
<b>Sécrétion d'insuline</b>				
HOMA-%B <sup>1</sup>	0,45	< 0,05	-0,48	< 0,05
oDI <sub>cpep</sub> <sup>2</sup>	-0,60	< 0,01	0,58	< 0,01

<sup>1</sup>Indices estimés en fonction des concentrations basales du glucose et de l'insuline (QUICKI: Quantitative Insulin Sensitivity Check, HOMA2-IR: La résistance à l'insuline, HOMA-%B: fonctionnalité des cellules β).

<sup>2</sup>Indices estimés après l'ingestion du glucose (oDI<sub>cpep</sub>: indice de disposition orale; MI: indice de Matsuda).

### 2.2. Sensibilité à l'insuline, expression des gènes et lipogenèse *de novo* dans le tissu adipeux

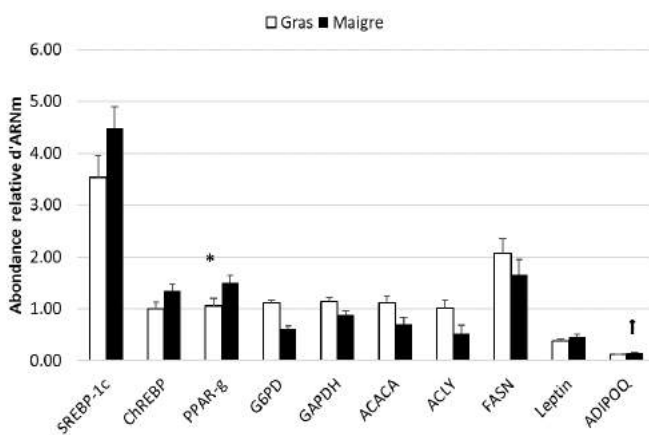
Chez les porcs maigres et gras, le teneur en lipides corporels totaux était en moyenne de 17,4 ± 0,9 % et 22,0 ± 1,0 %, respectivement. La sensibilité à l'insuline et la fonctionnalité des cellules β étaient plus élevées chez les porcs maigres par rapport aux porcs gras (QUICKI = 0,38 vs 0,34, et oDI<sub>cpep</sub> = 674,4 vs 421,3;  $P < 0,05$ ). De plus, la corrélation négative entre la sensibilité à l'insuline (QUICKI) et la sécrétion d'insuline (HOMA-%B) observée dans l'essai 1 ( $r = -0,81$   $P < 0,01$ ) indique que chez les porcs gras, la sécrétion d'insuline est généralement plus importante que chez les porcs maigres.

#### 2.2.1. L'expression des gènes associés à la sensibilité à l'insuline et à la lipogenèse *de novo*

Certains des gènes (*G6PD*, *GAPDH*, *ACACA* et *ACLY*) qui participent à la lipogenèse *de novo* présentaient une expression relative plus faible chez les porcs maigres que chez les porcs gras ( $P < 0,05$ ; Figure 1), tandis que l'expression relative du facteur de transcription *PPAR-γ* était plus élevée chez les porcs maigres (1,06 vs 1,51;  $P < 0,05$ ). De plus, il y avait une tendance à une expression relative plus élevée du facteur de transcription *ChREBP* et de l'adipokine adiponectine (*ADIPOQ*) chez les porcs maigres comparativement aux porcs gras.

Chez les porcs gras, la faible sensibilité à l'insuline était associée à une expression plus élevée du gène codant la *G6PD* et une

expression plus faible de *PPAR-γ* comparativement au groupe maigre. La surexpression de la *G6PD* a été corrélée à une dysrégulation lipidique et à une résistance à l'insuline dans des modèles de souris obèses (Park *et al.*, 2005). La *G6PD* pourrait favoriser la diminution de la sensibilité à l'insuline de deux façons. Premièrement, sa surexpression dans le tissu adipeux entraîne une augmentation de la concentration cellulaire du NADPH, ce qui stimule la lipogenèse dans les adipocytes (Park *et al.*, 2005). Cette situation entraîne une accumulation de lipides, qui est en corrélation positive avec une perte de sensibilité à l'insuline indépendamment de l'obésité (Boden, 2002). Deuxièmement, la surexpression de la *G6PD* modifie l'expression des adipokines en augmentant l'expression de la résistine, mais en diminuant celle de l'adiponectine, deux phénomènes étroitement liés à une diminution de la sensibilité à l'insuline (Park *et al.*, 2005). Dans notre étude, les porcs gras présentaient une tendance à avoir une plus faible expression de l'adiponectine que chez les porcs maigres.



**Figure 1** – Abondance relative d'ARNm codant pour des protéines intervenant dans le métabolisme des lipides et du glucose dans le tissu adipeux des porcs gras et maigre  
\*\*, \* et † signifient respectivement  $P < 0,01$ ,  $P < 0,05$  et  $P < 0,10$

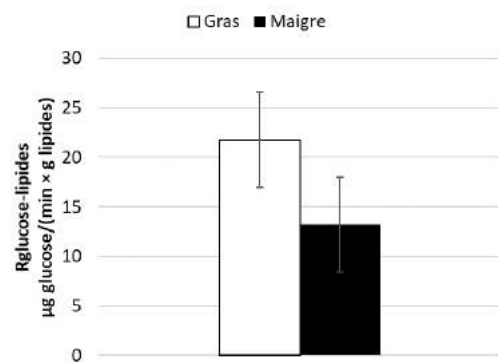
Le facteur de transcription *PPAR-γ* a été identifié comme un médiateur essentiel de la sensibilité à l'insuline de l'organisme tout entier et il est principalement exprimé dans les cellules adipeuses (Rosen *et al.*, 2000). Il est exprimé plus abondamment chez les porcs maigres que chez les porcs gras, et notre étude a montré une corrélation positive entre l'expression de *PPAR-γ* et l'indice QUICKI ( $r = 0,71$ ;  $P < 0,01$ ). Le rôle de *PPAR-γ* dans la différenciation des adipocytes est bien établi, mais ses autres fonctions sont peu connues. Kintscher et Law (2005) ont toutefois démontré que le *PPAR-γ* adipeux garantit l'équilibre et une sécrétion adéquate d'adiponectine et de leptine, deux adipokines médiatrices de l'action de l'insuline dans les tissus périphériques. Aussi, le *PPAR-γ* présent dans le tissu adipeux protège les tissus non adipeux contre une surcharge lipidique excessive et maintient la fonction normale des organes (foie, muscles squelettiques; Kintscher et Law, 2005).

L'expression plus élevée des gènes intervenant dans la voie de la lipogenèse *de novo*, observée dans cette étude, peut être partiellement expliquée par la sécrétion accrue d'insuline chez les porcs ayant une sensibilité plus faible à l'insuline. Une étude récente a en effet montré que l'insuline stimule l'expression des gènes codant pour les enzymes lipogéniques *ACACA* et *ACLY*

(Ho-Palma *et al.*, 2019). En plus de la stimulation directe par l'insuline, la lipogenèse *de novo* peut être régulée à la hausse au niveau transcriptionnel par la surexpression de *SREBP-1c* et *ChREBP*, deux facteurs de transcription qui sont stimulés par l'insuline et les glucides alimentaires dans le foie (Krycer *et al.*, 2010). Cependant, l'absence de différences observée dans notre étude pour ces facteurs de transcription entre les porcs gras et maigres indique que, dans le tissu adipeux du porc, les enzymes *ACACA* et *ACLY* seraient stimulées par un mécanisme indépendant de *SREBP-1c* et *ChREBP*.

### 2.2.2. Lipogenèse *de novo*

Malgré l'augmentation de la lipogenèse *de novo* observée chez les porcs gras par rapport aux porcs maigres [21,9 vs 13,4  $\mu\text{g}$  glucose/(min  $\times$  g lipide)], cette différence n'était pas significative ( $P > 0,05$ ; Figure 2). Cela peut s'expliquer par la grande variation de la lipogenèse *de novo* entre les animaux de chaque groupe. En effet, chez les porcs maigres qui présentaient une lipogenèse similaire à celle des porcs gras, les lipides corporels totaux étaient les plus élevés et la sensibilité à l'insuline, la plus faible de leur groupe. De plus, les corrélations entre la lipogenèse *de novo*, les lipides corporels totaux et l'indice QUICKI ont indiqué que la lipogenèse est probablement plus associée à une faible sensibilité à l'insuline ( $r = -0,58$ ;  $P < 0,05$ ) qu'aux lipides corporels totaux ( $r = 0,39$ ;  $P > 0,05$ ).

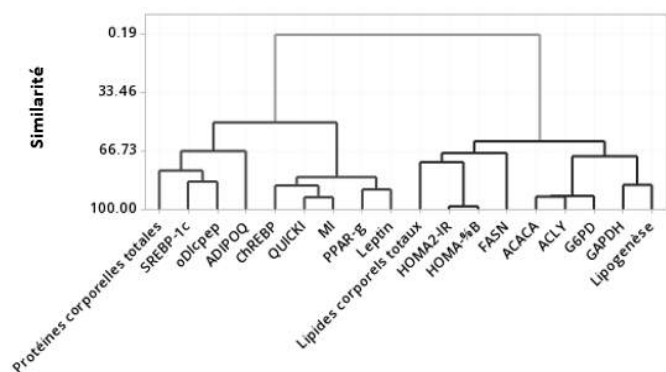


**Figure 2** – Estimations du taux d'incorporation du glucose dans les lipides ( $R_{\text{glucose-lipides}}$ ) des porcs gras et maigres 4 h après une injection de  $[U-^{13}\text{C}]$ glucose

### 2.2.3. Intégration du métabolisme du glucose, de l'expression des gènes et de la lipogenèse *de novo*

Le métabolisme du glucose, la lipogenèse et l'expression génique ont été étudiés en utilisant les mêmes animaux dans cette étude (Figure 3). Les résultats de l'analyse multivariée ont révélé deux groupes principaux avec une similarité de 56 %. Le premier groupe contenait les indices positivement associés à la sensibilité à l'insuline (QUICKI, MI et  $\text{oDI}_{\text{cpep}}$ ), à l'expression des gènes associés à une sensibilité accrue à l'insuline (*LEP*, *PPAR-γ* et *ADIPOQ*) et aux protéines corporelles totales. Le deuxième groupe contenait les indices positivement associés à la résistance à l'insuline ( $\text{HOMA2-IR}$  et  $\text{HOMA-\%B}$ ), aux gènes associés à la résistance à l'insuline et à la lipogenèse *de novo* (*G6PD*, *GAPDH*, *FASN*, *ACACA* et *ACLY*), à la lipogenèse *de novo* et aux lipides corporels totaux. L' $\text{HOMA2-IR}$ , l' $\text{HOMA-\%B}$  et l'expression du gène *FASN* étaient étroitement liées aux lipides corporels totaux, tandis que les protéines corporelles totales étaient étroitement liées à l' $\text{oDI}_{\text{cpep}}$  et à l'expression du gène *SREBP-1c*.





**Figure 3** – Dendrogramme obtenu par l'analyse multivariée des indices de sensibilité à l'insuline, de l'expression des gènes et de la composition corporelle chez les porcs en finition

L'analyse multivariée indique que les mécanismes intervenant dans la sensibilité à l'insuline ont des conséquences importantes sur l'utilisation de l'énergie alimentaire et la composition corporelle chez le porc.

## CONCLUSION

La sensibilité à l'insuline, qui est corrélée avec la composition corporelle des porcs, explique environ 45 % de la variation des protéines et des lipides corporels totaux. Les porcs gras ont une faible sensibilité à l'insuline comparativement aux porcs maigres. La faible sensibilité à l'insuline des porcs gras est potentiellement associée à une expression plus élevée des gènes *G6PD* et de *GAPDH* et celle plus faible du *PPAR-γ*. Comparativement aux porcs maigres, l'expression génique des enzymes lipogéniques clés, comme *ACACA* et *ACLY*, était plus élevée chez les porcs gras, ce qui pourrait être le résultat d'une sécrétion d'insuline accrue comme mécanisme compensatoire des pertes de sensibilité à l'insuline. La corrélation négative entre la sensibilité à l'insuline et la lipogenèse *de novo* montre que la sensibilité à l'insuline est un facteur déterminant de l'utilisation de l'énergie alimentaire et des éléments nutritifs. Enfin, cette étude fait ressortir le potentiel de la sensibilité à l'insuline pour manipuler la composition corporelle des porcs de finition.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Benoit S.C., Clegg D.J., Seeley R.J., Woods S.C., 2004. Insulin and leptin as adiposity signals. *Recent Prog. Horm. Res.*, 59, 267-286.
- Bergen W.G., Mersmann H.J., 2005. Comparative aspects of lipid metabolism: Impact on contemporary research and use of animal models. *J. Nutr.*, 135, 2499-2502.
- Bergman R.N., Phillips L.S., Cobelli C., 1981. Physiologic evaluation of factors controlling glucose tolerance in man: measurement of insulin sensitivity and beta-cell glucose sensitivity from the response to intravenous glucose. *J. Clin. Invest.*, 68, 1456-1467.
- Boden G., 2002. Interaction between free fatty acids and glucose metabolism. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, 5, 545-549.
- Castellano C.-A., Audet I., Laforest J.-P., Chouinard Y., Matte J.J., 2010. Fish oil diets do not improve insulin sensitivity and secretion in healthy adult male pigs. *Brit. J. Nutr.*, 103, 189-196.
- Dunshie F., D'Souza D., 2003. Review: fat deposition and metabolism in the pig. *Manipulating pig production IX*. (Ed. JE Paterson) pp, 127-150.
- Dunshie F., Harris D., Bauman D., Boyd R., Bell A., 1992. Effect of porcine somatotropin on in vivo glucose kinetics and lipogenesis in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 70, 141-151.
- Farmer C., Palin M.F., 2021. Hyperprolactinemia using domperidone in prepubertal gilts: Effects on hormonal status, mammary development and mammary and pituitary gene expression. *Domest. Anim. Endocrin.*, 76, 106630.
- Galderisi A., Polidori D., Weiss R., Giannini C., Pierpont B., Tricò D., Caprio S., 2019. Lower insulin clearance parallels a reduced insulin sensitivity in obese youths and is associated with a decline in  $\beta$ -cell function over time. *Diabetes*, 68, 2074-2084.
- Ho-Palma A.C., Toro P., Rotondo F., del Mar Romero M., Alemany M., Remesar X., Fernández-López J.A., 2019. Insulin controls triacylglycerol synthesis through control of glycerol metabolism and despite increased lipogenesis. *Nutrients*, 11, 513.
- Kahn S.E., Prigeon R.L., Schwartz R.S., Fujimoto W.Y., Knopp R.H., Brunzell J.D., Porte Jr D., 2001. Obesity, body fat distribution, insulin sensitivity and islet  $\beta$ -cell function as explanations for metabolic diversity. *J. Nutr.*, 131, 354S-360S.
- Katz A., Nambi S.S., Mather K., Baron A.D., Follmann D.A., Sullivan G., Quon M.J., 2000. Quantitative insulin sensitivity check index: a simple, accurate method for assessing insulin sensitivity in humans. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 85, 2402-2410.
- Kintscher U., Law R.E., 2005. PPAR $\gamma$ -mediated insulin sensitization: the importance of fat versus muscle. *Am. J. Physiol.-Endoc. M.*, 288, E287-E291.
- Krycer J.R., Sharpe L.J., Luu W., Brown A.J., 2010. The Akt-SREBP nexus: cell signaling meets lipid metabolism. *Trends Endocrin. Met.*, 21, 268-276.
- Labrecque, B., Beaudry, D., Mayhue, M., Hallé, C., Bordignon, V., Murphy, B. D., Palin, M. F., 2009. Molecular characterization and expression analysis of the porcine paraoxonase 3 (PON3) gene. *Gene*, 443(1-2), 110-120.
- Levy J.C., Matthews D.R., Hermans M.P., 1998. Correct homeostasis model assessment (HOMA) evaluation uses the computer program. *Diabetes care*, 21, 2191-2192.
- Matte, J. J. 1999. A rapid and non-surgical procedure for jugular catheterization of pigs. *Lab. Anim.* 33:258-264.
- Matsuda M., DeFronzo R.A., 1999. Insulin sensitivity indices obtained from oral glucose tolerance testing: comparison with the euglycemic insulin clamp. *Diabetes Care*, 22, 1462-1470.
- Park J., Rho H.K., Kim K.H., Choe S.S., Lee Y.S., Kim J.B., 2005. Overexpression of glucose-6-phosphate dehydrogenase is associated with lipid dysregulation and insulin resistance in obesity. *Mol. Cell. Biol.*, 25, 5146-5157.
- Pomar C., Rivest J., 1996. The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). In: *Proceedings of the 46th Annual Conference of the Canadian Society of Animal science*. Lethbridge, AB, Canada. p. 26.
- Rodríguez-López J.M., Lachica M., González-Valero L., Fernández-Figares I., 2021. Determining insulin sensitivity from glucose tolerance tests in Iberian and Landrace pigs. *PeerJ*, 9, e11014.
- Rosen E.D., Walkey C.J., Puigserver P., Spiegelman B.M., 2000. Transcriptional regulation of adipogenesis. *Gene. Dev.*, 14, 1293-1307.
- Salgado H.H., Remus A., Pomar C., Létourneau-Montminy M.-P., Lapiere H., 2021. In vivo estimation of lipogenesis using a bolus injection of [ $^{13}\text{C}$ ] glucose in pigs. *J. Anim. Sci.*, 99, 1-6.
- Saltiel A.R., Kahn C.R., 2001. Insulin signalling and the regulation of glucose and lipid metabolism. *Nature*, 414, 799-806.

# Mesurer par scanner la composition tissulaire, le gain de muscle et l'indice de consommation par kg de muscle

## Principes et exemple d'application

Gérard DAUMAS, Mathieu MONZIOLS, Nathalie QUINIOU

IFIP - Institut du porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

gerard.daumas@ifip.asso.fr

### Mesurer par scanner la composition tissulaire, le gain de muscle et l'indice de consommation par kg de muscle : principes et exemple d'application

Les critères de croissance et d'efficacité alimentaire sont fondés sur le suivi du gain de poids, sans tenir compte de sa composition tissulaire. Or, la valorisation de la carcasse repose essentiellement sur sa teneur en muscle. Les objectifs de cette étude sont de proposer des critères rapportés au kg de muscle déposé, puis de les tester sur les données d'un essai porcin. Au préalable, sont expliquées les limites de l'utilisation du critère de classement (TMP) dans les essais zootechniques. Puis, il est proposé de lui substituer la teneur en muscle de la carcasse (TMC) en utilisant un scanner. Mesurer la masse musculaire par tomographie ou par dissection permet de calculer le gain moyen quotidien de muscle (GMQm) et l'indice de consommation exprimé par kg de gain de muscle (ICm). Ces nouveaux critères sont comparés aux critères habituels de GMQ et IC à partir des résultats obtenus chez des porcs soumis à une restriction alimentaire (RA) en comparaison avec une alimentation témoin à volonté. Pour la conduite RA, la différence relative (en % du témoin) est non significative pour l'ICm, alors qu'elle est négative pour l'IC (-10,5% ;  $P < 0,01$ ). Ces résultats montrent la pertinence d'introduire des critères zootechniques rapportés au kg de muscle pour mieux évaluer l'incidence de la conduite alimentaire. Le surcoût lié à la tomographie peut être limité en ne scannant qu'un sous-échantillon. La mesure précise de la composition corporelle devrait faire partie intégrante des essais zootechniques en général et des études sur l'élevage de précision en particulier.

### Measuring tissue composition, muscle gain and the feed conversion ratio per kg of muscle by scanning: principles and example of application

The criteria for growth and feed efficiency are based on monitoring weight gain, regardless of its tissue composition. However, since carcass value is based essentially on its muscle content, the objectives of this study were to develop criteria related to the mass of muscle deposited, and then to test them on data from a pig trial. First, the limits of using the classification criterion "Lean Meat Percentage" in animal-production trials are explained. Then, replacing it with carcass muscle content based on scanner measurements is described. Measuring muscle mass by computed tomography or dissection allows average daily muscle gain (ADGm) to be calculated and the feed conversion ratio to be expressed per kg of muscle gain (ICm). These new criteria were compared to the usual ADG and IC criteria based on results obtained from pigs subjected to feed restriction (RA) compared to those with an *ad libitum* control diet. For the RA strategy, the relative difference (as a percentage of the control) was not significant for ICm, while it was negative for IC (-10.5%;  $P < 0.01$ ). These results show the relevance of introducing animal-production criteria as a function of muscle mass to better assess effects of the feeding strategy. The additional cost of tomography can be limited by scanning only a subsample. Accurate measurement of body composition should be an integral part of animal-production trials in general and precision-breeding studies in particular.

## INTRODUCTION

La finalité de l'élevage de porc est de produire de la viande, c'est-à-dire essentiellement du muscle, avec une quantité de gras limitée, du moins dans les élevages conventionnels français. La composition finale de l'animal résulte du développement des différents compartiments tissulaires corporels. Les performances de croissance et la composition du gain de poids sont influencées à la fois par les caractéristiques intrinsèques des porcs (génotype, sexe...) et par les caractéristiques extrinsèques, telles que les conditions d'élevage.

La composition tissulaire de la carcasse, qui est au cœur de la problématique, a traditionnellement été mesurée par dissection (Desmoulin *et al.*, 1988 ; Noblet *et al.*, 1994), notamment dans les essais zootechniques qui cherchaient à mettre en relation les quantités de nutriments apportées au porc en croissance et les quantités de tissus déposées. Méthode longue, destructive et coûteuse, la dissection a été progressivement supplantée par des méthodes indirectes (Lebret, 2004).

À l'extrême, seules les données de classement obligatoire des carcasses sont récupérées en abattoir. Ces données se composent d'épaisseurs de gras et de muscle et du taux de muscle des pièces (TMP), qui est une combinaison linéaire de ces épaisseurs. Or, le TMP pâtit d'inconvénients majeurs pour analyser finement des performances de composition corporelle. Conçu pour un paiement équitable des producteurs sur la base de lots importants, il souffre d'une erreur individuelle élevée (Blum *et al.*, 2014). Alors que les porcs sont phénotypés précisément pendant la croissance (pesée des animaux, des quantités d'aliment distribuées et refusées...), l'erreur du TMP est trop élevée au regard de la précision attendue à cette étape des travaux expérimentaux. De plus, le cheptel et les conditions d'élevage utilisés dans les essais zootechniques ne correspondent pas nécessairement aux caractéristiques de l'échantillon de calibrage de la méthode de classement. L'emploi de l'équation de prédiction du TMP est alors abusif. Des biais importants selon le type sexuel et le génotype affectent en effet cette relation (Daumas *et al.*, 2017).

Les techniques d'imagerie se sont développées au fil des dernières décennies (Scholz *et al.*, 2015). Notamment, la tomodynamométrie (ou tomographie à rayons X) s'est avérée être une méthode non destructive très adaptée pour la mesure des volumes et des densités des tissus, et donc de la composition corporelle, sur carcasses mais aussi sur animaux vivants. Outre la composition tissulaire, le scanner ouvre la possibilité d'utiliser des critères de croissance et d'efficacité alimentaire rapportés au kg de muscle déposé, plus en adéquation avec les orientations de la filière porcine.

En France, la filière porcine dispose d'un scanner mobile depuis 2008 (Daumas et Monziols, 2008). S'il est systématiquement utilisé pour les travaux d'actualisation des méthodes de classement des carcasses et d'étude de la composition des pièces de découpe, il n'est en revanche pas utilisé en routine dans les essais zootechniques.

Les objectifs de cette étude sont : (i) expliquer les limites des critères utilisés habituellement dans les essais zootechniques, (ii) montrer comment ces limites peuvent être franchies, notamment par l'usage de la tomographie, (iii) proposer de nouveaux critères intégrant la composition tissulaire du gain de poids, (iv) illustrer l'utilisation de ces nouveaux critères par un exemple, et enfin (v) donner quelques perspectives.

## 1. LES LIMITES DES CRITERES USUELS DE PERFORMANCES DANS LES ESSAIS ZOOTECHNIQUES

### 1.1. Description des critères usuels

Généralement, les essais zootechniques étudient l'effet d'un ou plusieurs traitements sur les performances de croissance, d'efficacité alimentaire et de composition de carcasse. Ils s'appuient sur des dispositifs, avec un ou plusieurs facteurs, chacun ayant plusieurs modalités. Ces essais incluent les mesures permettant de calculer les performances classiques de croissance et d'efficacité alimentaire.

Les critères de croissance et d'efficacité alimentaire sont fondés sur le suivi du gain de poids, total ou quotidien (GMQ), et de la consommation d'aliment pour le calcul de l'indice de consommation (IC). Le GMQ sur une période donnée est calculé en divisant le gain de poids vif sur la période par la durée de présence. L'IC indique le nombre de kg d'aliment qu'il faut pour produire 1 kg de poids vif. Quand l'alimentation est contrôlée individuellement, l'IC peut être calculé par porc. Quand l'alimentation est contrôlée au niveau de la case, l'IC est égal au ratio entre la quantité d'aliment consommée par les porcs de la case et le cumul de leur gain de poids, y compris celui de ceux qui meurent avant la fin.

L'analyse des performances de composition corporelle s'appuie très souvent sur le critère de classement des carcasses. Ce critère est le taux de muscle des pièces (TMP), appliqué en France depuis la mi-2006. Il est prédit à partir d'une des méthodes de classement autorisées. Actuellement, la majorité des porcs abattus en France sont classés avec la méthode Image-Meater (Blum *et al.*, 2014). L'équation de prédiction est une combinaison linéaire d'épaisseurs de gras et de muscle, critères analysés lors des essais.

### 1.2. Limites des critères usuels

La finalité de l'élevage étant actuellement surtout de produire du muscle, il convient de s'interroger sur la pertinence des critères usuels, qui s'appuient sur le gain de poids vif, quelle que soit sa composition tissulaire.

Contrairement au GMQ et à l'IC, qui sont calculés à partir de mesures relativement précises, le TMP n'est pas mesuré en élevage ou en essai. Il est transmis par l'organisation régionale de pesée-classement ou par l'abattoir. L'utilisation de ce critère dans les essais zootechniques pose plusieurs problèmes.

La classification des carcasses est régie par la réglementation européenne. Son objectif est d'assurer un paiement équitable aux éleveurs. Pour cela, un critère représentatif de la valeur commerciale de la carcasse a été choisi dans les années 80 : la teneur en muscle. Même si sa définition précise a changé plusieurs fois au cours des 40 dernières années, les principes généraux, eux, sont restés immuables. La teneur en muscle doit être prédite sur la chaîne d'abattage à partir d'une méthode autorisée. L'autorisation d'une méthode est subordonnée au respect d'un plafond de l'erreur de prédiction. Celui-ci est élevé : 2,5 points de teneur en muscle. Mais, comme les producteurs vendent généralement des lots de taille conséquente, 50-100 porcs, l'erreur sur la moyenne du lot est considérée comme tout à fait acceptable par l'UE. Bien que le paiement soit au porc, une compensation s'opère, plus ou moins importante selon la forme de la grille.

En considérant le TMP issu du classement des carcasses, les zootechniciens se heurtent à une erreur individuelle

importante. Qui plus est, cette erreur est inconnue. En effet, ce qui est connu, c'est l'erreur de prédiction estimée lors de l'autorisation de la méthode de classement. Pour la méthode Image-Meater, cette erreur était de 2,44 (Blum *et al.*, 2014). L'erreur devant être estimée sur un échantillon représentatif de la population porcine nationale, l'échantillon était composé pour moitié de mâles castrés et pour moitié de femelles. Le gène de sensibilité à l'halothane avait été contrôlé et les proportions étaient proches de 50/50 pour les allèles NN et Nn. Or, le sexe, le génotype et l'alimentation sont des facteurs connus de variabilité de la composition corporelle. Il est fort probable que ces facteurs affectent la relation entre la teneur en muscle de la carcasse et les variables de l'appareil de classement. Cela a d'ailleurs été montré par plusieurs auteurs (Engel *et al.*, 2012 ; Daumas *et al.*, 2017). En conséquence, l'équation autorisée de prédiction du TMP ne devrait pas être utilisée dans les essais dont la composition du cheptel ne correspond pas à celle de l'essai d'autorisation de la méthode. Tout au moins, une équation par sexe serait nécessaire. Cela ne remet en revanche pas en question la pertinence des mesures prises par l'Image-Meater comme critères pouvant être analysés. Mais, la composition corporelle se limite alors à une ou quelques épaisseurs de gras et de muscle, mesurées sur la fente de la carcasse à la jonction entre longe et jambon. Alors que plusieurs méthodes de classement co-existent en France et évoluent au cours du temps, les mesures prises par différents appareils ne sont pas directement comparables.

Une autre limite tient à la définition du critère de classement. Le TMP correspond au pourcentage de muscle de l'ensemble des quatre pièces principales (jambon, rein avec filet mignon, épaule, poitrine), assorti d'un coefficient multiplicatif, afin de rapprocher sa moyenne de celle du pourcentage de muscle de la carcasse. Ces quatre pièces, dans la découpe européenne normalisée, comprennent environ 70% de la teneur en muscle de la carcasse. Parallèlement, le gras périrénal (panne) n'est pas pris en compte dans la définition de la carcasse. Dès lors, on peut se demander si le TMP est bien adapté à des essais s'intéressant à la composition tissulaire et chimique de l'ensemble de l'animal.

Le critère de classement peut également changer. Ainsi, le taux de muscle de la carcasse (TMC) a remplacé le TMP en 2017 dans la réglementation européenne. En vigueur déjà dans quelques Etats membres, il devrait être introduit en France lors de la prochaine actualisation des méthodes de classement (Daumas et Monziols, 2018a). Le TMC est le ratio entre le poids de muscle de la carcasse, sans tête et pieds (ni panne), et le poids de la carcasse, avec tête et pieds (sans panne). Si le TMC se rapproche des besoins des zootechniciens, ce n'est sans doute pas le critère idéal, en particulier du fait de la non prise en compte de la panne qui peut représenter une part importante du gras retenu.

## 2. COMMENT MESURER LA COMPOSITION CORPORELLE ?

Les méthodes d'évaluation de la composition corporelle ont été décrites par Kempster *et al.* (1982) pour les espèces porcine, bovine et ovine et par Pomar *et al.* (2009) pour les carcasses de porc. La dissection a été érigée en méthode de référence et l'est toujours à ce jour.

### 2.1. Avantages et inconvénients de la dissection

La dissection reste encore aujourd'hui la référence. Elle permet de séparer les constituants suivants : couenne, os, gras,

muscles, aponévroses, tendons, glandes. Le gras peut être subdivisé en gras sous-cutané, gras intermusculaire et gras périrénal. La dissection est pratiquée sur une seule demi-carcasse, faisant l'hypothèse de l'équivalence entre les deux côtés. Or, plusieurs auteurs ont mis en évidence des différences non négligeables entre les deux demi-carcasses (Hviid *et al.*, 2011 ; Gispert *et al.*, 2020). Dans la classification des carcasses, l'usage est de disséquer la demi-carcasse gauche.

La dissection manuelle totale d'une demi-carcasse nécessite plus d'une journée pour un opérateur entraîné. C'est une opération longue, fastidieuse et coûteuse. Sa reproductibilité, notamment entre équipes internationales, est modérée (Nissen *et al.*, 2006). Afin d'améliorer la reproductibilité, notamment dans le temps en France, l'IFIP, en collaboration avec FranceAgriMer et Oniris, a développé une procédure, illustrée par des photos et des CD-ROM interactifs (Nictou *et al.*, 2005 ; Venet, 2007).

Dans le cadre d'essais de croissance, la technique des abattages comparés nécessite des porcs supplémentaires, abattus en début d'essai, supposés être représentatifs à ce stade de ceux qui sont abattus plus tard. Cela contribue à augmenter le coût de ce type d'essais.

### 2.2. Potentialités et limites de la tomодensitométrie

Depuis les années 1980, les techniques d'imagerie se sont fortement développées. Plusieurs auteurs ont passé en revue ces techniques (Szabo *et al.*, 1999 ; Scholz *et al.*, 2015). A l'issue du projet européen EUPIGCLASS sur la standardisation des méthodes de classement, la tomодensitométrie s'est avérée comme la plus prometteuse. Plusieurs organismes dans différents Etats membres se sont alors équipés (Daumas *et al.*, 2015). En France, l'IFIP, avec l'aide de FranceAgriMer et d'Inaporc, s'est doté d'un tomographe mobile, installé dans une semi-remorque conçue sur mesure (Daumas et Monziols, 2008).

La tomодensitométrie permet de différencier les tissus selon leur densité. La plupart des méthodes d'analyse développées pour quantifier les tissus séparent trois constituants : gras (densité < 1), muscle (1,0 < densité < 1,1) et os (densité > 1,1). Dans la classification porcine, fondée sur la teneur en muscle, l'objectif a surtout été de séparer le muscle du non-muscle. Malgré cela, il n'a pas été possible jusqu'à présent de trouver un accord sur une procédure européenne de détermination de la teneur en muscle par scanner. Chaque Etat membre utilisant un scanner applique sa propre procédure. Aussi, la réglementation européenne impose un calibrage sur la teneur en muscle mesurée par dissection. A ce jour, seule la méthode développée par l'IFIP a prouvé sa robustesse vis-à-vis de la nature du cheptel (Daumas *et al.*, 2019). En conséquence, elle peut être utilisée en France et à l'étranger sans nécessiter de nouvelles dissections. Un coefficient multiplicatif de 0,987 ou de 0,965, respectivement pour le TMP (Daumas et Monziols, 2018a) et pour le TMC (Daumas et Monziols, 2018b), est appliqué à la teneur en muscle calculée par scanner pour la convertir à un niveau similaire à celui issu de la dissection. La relation entre scanner et dissection étant précise, indépendante de la nature du cheptel et de l'épaisseur de gras, il est donc fort probable qu'elle ne soit pas affectée par le traitement étudié. En conséquence, cet ajustement peut être utilisé indépendamment du type d'essais.

La tomодensitométrie mesure des volumes. Pour convertir le volume de muscle en poids, l'IFIP applique une densité

constante ; de même pour le gras. Le poids d'os est, par contre, calculé par différence avec le poids de la demi-carcasse scannée, à cause de la grande variabilité de la densité des os.

La couenne, qui constitue environ 5% du poids de carcasse, est difficile à isoler, car sa densité (proche de 1,1) est voisine de celle du muscle (Daumas et Monziols, 2021). Aussi, une partie de la couenne est actuellement assimilée à du muscle. Cela conduit à surestimer le volume et le poids de muscle, et explique que le coefficient multiplicatif de correction entre TMP ou TMC obtenus par scanner et la dissection soit un peu inférieur à 1.

L'analyse des images tomographiques des carcasses (et autres pièces de viande) est semi-automatique (Monziols *et al.*, 2013). En revanche, pour les scans réalisés sur animal vivant, l'analyse des images requiert au préalable un détournement manuel des organes des cavités thoracique et abdominale (Monziols *et al.*, 2014). Cette analyse d'image, de même que les procédures d'anesthésie des animaux à scanner, nécessite du temps et des compétences spécifiques, et impose de respecter un délai de 28 jours entre l'injection de l'anesthésiant et l'abattage.

Le rythme standard de scan de demi-carcasses par l'IFIP est d'environ 30 par jour. Potentiellement, cela représente de 90 à 120 demi-carcasses par semaine en fonction des contraintes d'approvisionnement et de retour dans le circuit de commercialisation des demi-carcasses. Pour les porcs vivants, le rythme standard est assez similaire, de l'ordre de 30 par jour. La capacité hebdomadaire est donc d'environ 150. Une personne supplémentaire est nécessaire pour gérer les anesthésies.

La vitesse de scan est donc plus élevée que celle de la dissection et le personnel requis est aussi moindre. Au final, l'acquisition de données décrivant précisément la composition tissulaire corporelle est nettement plus rapide qu'avec la dissection. De plus, la technique est non destructive, permettant ainsi la commercialisation des carcasses scannées. Malgré des charges conséquentes d'amortissement et de fonctionnement, la mesure par scanner s'avère être plutôt moins coûteuse que la dissection.

Un avantage majeur de la tomodensitométrie est l'acquisition de données sur l'intégralité de l'animal avec une grande résolution. De plus, ces données peuvent être retravaillées ultérieurement. Ainsi, par exemple, les images d'un essai réalisé plusieurs années auparavant peuvent être analysées à nouveau en mettant en œuvre des techniques d'analyse améliorées ou retravaillées pour répondre à un objectif différent, sans avoir à réaliser de nouvelles acquisitions.

### 3. PROPOSITION DE NOUVEAUX CRITERES INTEGRANT LA COMPOSITION CORPORELLE

Pour pallier les inconvénients de l'usage du critère de classement des carcasses, il semble incontournable de se référer à la teneur en muscle déterminée par dissection ou par tomodensitométrie, pour caractériser précisément la composition corporelle. La valorisation de la carcasse reposant essentiellement sur sa teneur en muscle, il semble logique d'utiliser des critères de croissance et d'efficacité alimentaire rapportés au kg de muscle déposé. Mesurer le volume musculaire permet ainsi de calculer le gain moyen quotidien de muscle (GMQm) et l'indice de consommation exprimé par kg de gain de muscle (ICm).

#### 3.1. Critères de composition corporelle

Certains essais zootechniques ont plutôt vocation à s'intéresser à la composition du poids vif, alors que d'autres s'intéressent davantage à la composition de la carcasse. Dans les deux cas, la tomodensitométrie est une technologie d'acquisition de donnée appropriée. Le critère TMC, tel que défini par la réglementation européenne pour la classification des carcasses de porcs, a été adapté à son obtention par tomographie. Ainsi, tête et pieds, qui contiennent peu de muscles, ne sont pas à scanner.

Des alternatives sont envisageables pour se rapprocher de la teneur en muscle de la carcasse complète. Un correctif pourrait être appliqué pour tenir compte du poids de muscle dans la tête, un autre pour tenir compte de la dissymétrie des deux demi-carcasses. De manière analogue, peuvent être calculées des teneurs en gras et en os. Pour la teneur en gras, se pose la question de la panne, qui est retirée de la carcasse avant pesée. Il est envisageable de la peser individuellement, mais cela nécessite du personnel supplémentaire en abattoir.

#### 3.2. Critères de composition du gain de poids

Par analogie avec le GMQ, le gain moyen quotidien de poids d'un tissu (GMQtissu) peut être obtenu en calculant la différence entre la masse finale et la masse initiale de tissu, divisée par la durée de la période. Cet article se focalise sur le gain quotidien de muscle, dont l'acronyme sera par la suite GMQm. Si le calcul du GMQ s'appuie sur la pesée des animaux à différents stades de croissance, le GMQm suppose quelques hypothèses de calcul.

La viande étant commercialisée froide, il semble plus approprié de considérer le poids de muscle de la carcasse froide, résultat direct du scan de la demi-carcasse. Pour le poids initial de muscle, il faut distinguer deux cas, selon qu'un scan *in vivo* a été réalisé ou pas dans l'essai. Quand un scan est réalisé en début de période de croissance, chaque porc peut être son propre témoin. A partir des images tomographiques *in vivo*, le cinquième quartier doit être segmenté comme dit plus haut et le volume de muscle vivant doit être converti en tissu froid en ayant recours à des hypothèses sur le taux de ressuage. En l'absence de scan au début de la période, il convient de faire une hypothèse de teneur en muscle, celle-ci étant nettement moins variable qu'au poids d'abattage (Monziols *et al.*, 2014).

Si l'on se place dans une logique de composition du gain de poids, alors le choix d'une durée identique à celle du GMQ devrait être privilégiée. Pour le calcul du GMQ, la période prend fin la veille de l'abattage, lors de la dernière pesée à vif. Mais si l'on se place dans une logique de gain de poids de muscle (froid), alors il pourrait être préférable de retenir le jour du scan pour la fin de période. Le scan intervient généralement le lendemain de l'abattage, après une nuit de réfrigération, soit deux jours après la fin de période pour le GMQ.

#### 3.3. Critères d'efficacité alimentaire

Par analogie avec l'IC, l'IC d'un tissu peut être défini comme suit, si tout l'aliment consommé est ramené au dépôt de ce tissu, contrairement au modèle utilisé par Noblet *et al.* (1994) :

$IC_{tissu} = \text{Quantité d'aliment consommé} / \text{Gain de poids du tissu}$

Cet article se focalise sur l'indice de consommation par kg de muscle, dont l'acronyme sera par la suite ICm.

## 4. EXEMPLE D'APPLICATION

Afin de mettre en exergue le changement de paradigme sur les critères, un exemple simple a été utilisé. Il compare deux conduites alimentaires conçues pour des impacts contrastés sur les dépôts tissulaires. Cet exemple permet de montrer comment calculer en pratique les nouveaux critères, de donner un ordre de grandeur des valeurs et illustrer de possibles divergences de résultats avec les critères usuels.

### 4.1. Matériel et méthodes

#### 4.1.1. Matériel et mesures

Les données de l'essai publié par Quiniou *et al.* (2021) sont utilisées, en retenant celles obtenues pour deux des trois stratégies alimentaires étudiées : soit en situation de restriction alimentaire (RA) soit en alimentation témoin à volonté (T). Chaque stratégie alimentaire a été appliquée à 48 femelles et 48 mâles castrés, élevés par case de six, dans deux bandes. Seules les carcasses sont scannées par tomographie, le poids de muscle en entrée étant estimé. Les performances techniques par case sont calculées par un modèle linéaire général et comparées au témoin.

A l'abattoir, les carcasses ont été pesées et classées selon la méthode Image-Meater de prédiction du TMP (Blum *et al.*, 2014). Après une nuit de réfrigération, les demi-carcasses gauches ont été pesées, puis scannées par tomographie à rayons X avec un Emotion Duo (Siemens, Erlangen, Allemagne) (Daumas et Monziols, 2011).

#### 4.1.2. Calculs et analyses statistiques

Le TMC a été calculé en multipliant le pourcentage de muscle de la carcasse mesuré par scanner par 0,965.

Le calcul de la consommation moyenne journalière (CMJ), du GMQ et de l'IC est décrit par Quiniou *et al.* (2021). Le GMQm a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{GMQm} = (\text{Poids de muscle final} - \text{Poids de muscle initial}) / \text{Durée}$$

Le poids de muscle de la carcasse a été calculé en multipliant le volume de muscle de la demi-carcasse mesuré par scanner par la densité du muscle (1,04), puis par 2 pour passer à l'échelle de la carcasse entière et par 0,965 pour ramener le résultat au niveau de la dissection. Le poids de muscle froid initial (vers 26 kg de PV) a été calculé en multipliant le PV initial par 0,80 (rendement de carcasse à froid) puis par 0,56 (teneur en muscle).

L'ICm a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{ICm} = \text{Aliment consommé} / \text{Gain de muscle}$$

Les données ont été analysées selon un modèle linéaire général (proc GLM, SAS, v9.4, Inst. Inc. Cary), comprenant en effets fixes la conduite alimentaire (A), le sexe (S), la bande (B), leurs interactions et le bloc intra bande. La probabilité critique des tests a été choisie à 5%. L'unité statistique était la case pour les performances de croissance et la carcasse pour la composition.

### 4.2. Résultats

L'IC est le seul critère pour lequel l'interaction entre alimentation, sexe et bande est significative. L'interaction entre alimentation et sexe touche le GMQ, le GMQm et est proche du seuil de significativité pour l'ICm ( $P = 0,06$ ). Les effets de la conduite alimentaire sur les performances de croissance, d'une part, et sur les caractéristiques de carcasse, d'autre part, sont présentés dans le tableau 1. Le rationnement de 17% en

dessous de l'à volonté entraîne une diminution de 189 g/j de la vitesse de croissance, mais une diminution du dépôt quotidien de muscle de seulement 87 g/j ; ceci est en accord avec les objectifs du rationnement pour une diminution plus marquée du dépôt des autres tissus que le gras et un gain de poids plus maigre. Ainsi, quand la quantité d'aliment consommée est ramenée au muscle déposé, il en faudrait moins pour les porcs rationnés. Toutefois, bien que leur ICm soit inférieur à celui des témoins, la différence n'est pas significative.

Le rationnement provoque une hausse de 2,3 points de la teneur en muscle de la carcasse (TMC). La hausse n'est que de 1,8 point pour le TMP prédit par la méthode de classement Image-Meater.

Pour la conduite RA, la différence relative (en % du témoin) de GMQm (-16%) est moins importante que celle du GMQ (-21%). L'IC se dégrade de 11% alors que l'ICm ne baisse pas significativement.

**Tableau 1** – Performances<sup>1</sup> de croissance jusqu'à l'abattage et caractéristiques de carcasse selon la stratégie alimentaire

	Alimentation		Statistiques	
	T	RA	ETR	Proba
<b>Performances de croissance (par case ; n = 29)</b>				
PV initial, kg	26,1	25,9	0,4	0,15
PV final, kg	123,5	116,8	4,3	< 0,01
CMJ, kg/j	2,40	1,99	0,10	< 0,01
GMQ, g/j	946	757	44	< 0,01
GMQm, g/j	552	465	23	< 0,01
IC	2,60	2,70	0,06	< 0,01
ICm	4,45	4,39	0,21	0,49
<b>Performances de composition (par porc, n = 134)</b>				
Poids chaud, kg	99,6	94,0	8,9	< 0,01
G3, mm	14,2	10,4	3,1	< 0,01
M3, mm	78,7	76,6	6,8	0,11
TMP, %	60,8	62,6	1,7	< 0,01
TMC, %	59,4	61,7	2,2	< 0,01

<sup>1</sup>Moyennes ajustées du modèle avec les effets de l'alimentation, du sexe, de la bande, de leurs interactions et du bloc intra bande. ETR : écart-type résiduel, Proba : P-value de l'effet de l'alimentation. PV : poids vif, CMJ : consommation moyenne journalière, GMQ : gain moyen quotidien, IC : indice de consommation, GMQm : gain moyen quotidien de muscle, ICm : indice de consommation par poids de muscle, G3 : épaisseur de gras, M3 : épaisseur de muscle, TMP : taux de muscle des pièces prédit par l'Image-Meater, TMC : taux de muscle de la carcasse.

## 5. DISCUSSION ET CONCLUSION

La seule analyse des données de classement des carcasses se révèle très insuffisante pour évaluer précisément les performances de composition corporelle dans les essais zootechniques. La tomodensitométrie s'avère être la technologie la plus appropriée pour déterminer les teneurs tissulaires. L'utilisation d'un scanner à rayons X permet non seulement de caractériser précisément l'effet d'un traitement sur la composition corporelle à un stade donné, mais aussi de mesurer la composition du gain de poids réalisé sur une période et l'efficacité alimentaire pour le(s) tissu(s) d'intérêt. En particulier, le gain de muscle (GMQm) et l'indice de consommation ramené au kg de muscle déposé (ICm) sont accessibles.

Le GMQm, l'ICm, ainsi que le taux de muscle de la carcasse (TMC) éventuellement assorti de quelques corrections, sont déjà opérationnels, ainsi que présenté dans l'exemple développé dans la section précédente. Les données obtenues avec des conduites alimentaires contrastées au regard de leur

impact potentiel sur le dépôt de gras (conduite RA vs T) ont permis de mettre en évidence quelques divergences entre les résultats obtenus avec les critères classiques ou les nouveaux critères.

La méthode développée initialement pour analyser les images tomographiques (Daumas et Monziols, 2011) permet de mesurer les volumes de muscle, de gras et d'os, puis de calculer les masses corporelles de ces tissus. Plus récemment, cette méthode a été affinée pour mesurer également le poids de couenne (Daumas et Monziols, 2021). Les travaux se poursuivent pour améliorer la précision de mesure de ces quatre compartiments tissulaires.

Les mesures par tomographie ouvrent ainsi la perspective de pouvoir avoir accès plus facilement, et de façon moins onéreuse, à une panoplie de critères qui impliquaient auparavant des mesures très lourdes et destructives par dissection. Par ailleurs, contrairement à la dissection, la carcasse ne perd pas de valeur et peut rester dans le circuit de

commercialisation. Les budgets expérimentaux étant le plus souvent fortement contraints et compte tenu du coût de la tomographie, il est envisageable dans certains essais de ne scanner qu'un sous-échantillon. Cette option est présentée dans le compte rendu final du projet SCANALI, disponible fin 2021. Avec le développement des études sur l'élevage de précision, qui requiert de mesurer avec précision la composition corporelle, l'utilisation de la tomodensitométrie devrait s'amplifier, que les installations expérimentales soient dotées ou pas d'un tomographe.

## REMERCIEMENTS

Cette communication est issue des projets SCANALI et EFFISCAN, qui ont bénéficié d'une subvention du Ministère chargé de l'agriculture (fonds CASDAR, géré par FranceAgriMer pour SCANALI). La responsabilité du Ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blum Y., Monziols M., Causeur D., Daumas G., 2014. Recalibrage de la principale méthode de classement des porcs en France. Journées Rech. Porcine, 46, 39-43.
- Daumas G., Monziols M., 2008. Un scanner à rayons X au service de la filière. TechniPorc, 31 (4), 9-14.
- Daumas G., Monziols M., 2011. An accurate and simple computed tomography approach for measuring the lean meat percentage of pig cuts. Proc. of the 57<sup>th</sup> ICoMST, Gand, Belgique, article 061.
- Daumas G., Monziols M., 2018a. Impacts de la nouvelle réglementation sur le classement des carcasses de porc. Journées Rech. Porcine, 50, 75-80.
- Daumas G., Monziols M., 2018b. Towards a pan-European computed tomography procedure for determining the new EU lean meat content of pigs. Proc. of the 64<sup>th</sup> ICoMST, Melbourne, Australia, article 6550.
- Daumas G., Monziols M., 2021. Composition tissulaire des pièces primaires de découpe industrielle et simulation de l'impact d'une part croissante du mâle entier. Journées Rech. Porcine, 53, 43-48.
- Daumas G., Donko T., Maltin C., Bünge L., 2015. Imaging facilities (CT & MRI) in EU for measuring body composition. 50p.
- Daumas G., Monziols M., Causeur D., 2017. Conséquences de l'automatisation du classement des carcasses sur les écarts entre types sexuels et génotypes halothane. Journées Rech. Porcine, 49, 53-54.
- Daumas G., Monziols M., Ribikauskienė D., 2019. Validation of a pan-European computed tomography procedure for determining the new EU lean meat content of pigs. Proc. of the 65<sup>th</sup> ICoMST, Potsdam, Allemagne, pp. 529-530.
- Desmoulin B., Ecolan P., Bonneau M., 1988. Estimation de la composition tissulaire des carcasses de porcs : récapitulatifs de diverses méthodes utilisables en expérimentation. INRA Prod. Anim., 1, 59-64.
- Engel B., Lambooi E., Buist W.G., Vereijken P., 2012. Lean meat prediction with HGP, CGM and CSB-Image-Meater, with prediction accuracy evaluated for different proportions of gilts, boars and castrated boars in the pig population. Meat Sci., 90, 338-344.
- Gispert M., Brun A., Font-I-Furnols M., 2020. Effet de la partition des carcasses de porc dans l'estimation de la teneur en maigre avec la tomographie aux rayons X. 2020. Journées Rech. Porcine, 52, 57-58.
- Hviid M., Erbou S.G.H., Olsen E.V., 2011. The content of meat –Is there a difference between left and right sides of pig carcasses? Proc. of the 57<sup>th</sup> ICoMST, Gand, Belgique, P045.
- Kempster A.J., Cuthbertson A., Harrington G., 1982. Carcase evaluation in livestock breeding, production and marketing. Granada Publishing Ltd, Herts, Great Britain, 306 p.
- Lebreton B., 2004. Conséquences de la rationalisation de la production porcine sur les qualités des viandes. INRA Prod. Anim., 17, 79-91.
- Monziols M., Faix J., Zahlan E., Daumas G., 2013. Software for Automatic Treatment of Large Biomedical Images Databases. Proc. SCIA, Workshop on Farm Animal and Food Quality Imaging, Espoo, Finland, pp. 17-22.
- Monziols M., Hémonic A., Vautier B., Brossard L., van Milgen J., Quiniou N. 2014. Utilisation de la tomographie RX pour étudier l'évolution de la composition corporelle au cours de la croissance chez des porcs alimentés à volonté ou rationnés. Journées Rech. Porcine, 46, 45-50.
- Nictou A., Guintard C., Betti E., Daumas G., 2005. Guide pratique de la dissection européenne de la carcasse de porc. CD-ROM. Ed. ITP, Paris.
- Nissen P.M., Busk H., Oksanen M., Seynaeve M., Gispert M., Walstra P., Hansson I., Olsen E., 2006. The estimated accuracy of the EU reference dissection method for pig carcass classification. Meat Sci., 73, 22-28.
- Noblet J., Karège C., Dubois S., 1994. Prise en compte de la variabilité de la composition corporelle pour la prévision du besoin énergétique et de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance. Journées Rech. Porcine, 26, 267-276.
- Pomar C., Marcoux M., Gispert M., Font i Furnols M., Daumas G., 2009. Determining the lean content of pork carcasses. In: J. D. Kerry, D. P. Ledward and D. Ledward (Eds.), Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat, 493-518. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- Quiniou N., Renaudeau D., Daumas G., 2021. Influence du rationnement et de la couverture des besoins en acides aminés sur les performances du porc en croissance selon les conditions climatiques. Journées Rech. Porcine, 53, 169-174.
- Scholz A., Bünge L., Kongsro J., Baulain U., Mitchell A., 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: Dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: Invited review. Animal, 9, 1250-1264.
- Szabo C., Babinsky L., Versteegen M.W.A., Vangen O., Jansman A.J.M., Kanis E., 1999. The application of digital imaging techniques in the in vivo estimation of the body composition of pigs: A review. Livest. Prod. Sci., 60, 1-11.
- Venet J., 2007. Contribution à la réalisation d'un cédérom sur la dissection européenne de référence du porc charcutier en vue du classement : échine, jarrets avant et arrière, gorge, partie arrière de la poitrine et côtes. Thèse de Doctorat vétérinaire, Nantes, France, 37 p.



# Quelles stratégies alimentaires pour couvrir les besoins nutritionnels des porcs mâles entiers et/ou immunocastrés et pour réduire les risques d'odeurs de verrat dans la viande ?

Giuseppe BEE (1) et Nathalie QUINIOU (2)

(1) Agroscope, Systèmes de production Animaux et santé animale, La Tioleyre 4, 1725 Posieux, Suisse

(2) IFIP - Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35650 Le Rheu, France

[giuseppe.bee@agroscope.admin.ch](mailto:giuseppe.bee@agroscope.admin.ch)

## Quelles stratégies alimentaires pour couvrir les besoins nutritionnels des porcs mâles entiers et/ou immuno-castrés et pour réduire les risques d'odeur de verrat dans la viande ?

Cet article fait le point sur les connaissances relatives aux besoins nutritionnels des porcs mâles non castrés chirurgicalement, dans la perspective de favoriser leur potentiel pour une meilleure efficacité alimentaire, tout en veillant à maintenir un faible risque d'odeurs de verrat et à préserver les qualités de la carcasse et de la viande. Les raisons pour lesquelles une alimentation à volonté des mâles entiers, avec des aliments plus concentrés en acides aminés, doit être privilégiée, sont présentées, notamment pour optimiser leur potentiel de développement de la masse protéique. Elles s'appliquent également aux porcs mâles immuno-castrés, qui peuvent être nourris comme les mâles entiers jusqu'à la deuxième vaccination. Au-delà, leurs besoins en acides aminés essentiels sont nettement inférieurs à ceux des mâles entiers. Le risque d'odeur de verrat de la viande étant un problème crucial à maîtriser dans la production de mâles entiers, les impacts de l'incorporation de divers ingrédients alimentaires susceptibles de réduire les teneurs en scatol et indole sont discutés, tant pour ce qui concerne leur efficacité que les mécanismes mis en œuvre. Avec une très faible adiposité de carcasse, les mâles entiers présentent, d'une part, une teneur en lipides intramusculaires inférieure à celle des femelles et des mâles castrés chirurgicalement, qui pénalise la qualité organoleptique de la viande et, d'autre part, un tissu adipeux dont les acides gras peuvent être fortement insaturés, ce qui modifie l'aptitude technologique au séchage des produits.

## What kind of feeding strategies should be used to meet nutritional requirements of entire male pigs and or immuno-castrated pigs and to reduce the risk of boar taint in meat?

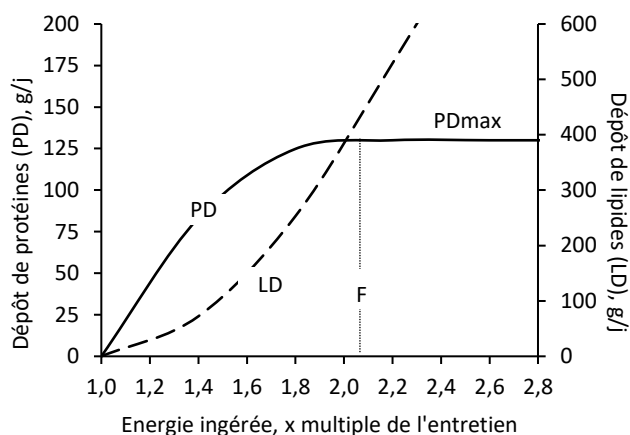
This paper reviews the available knowledge on nutritional requirements of non-surgically castrated male pigs to promote their potential for higher feed efficiency while ensuring low risk of boar taint and good carcass and meat qualities. Reasons for giving entire males *ad libitum* access to diets enriched with amino acids to satisfy their high potential for protein deposition are presented. This also applies to immuno-castrated male pigs, which can be fed as entire males until the second vaccination, when their requirements for essential amino acids decrease significantly. As boar taint is a crucial issue when producing entire male pigs, effects of incorporating various feed ingredients to reduce skatole and indole levels are discussed in terms of their efficacy and mode of action. With a low carcass adiposity, entire males have a lower intramuscular lipid content than females and barrows, which decreases the organoleptic quality of the meat, and adipose tissues whose fatty acids may be highly unsaturated, which modifies the technological aptitude of dry cured products.

## INTRODUCTION

Les préoccupations croissantes au sujet du bien-être animal conduisent à remettre en question la castration chirurgicale précoce, sans gestion de la douleur, des porcs mâles dans les principaux pays européens producteurs de porcs (Bee *et al.*, 2015). Ainsi, la Suisse a interdit la castration chirurgicale à vif (i.e., sans prise en charge de la douleur) depuis 2009, le Danemark depuis 2019, et l'Allemagne depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2021. En France, la castration chirurgicale est interdite depuis le 31 décembre 2021 (arrêté ministériel du 24 février 2020). Les porcs mâles sont désormais des mâles entiers (ME), des mâles immunisés contre la gonadotrophine (également appelés mâles immuno-castrés, MIC), ou bien encore des mâles castrés avec anesthésie et analgésie conformément aux conditions et dérogations établies par le ministère en charge de l'agriculture.

La plupart des porcs charcutiers mâles était encore castrés jusqu'à récemment afin de réduire le risque éventuel d'odeurs et de saveurs agressives, dites odeurs de verrat, dans la viande (Parois *et al.*, 2018). Ces odeurs sont principalement causées par une augmentation des teneurs en androsténone, scatol et, dans une moindre mesure, en indole dans le tissu adipeux. Les odeurs de verrat se développent à des degrés divers chez les mâles entiers sexuellement matures et immatures et influence considérablement l'acceptation de la viande de porc par le consommateur (Bonneau *et al.*, 2000).

Une alternative déjà éprouvée à la castration chirurgicale précoce des porcs mâles est l'immunisation contre le facteur de libération de la gonadotrophine, ou immuno-castration, qui réduit considérablement l'incidence de l'odeur de verrat chez les porcs mâles (Dunshea *et al.*, 2001). L'immuno-castration empêche le développement et le fonctionnement des testicules à la fin de l'engraissement. L'immunisation a normalement lieu en fin de finition par un rappel de vaccination. Sur cette période le niveau de performance des mâles immuno-castrés rejoint progressivement celui des mâles castrés chirurgicalement et les carcasses sont sans risque d'odeurs ni saveurs désagréables tant que l'abattage est réalisé dans les 4 à 6 semaines qui suivent la seconde vaccination (notée V2, IPEMA Core Group, 2019).



**Figure 1** - Modèle de réponse d'un animal à l'apport énergétique exprimé en multiple du besoin d'entretien

<sup>1</sup> PDmax : limite supérieure de PD, F : niveau de l'apport énergétique (en multiple du besoin énergétique d'entretien) pour atteindre PDmax (d'après van Milgen *et al.*, 2000).

D'un point de vue nutritionnel, l'élevage de porcs mâles sans castration chirurgicale impose de relever trois défis majeurs. Le premier défi consiste à adapter la stratégie alimentaire afin de couvrir les besoins nutritionnels pour un dépôt protéique efficient sans coût alimentaire excessif ni impact environnemental dû à un gaspillage des nutriments. Le deuxième défi consiste à formuler des aliments qui nourrissent le porc et oriente son microbiote. Les contraintes de formulation et le choix des matières premières doivent permettre de réduire la production de scatol et d'indole en favorisant l'incorporation du tryptophane qui parvient dans le gros intestin dans la biomasse bactérienne plutôt que son utilisation comme substrat énergétique (Jensen *et al.*, 1995 ; Wesoly et Weiler, 2012). Enfin, le troisième défi consiste à optimiser la formulation de l'aliment apporté aux porcs immuno-castrés après V2 pour tenir compte de la transition progressive de leur métabolisme à ce moment-là depuis celui du mâle entier vers un métabolisme plus proche de celui des porcs castrés chirurgicalement.

## 1. ÉVALUATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

L'approche factorielle utilisée pour déterminer les besoins énergétiques permet d'identifier trois composantes du besoin qui conduisent à des écarts de besoins entre les femelles, les mâles castrés chirurgicalement et les mâles entiers ou, jusqu'à V2, immuno-castrés. Il s'agit (1) du besoin pour l'entretien, (2) du besoin pour le dépôt de protéines (croissance musculaire) et enfin (3) du besoin pour le dépôt de lipides. A ces composantes, il faut toutefois ajouter le besoin énergétique pour l'activité physique, dont la couverture peut intervenir aux dépens de l'énergie ingérée disponible pour la croissance. Chez les mâles entiers, cette composante du besoin peut être assez importante en raison d'interactions sociales plus nombreuses entre congénères (combats, morsures et tentatives de montes) (Bunger *et al.*, 2015 ; von Borell *et al.*, 2020).

Comme décrit dans la littérature, le dépôt de protéines augmente linéairement avec l'apport énergétique jusqu'à une valeur maximale. Le niveau de ce plateau (PDmax, Figure 1) dépend de la quantité d'acides aminés (AA) essentiels disponibles ou du potentiel de croissance de l'animal (Bikker *et al.*, 1995 ; van Milgen *et al.*, 2000). Au-delà de cette valeur, le dépôt de protéines n'augmente plus et l'énergie supplémentaire ingérée est déposée sous forme de lipides, ce qui conduit à une diminution du rapport protéines/lipides dans le gain de poids marginal. Le niveau d'apport énergétique auquel le dépôt de protéines atteint un plateau (également appelé potentiel de dépôt protéique) lorsqu'il n'est pas limité par les apports en AA. Il est considéré comme l'apport énergétique optimal pour un porc, i.e. pour un gain de poids moyen quotidien (GMQ) optimal et un indice de consommation (IC) optimal. Au-delà de ce niveau, le supplément d'énergie ingérée est principalement déposé sous forme de gras, ce qui entraîne une faible augmentation marginale de la vitesse de croissance mais une forte augmentation de l'indice de consommation (IC) en raison du coût énergétique élevé du dépôt de gras.

Après des décennies de sélection génétique en faveur du dépôt de maigre, la relation entre énergie ingérée et protéines déposée est linéaire chez les mâles entiers issus des croisements modernes, et non linéaire-plateau comme chez les mâles castrés chirurgicalement (Quiniou *et al.*, 1996 ; Ruiz-Ascacibar *et al.*, 2019). Ainsi, tant que les besoins en AA du porc mâle entier sont satisfaits, le dépôt de protéines est un

processus qui est limité par la quantité d'énergie ingérée pendant la période de croissance-finition, même quand l'animal est alimenté à volonté. De fait, le rationnement, mis en place chez les mâles castrés pour réduire l'apport d'énergie en excès une fois le plateau de dépôt protéique atteint, et ainsi limiter le dépôt de gras et améliorer l'IC, limite encore plus le dépôt de protéines sans améliorer le rapport protéines/lipides dans le gain de poids ni l'IC des mâles entiers, voire le dégrade (Quiniou *et al.*, 2013) en raison des perturbations de comportement qu'il entraîne (Courboulay *et al.*, 2013). Pour exploiter le potentiel de croissance des mâles entiers, ceux-ci devraient donc être alimentés à volonté (Dunsha *et al.*, 2013).

La littérature actuelle ne montre aucune différence dans la teneur en viande maigre des carcasses des types modernes de porcs mâles selon le niveau d'alimentation, c'est-à-dire lorsqu'ils sont alimentés à volonté ou rationnés à sec en France (Quiniou *et al.*, 2013) ou avec des aliments humides au Danemark (Maribo et Christiansen, 2013). Le corollaire de cette conclusion est que tout facteur qui affecte la consommation spontanée d'aliment affecte à la fois le dépôt de protéines et de lipides, et par conséquent le gain musculaire et la vitesse de croissance, plutôt que le dépôt de gras comme chez les porcs castrés chirurgicalement ou les porcs de type gras. Chez les porcs immuno-castrés, l'augmentation de l'ingestion énergétique observée après V2 est associée à une proportion accrue de lipides dans le gain de poids (Huber *et al.*, 2013 ; Needham *et al.*, 2017 ; Poulsen Nautrup *et al.*, 2018) qui correspond à une situation où l'apport énergétique n'est plus limitant pour le dépôt protéique.

## 2. CONCENTRATION ÉNERGÉTIQUE

Les mâles entiers présentent un appétit limité, qui est dû à la fois aux androgènes et aux œstrogènes (Squires *et al.*, 1993) et au temps plus limité passé à l'auge (Cronin *et al.*, 2003). Cela contribue au fait que les apports énergétiques restent limitants pour le dépôt protéique global pendant la période de croissance-finition. L'augmentation de la concentration en énergie de l'aliment est une voie explorée pour surmonter la limite imposée par la faible capacité d'ingestion du porc (Black *et al.*, 1986) et ainsi accroître l'ingéré énergétique journalier, notamment lorsqu'il est nettement en-dessous du potentiel de croissance attendu du porc même alimenté à volonté. Cette stratégie est efficace sur les porcs castrés (Quiniou et Noblet, 2012). Chez les mâles entiers, les effets de l'augmentation de la densité énergétique dans les aliments sont plus complexes à analyser. D'après Quiniou *et al.* (2017), l'augmentation de 0,6 MJ/kg de la teneur en énergie nette (EN) des aliments croissance-finition (de 9,4 à 10,0 MJ /kg, pour un apport d'AA essentiels par unité d'EN identique) a un effet limité sur les performances quand les animaux sont alimentés à volonté. En revanche, des différences apparaissent quand un plan de rationnement est appliqué pour un même apport d'EN par jour. Dans ce cas, l'aliment le plus dilué donne de meilleures performances sans doute en relation avec la distribution d'une ration plus volumineuse qui permet de limiter la frustration alimentaire, avec pour conséquence une réduction de l'activité.

La formulation des aliments pour mâles entiers doit être réalisée en tenant compte de la productivité attendue mais également de la production de scatol dans l'intestin. Une digestibilité très élevée de l'énergie implique qu'une plus faible quantité d'énergie parvient jusqu'au gros intestin, donc que moins d'énergie est disponible pour les microbes responsables

de la production des composants odorants (Squires *et al.*, 2020). Cela conduit à sélectionner un microbiote plus enclin à utiliser le tryptophane indigestible comme source d'énergie plutôt qu'à l'intégrer dans les protéines microbiennes. La formulation peut être réalisée avec une certaine flexibilité entre 9,5 et 10,0 MJ EN/kg. Au-dessus de 10,0 MJ EN/kg, il est plus difficile de formuler avec suffisamment de composés indigestes, *i.e.* fibres solubles ou fermentescibles, en vue de réduire la production de scatol dans le gros intestin postérieur.

## 3. NIVEAU D'ALIMENTATION

Dans la majorité des élevages en France, ainsi que dans certains autres pays européens tels que l'Allemagne ou la Suisse, les porcs en phase de finition sont depuis longtemps rationnés afin de favoriser des carcasses maigres et l'efficacité alimentaire (Quiniou *et al.*, 2021). Ceci est lié à l'appétit élevé des porcs castrés chirurgicalement lorsqu'ils approchent du poids d'abattage. Avec l'ingestion d'une quantité d'énergie bien supérieure à l'apport énergétique optimal (voir chapitre 1), ils ont une propension à déposer l'énergie excédentaire dans les tissus adipeux. La restriction alimentaire est alors une stratégie efficace pour améliorer l'IC, la diminution de l'apport énergétique limitant le dépôt de lipides sans impacter le dépôt protéique.

L'alimentation en soupe réalisée avec des auges longues permet de rationner les porcs jusqu'à des poids d'abattage élevés. Elle est beaucoup plus difficile à utiliser en conditions d'alimentation libérale, en raison du gaspillage accru d'aliment. Cependant, cela peut s'envisager avec les nouveaux systèmes d'alimentation liquide, avec auges courtes et contrôle par des capteurs qui permettent une distribution plus fréquente. L'alimentation à volonté des mâles entiers fonctionne bien avec ces systèmes (P. Lawlor, communication personnelle).

Lorsque les porcs sont rationnés, ils sont nourris sans être rassasiés, ce qui entraîne des interactions sociales négatives (Holinger *et al.*, 2014, 2015). Le fractionnement des apports d'aliment est inhérent au système soupe, et entraîne des interactions entre les porcs au moment de la distribution des repas. Toutefois, quand la soupe est distribuée en auge longue avec accès simultané à l'aliment pour tous les animaux de la case, l'augmentation du niveau d'activité des animaux n'est pas suffisante pour dégrader l'IC, contrairement à ce qui est observé lorsque le rationnement est réalisé à sec avec une forte compétition entre les animaux de la case pour l'accès au nourrisseur (Quiniou *et al.*, 2013). En raison de l'impact négatif du rationnement sur le comportement, et afin d'améliorer le GMQ chez les mâles entiers issus de certaines races, l'alimentation à volonté est recommandée en phase de croissance-finition. Néanmoins, même dans ce cas avec les systèmes d'alimentation liquide contrôlés par capteurs, avec de l'aliment à disposition dans l'auge, la distribution du repas peut créer une ruée des porcs vers l'auge. On suppose que ce comportement est conditionné par le bruit de l'ouverture de la vanne d'alimentation au moment des repas.

## 4. BESOINS EN ACIDES AMINÉS

Il est généralement admis que le besoin en AA essentiels par unité d'énergie est plus important chez les mâles entiers que chez les porcs castrés chirurgicalement et chez les femelles, en relation avec une composition du gain pondéral différente (Noblet *et al.*, 1994). A partir de l'évolution du poids vif et de la

consommation d'aliment pendant l'engraissement, Quiniou *et al.* (2010) ont modélisé l'évolution du besoin en lysine digestible iléale standardisée ( $LYS_{DIS}$ ) selon le sexe et considèrent que celui des mâles entiers est supérieur de 0,1 g/MJ EN en moyenne à celui des porcs castrés chirurgicalement tout au long de la phase de croissance-finition. Cet écart peut être un peu plus élevé pendant le début de l'engraissement en relation avec l'évolution du profil de besoin de chaque type sexuel, ainsi l'exemple illustré dans la figure 2 (obtenu avec des aliments formulés à 9,7 MJ EN/kg) conduit à recommander une formulation à 0,94 vs. 0,81 g/MJ EN en période de croissance (soit +16%) et 0,81 vs. 0,71 g/MJ EN en période de finition (soit +14%). Dans une autre étude, Maribo *et al.* (2015a) ont montré qu'un apport supplémentaire de 17 à 25 % d'AA (lysine, méthionine, thréonine et tryptophane), par rapport à ce qui est recommandé par les normes danoises, permet d'améliorer le GMQ et l'IC des mâles entiers.

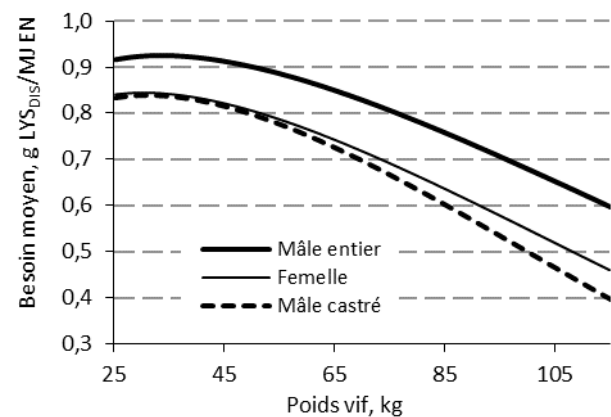
Aymerich *et al.* (2020) ont réalisé un essai en mode dose-réponse en période de finition avec des mâles entiers, et cette fois des femelles, où ils ont comparé cinq niveaux d'apport en  $LYS_{DIS}$ . Ils concluent à un besoin plus élevé de 17 % pour des mâles entiers que pour les femelles (0,91 vs. 0,75 g  $LYS_{DIS}$ /MJ EN), valeur qui rejoint celle que la même équipe obtient par méta-analyse sur l'ensemble de l'engraissement (Aymerich *et al.*, 2021). Cet écart est plus important que celui rapporté entre ces deux sexes par Quiniou *et al.* (2010). A partir de ces différents résultats, il apparaît que l'écart de besoins peut être plus ou moins marqué entre les sexes, en relation avec le niveau de performance observé, considéré en moyenne ou de façon dynamique.

Moore *et al.* (2013) émettent l'hypothèse que les mâles entiers utiliseraient plus efficacement les AA disponibles pour la croissance que les femelles. Entre 50 et 100 kg de poids vif, avec un aliment formulé à 0,50 g  $LYS_{DIS}$ /MJ d'énergie digestible (ndlr : estimé à 0,7 g/MJ EN à partir de la formule et des valeurs des tables INRA-AFZ-CIRAD, [www.feedtables.com](http://www.feedtables.com)), pour une même quantité de  $LYS_{DIS}$  ingérée par les porcs des deux sexes et un GMQ proche de la valeur maximale observée pendant l'essai, les mâles entiers affichaient un GMQ 13,2 % plus élevé et une efficacité alimentaire 10,4 % plus élevée que les femelles.

Ces dernières années, les préoccupations sociétales croissantes au sujet de l'impact environnemental de l'élevage ont renforcé l'intérêt porté depuis déjà longtemps, pour des raisons technico-économiques, à l'amélioration de l'efficacité alimentaire et ont conduit à concevoir des aliments à teneur réduite en protéines, pour une teneur en AA essentiels adaptée aux besoins des animaux, afin de réduire les rejets d'azote et les émissions d'ammoniac. De nombreux travaux ont permis de démontrer l'efficacité de ce type d'aliments lorsqu'ils sont formulés dans le système énergie nette (EN) en tenant compte de la digestibilité iléale standardisée des AA (Quiniou et Boutry, 2016). Toutefois, l'arrêt de la castration remet en question les niveaux nutritionnels retenus en routine pour alimenter les mâles castrés chirurgicalement et les femelles. En effet, quand la diminution de la teneur en protéines est associée à une réduction des teneurs en AA essentiels (lysine, méthionine, thréonine et tryptophane) jusqu'à un niveau qui reste compatible avec la couverture des besoins des mâles castrés chirurgicalement, Ruiz-Ascacibar *et al.* (2019) observent un moindre dépôt de protéines et une croissance dégradée chez les mâles entiers recevant des régimes à teneurs abaissées en protéines et AA. Ce résultat est accord avec ceux de Quiniou et Chevillon (2015) qui démontraient une dégradation des

performances de croissance (GMQ et IC) chez les mâles entiers quand la baisse de la teneur en protéines était associée à des apports en AA inférieurs aux besoins. Ainsi, avec des aliments croissance-finition conçus pour mâles castrés et donc limitants en AA pour les mâles entiers, ces auteurs observaient une détérioration de la teneur en muscle des pièces (TMP) de la carcasse des mâles entiers dont les besoins sont plus élevés (Figure 2). L'effet négatif est aggravé si le profil en AA essentiels de l'aliment est déséquilibré.

D'après Martinez-Ramirez *et al.* (2008), un apport carencé en AA essentiels sur une courte période (par exemple, en période de croissance) ne pénaliserait pas le dépôt protéique sur l'ensemble de l'engraissement, compte tenu de la croissance compensatoire que pourraient développer les mâles entiers issus de types génétiques à potentiel de croissance musculaire élevé pendant la période de réalimentation (période de finition).



**Figure 2** - Estimation des besoins en lysine digestible iléale standardisée ( $LYS_{dis}$ ) par MJ d'énergie nette (EN) chez le porc en fonction du poids et du sexe (d'après Quiniou *et al.*, 2010)

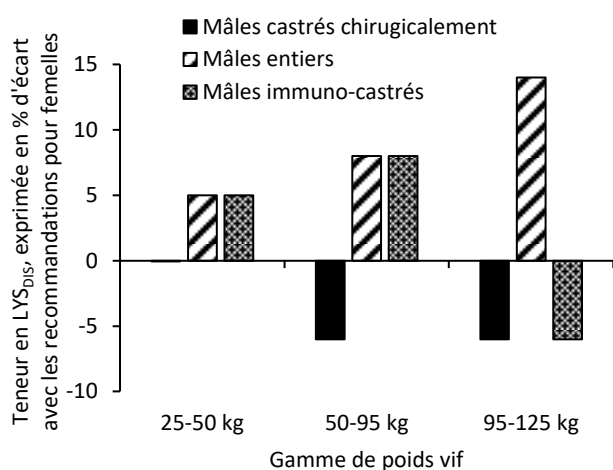
## 5. BESOINS SPÉCIFIQUES DU MALE IMMUNO-CASTRÉ

La première vaccination contre le facteur de libération des gonadotrophines est généralement administrée en début d'engraissement, vers 12 semaines d'âge, et la seconde 4 à 6 semaines avant l'abattage. Entre l'entrée en engraissement et V2, la physiologie des mâles entiers et des porcs immuno-castrés est similaire, d'où des performances de croissance et de composition du gain de poids comparables (Batorek *et al.*, 2012 ; Dunshea *et al.*, 2013). Par conséquent, sur cette période les recommandations nutritionnelles émises pour valoriser le potentiel de croissance et de dépôt protéique des mâles entiers s'appliquent aussi aux mâles immuno-castrés.

Dans les 2 semaines qui suivent la deuxième injection, la production de testostérone chute en réponse au manque d'hormone lutéinisante (Dunshea *et al.*, 2001 ; Brunius *et al.*, 2011). Par la suite, le métabolisme des porcs immuno-castrés se rapproche progressivement de celui des porcs castrés chirurgicalement, et entraîne une augmentation de l'appétit, une réduction de la croissance et une moins bonne valorisation des aliments (Lealiifano *et al.*, 2011 ; Dunshea *et al.*, 2013) que chez les mâles entiers. Dès lors que les porcs immuno-castrés déposent davantage de lipides après V2, notamment en raison de l'augmentation de leur consommation d'aliment, le rapport protéines/lipides dans le gain de poids diminue. Cela conduit à une décroissance progressive des besoins en  $LYS_{DIS}$  par MJ d'EN,

jusqu'à 30 % en-deçà de ceux des mâles entiers environ 14 jours après V2 (Dunshea *et al.*, 2013 ; Huber *et al.*, 2013 ; Moore *et al.*, 2016).

L'utilisation d'un aliment de fin de finition (Figure 3), moins riche en AA que celui distribué aux mâles entiers sur la même période mais plus riche que celui distribué aux mâles castrés chirurgicalement (Elsbernd *et al.*, 2015), permettrait d'éviter le gaspillage de nutriments et d'améliorer d'autant l'efficacité des porcs immuno-castrés. Les modifications du métabolisme n'étant pas instantanées, l'utilisation de l'aliment de finition pour mâles entiers pourrait se poursuivre pendant la semaine qui suit V2 (Dunshea *et al.*, 2013).



**Figure 3** – Ecarts de teneur recommandée en lysine digestible idéale standardisée (LYS<sub>DIS</sub>) dans les aliments distribués aux porcs mâles entiers, castrés chirurgicalement ou immuno-castrés dans une séquence en trois phases<sup>1</sup>, exprimés par rapport aux teneurs recommandées pour les femelles (d'après Dunshea *et al.*, 2013)

<sup>1</sup> La troisième phase débute 1 semaine après la deuxième vaccination des mâles immuno-castrés.

Lorsqu'il n'est pas possible de passer à un régime de finition différent après V2 pour alimenter les mâles immuno-castrés, le rationnement est parfois envisagé pour réduire l'apport quotidien en lysine et en protéines, avec en perspective d'en réduire le gaspillage et de diminuer les émissions d'azote. Cependant, cela conduit également à diminuer les apports en énergie. Or, les résultats disponibles indiquent que cela pénalise la croissance, sans améliorer l'efficacité alimentaire ni la teneur en muscle des pièces (Quiniou *et al.*, 2012). Par ailleurs, la durée des repas (min/repas) et la vitesse d'ingestion (g/min) augmentent après V2 (Weiler *et al.*, 2013). Dans ces conditions, l'accès restreint à l'auge s'accompagne d'un nombre plus élevé d'interactions sociales, notamment les interactions négatives, et peut conduire à un comportement plus agressif et un plus grand nombre de lésions cutanées chez les porcs (Batorek *et al.*, 2012). Ainsi, en l'absence de résultats probants sur l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des sources azotées, les modifications comportementales observées l'emportent et conduisent à déconseiller le rationnement des mâles immuno-castrés après V2.

## 6. CONTROLER LES ODEURS DE VERRAT PAR LA VOIE DE L'ALIMENTATION

La composition de l'aliment peut influencer et réguler la synthèse intestinale du scatol et de l'indole par différents

mécanismes. Premièrement, le régime alimentaire peut réduire la disponibilité du L-tryptophane, précurseur du scatol et de l'indole, dans le côlon en modifiant le taux d'apoptose au niveau des muqueuses intestinale et donc l'apport en tryptophane endogène. Ensuite, l'alimentation peut modifier la composition du microbiote intestinal et la disponibilité des espèces bactériennes productrices de scatol appartenant à deux genres, à savoir *Clostridium* et *Olsenella* (Whitehead *et al.*, 2008 ; Li *et al.*, 2015). Certains composants alimentaires peuvent augmenter la disponibilité de l'énergie et orienter l'activité microbienne d'une activité protéolytique vers une activité saccharolytique ou augmenter l'activité microbienne, augmentant ainsi l'incorporation d'AA dans la biomasse bactérienne, et supprimant la conversion du tryptophane en scatol (Li *et al.*, 2019). Le régime alimentaire influence également le temps de transit intestinal et le taux d'absorption du scatol et de l'indole (Wesoly et Weiler, 2012). En outre, les composés bioactifs présents dans l'aliment peuvent affecter les taux de scatol et d'indole dans le tissu gras par l'induction ou l'inhibition de leur métabolisme *via* les enzymes du cytochrome P450 (CYP450) ou l'activation des récepteurs nucléaires (Sachar et Ma, 2013 ; Rasmussen et Zamaratskaia, 2014).

Un effort important a été fait pour étudier les possibilités de réduire les niveaux de scatol par la voie alimentaire. De nombreux travaux ont été réalisés pour tester l'intérêt de différents ingrédients et formulations sur les niveaux de scatol et d'indole dans le lard dorsal, le sang, les digesta intestinaux et les fèces, et les résultats de ces études sont largement documentés (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012). Dans le présent article, nous résumons et discutons les résultats de recherches publiées depuis 2010. Nous avons accordé une attention particulière aux ingrédients qui permettent à la fois de réduire le niveau des composés de l'odeur de verrat. Ils sont également présents dans la liste d'ingrédients (à effet positif, neutre ou négatif sur le risque d'odeur lié au scatol ou à l'androsténone) établie par les experts européens mobilisés dans le COST IPEMA, réseau européen sur la recherche d'alternatives à la castration des porcs mâles (Zamaratskaia *et al.*, 2018).

### 6.1. Racine de chicorée et inuline

Bien que les conclusions des travaux conduits sur le sujet ne soient pas toujours cohérentes en raison des différences de dispositifs expérimentaux utilisés, nombreux sont ceux qui démontrent une réduction du scatol quand de la racine de chicorée est ajoutée dans l'aliment. L'addition d'inuline purifiée dans l'aliment donne des résultats similaires à ceux de la racine de chicorée, ce qui suggère que l'inuline, une fibre fermentescible également présente en grandes quantités dans le topinambour, est le principal composant de la chicorée à agir sur la réduction du scatol. Dans une première étude, Maribo *et al.* (2010) ont observé une réduction de la teneur en scatol dans le gras après distribution d'un aliment contenant 15 % de chicorée pendant les 14 jours qui précèdent l'abattage. Cependant, le coût de la chicorée est très élevé. Aussi, la possibilité de raccourcir la période de distribution a été testée dans un autre essai. Maribo *et al.* (2010 ; 2015b) rapportent une réduction du taux de scatol de 50 à 60 % après l'apport continu d'un aliment contenant 15 % de chicorée pendant les 3 à 4 jours qui précèdent l'abattage.

Les niveaux d'indole ne sont généralement pas influencés par l'apport alimentaire de racine de chicorée ou d'inuline. Aluwé *et al.* (2017) ont suggéré que l'ajout de chicorée ou

d'oligosaccharides pouvait diminuer la conversion bactérienne du tryptophane en scatol tout en augmentant sa conversion en indole. Plus récemment, Li *et al.* (2019) sont arrivés à une conclusion similaire. Bien que spéculative, l'absence d'effet sur l'indole pourrait être considérée comme un résultat positif, étant donné que l'indole ne contribue que de façon mineure aux odeurs de verrat et qu'il a un effet positif sur la santé intestinale d'autres espèces (Whitfield-Cargile *et al.*, 2016 ; Gao *et al.*, 2018). Il est important de souligner qu'à notre connaissance, le rôle de l'indole dans la santé du porc n'a pas été étudié.

L'inuline est un polymère de fructose de masse moléculaire élevée. Elle est fermentée par le microbiote endogène, avec pour conséquence une augmentation de la production d'acides gras à chaîne courte (AGCC), tels que l'acétate, le propionate et le butyrate (den Besten *et al.*, 2013). Le butyrate, en particulier, est bénéfique en raison de ses propriétés anti-inflammatoires (Tan *et al.*, 2014 ; Bedford et Gong, 2018). Lepczyński *et al.* (2017) ont démontré que des compléments alimentaires contenant de la racine de chicorée séchée et de l'inuline modifiaient l'expression de plusieurs protéines hépatiques associées au métabolisme énergétique et induisaient l'expression de protéines impliquées dans la protection contre le stress oxydatif. De plus, une étude utilisant un modèle *in vitro* du tractus gastro-intestinal du porc a montré une activation des gènes liés à l'intégrité de la barrière intestinale après un traitement à l'inuline (Uerlings *et al.*, 2020).

Plusieurs hypothèses sont proposées pour expliquer le mécanisme exact par lequel la racine de chicorée permet de réduire le taux de scatol. Selon l'une d'elles, l'ajout de chicorée ou d'autres sources de fibres alimentaires fermentescibles favoriserait l'augmentation de la concentration de butyrate dans le côlon, ce qui réduirait l'apoptose cellulaire et, par conséquent, la disponibilité du tryptophane endogène pour la synthèse du scatol (Claus *et al.*, 2003). Les composants de la racine de chicorée moduleraient le profil bactérien du microbiote et diminueraient l'abondance des bactéries productrices de scatol. Néanmoins, aucune de ces deux hypothèses n'a été confirmée. Overland *et al.* (2011) et Li *et al.* (2019) ont expliqué la réduction du scatol associée à l'apport de chicorée comme une réponse à une activité microbienne accrue et à une incorporation accrue des AA dans la biomasse bactérienne, ce qui conduit à une moindre synthèse du scatol à partir du tryptophane. En outre, Rasmussen *et al.* (2011) suggèrent que l'effet de la chicorée pourrait être dû, au moins en partie, à l'augmentation de l'activité des enzymes CYP1A2 et CYP2A19 qui métabolisent le scatol.

## 6.2. Tannins hydrolysables

Les tannins hydrolysables sont des composés alimentaires ayant le potentiel de réduire les niveaux de scatol et d'indole dans le gras. Ce sont des métabolites secondaires présents dans de nombreuses plantes (Čandek-Potokar *et al.*, 2015 ; Bee *et al.*, 2016). Ils inhibent la prolifération cellulaire et l'apoptose dans le cæcum, ce qui réduit la disponibilité des débris cellulaires et du tryptophane nécessaire à la production de scatol dans l'intestin (Bilić-Šobot *et al.*, 2016).

En général, les tannins sont considérés comme des facteurs antinutritionnels, car ils forment des complexes avec les minéraux et les protéines, dont les enzymes digestives, et ils interfèrent donc avec la digestibilité des nutriments. Cependant, en comparaison avec d'autres animaux, les tannins semblent être relativement bien tolérés par les porcs, ces

derniers pouvant consommer des aliments riches en tannins sans conséquences négatives pour leur santé (Seoni *et al.*, 2020). Čandek-Potokar *et al.* (2015) ont observé une production intestinale de scatol plus faible chez les porcs recevant des compléments à base de tannins. Cependant, ces auteurs précisent que cet effet n'était pas cohérent avec celui observé sur les teneurs de scatol et d'indole dans le gras dorsal, avec le taux d'incorporation le plus faible (1 vs. 2 ou 3 %). Par conséquent, avant de pouvoir utiliser des compléments à base de tannins hydrolysables pour réduire l'odeur de verrat, un travail préalable est nécessaire pour déterminer la dose optimale. Récemment, Bahelka *et al.* (2021) ont suggéré une teneur de 2 %.

La teneur dans le gras d'un autre composant des odeurs de verrat, l'androsténone, pourrait également être abaissée par l'incorporation de tannins dans l'aliment. Bien que jusqu'à présent aucun effet significatif n'ait pu être démontré par les différents auteurs, les résultats disponibles convergent vers une baisse de la teneur en androsténone avec les aliments qui contiennent des tannins hydrolysables (Čandek-Potokar *et al.*, 2015 ; Bee *et al.*, 2016 ; Tretola *et al.*, 2019 ; Bahelka *et al.*, 2021). Les auteurs associent cet effet à la circulation entéro-hépatique de l'androsténone qui pourrait la rendre disponible pour la liaison dans la bile et donc indisponible pour la réabsorption (Squires *et al.*, 2020). D'autres études sont nécessaires pour confirmer l'effet des tannins hydrolysables sur l'androsténone et pour élucider le mécanisme sous-jacent.

## 6.3. Fécule de pomme de terre crue

Deux revues indiquent que l'apport de fécule de pomme de terre crue dans l'alimentation réduit systématiquement les niveaux de scatol (Zamaratskaia et Squires, 2009 ; Wesoly et Weiler, 2012). Il est probable que l'effet réducteur de la fécule de pomme de terre crue sur le scatol soit dû à sa forte concentration en amidon résistant. L'amidon alimentaire résistant modifie la composition microbienne intestinale, augmente la production d'AGCC, améliore l'intégrité de la muqueuse intestinale, réduit les dommages causés aux colonocytes, module le métabolisme des lipides et améliore l'intégrité de la muqueuse colique (Nofrarias *et al.*, 2007 ; Zhou *et al.*, 2017). Dans les essais rassemblés dans les revues citées ci-dessus, la fécule de pomme de terre crue n'était pas incorporée dans l'aliment mais distribuée en *top feeding*, ce qui n'est pas possible en élevage de porc commercial. Il est alors nécessaire de trouver des solutions pratiques pour apporter la fécule de pomme de terre crue. Or, l'incorporation dans un aliment présenté sous forme de granulé ne semble pas conduire aux mêmes avantages. En effet, Pauly *et al.* (2008) n'ont pas observé de réduction des niveaux de scatol dans l'intestin distal ou dans les tissus adipeux de mâles entiers quand la fécule de pomme de terre crue était incorporée à 20 % dans un aliment présenté sous forme de granulés. Cela résulte probablement de l'incidence des conditions de mise en œuvre du process (température, vapeur) sur les caractéristiques (degré de gélatinisation) de l'amidon et sa digestibilité (Sun *et al.*, 2006), et sans doute d'une réduction ou d'une perte des propriétés de l'amidon cru mentionnées précédemment.

## 6.4. Autres ingrédients

Une étude récente a démontré que l'alimentation avec des graines de lupin bleu doux modifiait l'activité microbienne dans le gros intestin des porcs (Tuśnio *et al.*, 2020). Ces auteurs ont incorporé de la graine de lupin à un taux élevé dans l'aliment

(30 %), ce qui a eu tendance à diminuer la concentration d'indole dans le côlon distal en dessous de celle observée avec un taux d'incorporation deux fois moins élevé (15 %). Hélas, les concentrations de scatol n'ont pas été mesurées dans cet essai. D'après Mølbak *et al.* (2007), l'addition de lupin doux et de racine de chicorée dans l'aliment augmente l'abondance de *Bifidobacterium thermoacidophilum* et de *Megasphaera elsdenii* dans le colon.

En supposant que l'apport accru d'énergie fermentescible (*via* un régime riche en fibres) favoriserait l'utilisation du tryptophane pour la synthèse microbienne des protéines au lieu de sa conversion en composés indoliques dans l'intestin postérieur, Holinger *et al.* (2018) ont tenté de réduire les concentrations de scatol et d'indole en distribuant de l'ensilage d'herbe aux grands porcs blancs suisses. Mais cette étude n'a pas permis d'observer de diminution ni du niveau de scatol, ni du niveau d'indole.

Plusieurs tentatives ont été faites pour réduire la production de scatol et d'indole en incorporant de la pulpe de betterave sucrière dans l'aliment distribué au porc. D'après la revue de Wesoly et Weiler (2012), une incorporation à 15 % dans la formule pendant tout l'engraissement permet d'abaisser la teneur en scatol dans le gras (en moyenne 37 vs. 65 ng/g). Pieper *et al.* (2014) ont suggéré un effet sur la synthèse de scatol dans le gros intestin proximal.

Quelques expériences ont également été réalisées pour étudier l'effet du topinambour sur les odeurs de verrat. Vhile *et al.* (2012) ont rapporté une tendance à la diminution des niveaux de scatol dans le gros intestin postérieur et les tissus adipeux, alors que les niveaux d'indole n'étaient pas modifiés. La réduction des niveaux de scatol s'explique par une diminution de *Clostridium perfringens* et une augmentation de la production intestinale d'AGCC, ce qui réduit le pH des digesta.

Pieper *et al.* (2014) ont observé une diminution des niveaux de scatol lorsqu'un mélange de lignine et de cellulose est incorporé dans le régime. Les auteurs ont suggéré que cet effet était dû à la combinaison de sources de fibres solubles et insolubles qui ont fourni des glucides fermentescibles au microbiote intestinal tout au long de l'intestin. Dans cette étude, la formation de scatol dans le gros intestin proximal et distal était réduite. Or, contrairement à l'inuline, la cellulose est peu soluble et n'est pas facilement disponible comme substrat pour le microbiote intestinal. Le mécanisme à l'origine de cette réduction nécessite d'être mieux caractérisé.

Un autre moyen, beaucoup plus économique, de réduire le scatol consiste à nourrir les animaux uniquement avec des céréales pendant les 3 à 4 jours qui précèdent l'abattage. D'après Møller et Maribo (2013), cela permet de réduire le taux de scatol de 50 %. Pour alimenter ainsi seulement les porcs de la case qui partent pour l'abattoir, cela suppose de disposer d'équipements de distribution d'aliment individualisée ou d'abattre toute la case le même jour.

## 7. MODULER LA QUALITE DE LA CARCASSE ET LE PROFIL EN ACIDES GRAS L'ALIMENTATION

Une teneur plus élevée en protéines et une teneur plus faible en lipides dans le gain de poids contribuent à une diminution de l'IC et de l'adiposité des carcasses (Quiniou *et al.*, 1996, 2010 ; Ruiz-Ascacibar *et al.*, 2017, 2019). Ainsi, lorsqu'ils sont élevés dans des conditions identiques, toutes les observations confirment que les mâles entiers présentent une épaisseur de lard dorsal plus faible, une teneur plus élevée en viande maigre

et une plus grande surface de la coupe du muscle dorsal long par rapport aux mâles castrés chirurgicalement (Lundstöröm *et al.*, 2009 ; Pauly *et al.*, 2012). Mais d'autres critères que les proportions de muscle et de gras dans la carcasse diffèrent selon le sexe tels que la conformation des carcasses, avec des quartiers avant plus développés et une plus faible part de jambon, des muscles qui contiennent moins de protéines, et une viande moins tendre chez les mâles entiers que chez les mâles castrés chirurgicalement (Aaslyng *et al.*, 2019). La qualité de la carcasse et de la viande des porcs immuno-castrés semblent être similaires à celles des porcs castrés chirurgicalement (Batorek *et al.*, 2012), ce qui signifie qu'aucune adaptation spécifique du régime alimentaire, i.e. ciblée sur la qualité de la viande, n'est nécessaire pour les porcs immuno-castrés. Cependant, il faut être conscient que, par rapport aux mâles entiers, l'activité des enzymes lipogéniques dans les tissus adipeux augmente nettement chez les porcs immuno-castrés, surtout après la deuxième injection. Cela entraîne un plus grand développement des adipocytes et, finalement, un dépôt accru de lipides (Poklucar *et al.*, 2021).

La plus faible adiposité de la carcasse est associée à une plus faible teneur en lipides intramusculaires (Pauly *et al.*, 2012), et des teneurs moins élevées sont donc observées chez les mâles entiers que chez les mâles castrés chirurgicalement, les mâles immuno-castrés présentant une teneur intermédiaire (Font\_I\_Furnols *et al.*, 2019). Selon la teneur moyenne en LIM de la lignée génétique utilisée, la diminution observée chez les mâles entiers par rapport aux mâles castrés chirurgicalement ou aux femelles pourrait avoir un impact sur les caractéristiques sensorielles de la viande de porc, comme sa texture et sa saveur (Fernandez *et al.*, 1999).

Le plus faible dépôt de lipides se traduit généralement par un plus grand degré d'insaturation du tissu adipeux (Wood *et al.*, 2008). Bien que l'ampleur de l'effet diffère selon les tissus, les porcs immuno-castrés ont généralement des niveaux d'acides gras polyinsaturés plus faibles que les mâles entiers (Pauly *et al.*, 2012 ; Poklucar *et al.*, 2021). Du point de vue de la nutrition humaine, une plus grande quantité d'acides gras polyinsaturés peut être considérée comme bénéfique (Simopoulos, 2000). Cependant, du point de vue du secteur aval de transformation de la viande, les tissus mous présentant un niveau élevé d'acides gras mono- et poly-insaturés conviennent moins bien (Scheeder *et al.*, 1998, 2000 ; Hadorn *et al.*, 2008).

La question se pose de savoir comment éviter ces « défauts » par la voie alimentaire. La composition en acides gras du porc peut être facilement manipulée en sélectionnant les ingrédients alimentaires appropriés (Mourot et Lebret, 2009). En effet, chez le porc, la quantité d'acide gras polyinsaturés ingérée est étroitement liée à la quantité déposée dans les lipides sous-cutanés et intramusculaires (Bee *et al.*, 2002 ; Wood *et al.*, 2008). Quand la qualité des gras est un critère important de qualité, des recommandations alimentaires intègrent des contraintes sur la composition des lipides apportés par l'aliment (Stoll, 2016). Cependant, les recommandations disponibles actuellement ont été développées pour des porcs castrés chirurgicalement et pour des femelles et elles pourraient ne plus être adaptées pour des animaux qui déposent moins de gras.

Une stratégie de formulation permettant d'augmenter la quantité de LIM déposée sans altérer la teneur de la carcasse en viande maigre consiste à réduire le rapport protéines/lysine/énergie du régime alimentaire en dessous des besoins tout en rationnant les animaux (Lebret *et al.*, 2001). L'application d'une



telle stratégie freine la croissance et augmente l'âge des porcs à l'abattage, or le développement des LIM est tardif. À notre connaissance, cette stratégie n'a pas encore été testée chez des mâles entiers mais seulement chez des porcs ayant un potentiel certain de dépôt de LIM (Lebret, 2008). Il reste donc à savoir si elle serait efficace chez les mâles entiers issus des races modernes sélectionnées pour leur viande maigre pour atteindre une teneur en LIM accrue. Cependant, même dans ce cas, il n'est pas certain qu'elle puisse être appliquée compte tenu des incidences que le rationnement a sur le comportement des mâles entiers.

## 8. CONSIDÉRATIONS PRATIQUES SUR L'ÉLEVAGE DE MÂLES ENTIERS OU DE PORCS IMMUNO-CASTRÉS

Ce chapitre aborde quelques considérations pratiques, positives et négatives, relatives à l'élevage des mâles entiers.

### 8.1. Un demi-siècle de non-castration

L'Irlande et le Royaume-Uni produisent des mâles entiers depuis les années 1970 parce que les mâles entiers ont une croissance plus rapide et une meilleure efficacité alimentaire que leurs homologues castrés chirurgicalement. Dès les années 80, Hanrahan (1980) évalue à 8 % l'amélioration de l'efficacité alimentaire de la carcasse et à 6 % l'augmentation du gain de poids journalier moyen de la carcasse quand les mâles ne sont pas castrés. Plus récemment, Lawlor *et al.* (2005) ont constaté entre le sevrage et l'abattage (9-126 kg de PV) que l'IC était amélioré de 8,4 % chez les mâles entiers par rapport aux porcs castrés chirurgicalement, pour un GMQ similaire. Entre 25 et 119 kg, l'écart d'IC est de 14 % d'après Quiniou *et al.* (2010), sans différence significative de GMQ. Dans ces deux études, les animaux étaient alimentés à volonté, les GMQ similaires étant observés pour un niveau d'ingestion spontanée différents. En revanche, pour une même quantité d'aliment consommée (i.e., avec des mâles entiers alimentés à un niveau proche de l'à volonté et des mâles castrés chirurgicalement rationnés plus ou moins sévèrement), un GMQ plus élevé est observé chez les mâles entiers (Quiniou *et al.*, 1996).

Traditionnellement, les producteurs de ces pays ont pu bénéficier de la réduction des coûts de production associés à la production de mâles entiers puisque (1) le poids de la carcasse était faible par rapport à celui observé dans les autres bassins de production en Europe et (2) le risque d'odeurs de verrat était également plus faible. Cependant, le poids d'abattage a considérablement augmenté ces dernières années comme il est très avantageux, d'une part pour les éleveurs, de produire des porcs plus lourds et, d'autre part, pour les transformateurs de réaliser des économies sur le coût unitaire de transformation et, enfin, parce que les secteurs de l'aval et de la restauration étaient demandeurs de pièces (jambons) ou carcasses plus lourdes. Ainsi, le poids vif à l'abattage en Irlande était en moyenne de 90,1 kg (68,1 kg de carcasse) en 2000, contre 118,4 kg (90,3 kg de carcasse) en 2019 (Teagasc, 2020). Cette augmentation de 28 kg du poids à l'abattage peut sembler importante, mais elle s'est opérée sans augmentation de l'âge des porcs à l'abattage, celui-ci ayant même diminué de 1,4 j depuis 2000. En effet, dans le même temps, le GMQ moyen du sevrage à la vente est passé de 585 à 795 g/j grâce aux progrès génétiques et à l'amélioration de la nutrition, des conditions de logement, ainsi que du suivi sanitaire. Par conséquent, le risque que les mâles entiers dégagent des odeurs de verrat n'est pas plus élevé aujourd'hui qu'il y a 20 ans.

### 8.2. Non castration et impact environnemental

La production de mâles entiers présente également certains avantages pour l'environnement par rapport à la production de porcs castrés chirurgicalement. En effet, les mâles entiers nourris avec le même régime que les porcs castrés chirurgicalement ont une meilleure efficacité alimentaire que ces derniers, ce qui est associé à une réduction des rejets. Ainsi, Lawlor *et al.* (2005) ont constaté que l'excrétion de N par kg de carcasse était inférieure de 11,7 % pour les mâles entiers par rapport aux porcs castrés chirurgicalement, principalement en raison de la rétention accrue de N chez les mâles entiers. Une diminution supplémentaire des rejets est attendue quand les mâles entiers reçoivent des aliments formulés pour couvrir leurs besoins en AA. En effet, Quiniou et Chevillon (2015) ont observé que l'IC était amélioré de 0,1 point quand les mâles entiers recevaient des aliments formulés pour couvrir leurs besoins en AA et non ceux des mâles castrés. Cette meilleure efficacité alimentaire était associée à une amélioration de 1,3 point de TMP et conduisait à une diminution de 9% des rejets.

### 8.3. Non castration et constitution des cases

Les mâles entiers sont beaucoup plus agressifs que les femelles et les porcs castrés chirurgicalement. Boyle et Björklund (2007) ont observé les niveaux les plus élevés d'agressivité et de comportements de monte dans les groupes de mâles entiers non mixtes, les niveaux intermédiaires dans les groupes mixtes et les niveaux les plus bas dans les groupes de femelles. Ces auteurs concluent à un meilleur bien-être des mâles entiers lorsqu'ils sont élevés dans des groupes mixtes et, à l'inverse, que des groupes non mixtes seraient préférables pour les femelles, qui ne sont alors pas stressées par les comportements de monte et les combats provoqués par les mâles. Les conditions de logement interagissent probablement avec la constitution des groupes. Ainsi, Courboulay *et al.* (2013) ont également observé une fréquence inférieure de comportements agressifs initiés par les mâles entiers dans les cases mixtes, mais pas d'incidence sur la fréquence des comportements sexuels.

### 8.4. Non castration et stratégie d'alimentation

En ce qui concerne la prévalence de l'odeur de verrat, les résultats d'une étude réalisée en exploitation par Heyrman *et al.* (2021) ont montré que toute mesure visant à réduire l'agressivité et le stress et, dans une certaine mesure, le comportement sexuel, est susceptible de réduire la prévalence des odeurs de verrat dans un contexte d'élevage commercial. Dans la majorité des cas en Irlande, au Royaume-Uni et en France, les mâles entiers et les femelles ne sont pas élevés en groupes séparés et le même régime alimentaire est donc distribué aux porcs des deux sexes. Dans la plupart des élevages, entre 30 et 120 kg de poids vif, un seul régime est utilisé en Irlande et au Royaume-Uni. En France, le plus souvent encore deux ou trois aliments sont utilisés (nourrain, croissance, finition), même si une tendance commence à se dégager vers une ou deux phases supplémentaires.

En Irlande et au Royaume-Uni, lorsque mâles entiers et femelles sont élevés en groupe distincts, la séquence alimentaire n'est pas modifiée d'une case à l'autre selon le sexe des animaux. En France, l'alimentation à la case avec des aliments différents est possible avec une distribution en soupe, le nombre de menus différents étant fortement contraint par le nombre de cases concernées par chaque distribution afin de ne pas perdre en précision (Mauvertuis *et al.*, 2020).

Quand la même stratégie d'alimentation est appliquée à toutes les cases, le seul avantage de la séparation des sexes dans ces élevages est de pouvoir vider les cases de mâles plus tôt, car ces derniers atteignent leur poids d'abattage cible plus tôt que les femelles (Quiniou *et al.*, 2010), ou de les abattre plus lourds que les femelles à un âge d'abattage donné. Un autre avantage de séparer les mâles entiers des femelles est que celui d'éviter la possibilité que les femelles soient gestantes au moment de l'abattage, ce qui peut être un problème lorsque les porcs sont abattus à des poids particulièrement élevés et sont donc plus âgés et plus matures à l'abattage.

Le différentiel de croissance et d'efficacité alimentaire entre les mâles entiers et les femelles implique que ces dernières pourraient être nourries avec des régimes moins riches en AA (Figure 2) voire en énergie. Si ces mesures sont mises en œuvre, sans tenir compte des coûts d'équipement supplémentaire pour le stockage d'aliment ou la distribution, elles peuvent réduire le coût alimentaire de ~2,4 centimes d'euros/kg de poids de carcasse sorti dans le contexte irlandais d'après Lawlor (2020). Dans le contexte français, en se référant uniquement à la teneur en AA, alimenter les femelles avec un aliment moins concentré que celui permettant de couvrir le besoin des mâles permettrait de réduire le coût alimentaire de ~0,5 centimes d'euros/kg de carcasse (pour un écart de 4 €/tonne entre les deux types d'aliment, outil Sim'Alter, 2021).

Allen *et al.* (2001) ont recommandé aux producteurs de porcs irlandais d'élever les mâles entiers en groupes mixtes, sur des caillebotis intégraux et de les nourrir avec des aliments à teneur réduite en protéines brutes, sous forme liquide afin de réduire le risque d'odeurs de verrat. Les résultats de travaux plus récents s'accordent ou pas avec ces recommandations, selon le critère considéré. Ainsi, concernant la composition des groupes, Courboulay *et al.* (2014) ont également rapporté un risque d'odeurs moins élevé quand les mâles sont élevés en groupes mixtes, en relation avec une teneur en androsténone moins élevée dans le gras.

A partir d'une enquête réalisée sur le niveau de risque d'odeurs de lots de porcs en provenance de 22 fermes aux Pays-Bas, Heyrman *et al.* (2021) n'ont pas pu confirmer l'avantage de la soupe sur l'alimentation à sec ou d'un mode de présentation de l'aliment par rapport à un autre. En revanche, ces auteurs ont rapporté que les lots de porcs nourris avec un régime finition à faible teneur en protéines présentaient un risque plus élevé d'odeurs de verrat. Sans plus d'information sur les caractéristiques des aliments, ils attribuent cet effet négatif à une digestibilité iléale inférieure des protéines (favorisant l'arrivée de tryptophane dans le gros intestin et son utilisation bactérienne par la voie protéolytique) et à des performances de croissance pénalisées par une moindre rétention de protéines. Cela permet d'insister sur les précautions nécessaires à prendre pour formuler des aliments à basse teneur en protéines pour le mâle entier. Pour une teneur en AA essentielle donnée et une teneur en EN donnée, il est recommandé de veiller à rajouter des contraintes de formulation sur la teneur en fibres fermentescibles afin d'orienter le métabolisme bactérien vers l'incorporation du tryptophane dans sa biomasse. Ainsi, Quiniou et Chevillon (2015) ont comparé des aliments croissance-finition iso-EN (9,7 MJ/kg) formulés pour une teneur en protéines inférieure de 20 g/kg aux aliments témoins, mais

présentant la même teneur en  $LYS_{DIS}$  (0,84 et 0,71 g/MJ EN, respectivement dans les aliments croissance-finition) et en fibres fermentescibles (146 et 137 g/kg). Des performances identiques (GMQ, IC, TMP) ont été obtenues, sans risque accru d'odeur de verrat liée au scatol, et une proportion plus élevée de porcs à très faible teneur en androsténone.

### 8.5. Non castration et jeunement avant l'abattage

La demi-vie du scatol est relativement courte. L'ajeunement réalisé avant le départ pour l'abattoir permet de limiter la production du scatol et d'envisager une diminution de la teneur en scatol dans le gras à la toute fin de l'engraissement et du risque d'odeur lié à ce composant. D'après les résultats de l'enquête réalisée par van Wagenberg *et al.* (2013) à partir de lots de porcs tracés depuis leur élevage d'origine jusqu'à l'abattoir, l'ajeunement doit durer au moins 6 heures pour abaisser le risque d'odeur lié au scatol. Kjeldsen (1993) portent cette durée à 12 heures. En France, une durée d'ajeunement de 12 heures avant la montée dans le camion est recommandée pour limiter la mortalité pendant le transport et elle ne doit pas dépasser 24 heures avant l'abattage conformément à la réglementation. En pratique, les animaux se retrouvent dans une situation où ils sont privés d'aliment à un stade où leur niveau d'ingestion est habituellement élevé. Cela perturbe leur comportement, et la faim peut provoquer une escalade des comportements de monte et des agressions.

## CONCLUSION

Cette revue décrit les différentes voies à explorer pour adapter l'alimentation aux différentes problématiques de l'élevage des mâles entiers et des porcs immuno-castrés. L'objectif de ces stratégies est d'exploiter les gains de croissance et d'efficacité de ces animaux à potentiel de croissance et rendement nutritionnel plus élevés que ceux des mâles castrés chirurgicalement. Parallèlement, avec le même régime alimentaire, les producteurs devraient pouvoir atteindre de faibles niveaux d'odeur de verrat, une teneur en lipides intramusculaire suffisante et un tissu adipeux adapté à la transformation ou à la maturation de la viande. Avons-nous les solutions pour tout cela ? Nous avons les principales pièces du puzzle, mais il faut encore les exploiter davantage. En effet, les résultats disponibles ne sont pas toujours cohérents en raison de divers facteurs, tels que le type de race ou de croisement, les conditions d'élevage et les régimes alimentaires. À l'avenir, il faudra adopter une approche plus globale qui tienne compte de l'impact de l'ensemble du régime alimentaire, avec tous ses avantages sur les performances, le risque d'odeurs, la qualité des produits, le bien-être, la santé et, bien sûr, la rentabilité.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les experts scientifiques du COST IPEMA soutenu par l'Union Européenne qui ont participé aux travaux sur les alternatives à la castration des porcs mâles, en particulier sur le volet alimentaire : Hanne Maribo (Pig Research Center, Danemark), Galia Zamaratskaia (Université d'Uppsala, Suède) et Peadar Lawlor (Teagasc, Irlande) et souhaitent témoigner leur reconnaissance à Ulrike Weiler (13/11/1956 - 26/07/2020) pour son implication sans relâche dans le pilotage du COST IPEMA.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aaslyng M.D., Støier S., Lund B.W., Nielsen D.B., 2019. Slaughtering of entire male pigs seen from the slaughterhouse perspective. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 333, 012003.
- Allen P., Joseph R., Lynch B., 2001. Reducing the incidence of boar taint in Irish pigs. Final Report Project Armis No. 4404, The National Food Centre Teagasc, Dublin, Irlande. 18 p. (<https://t-stor.teagasc.ie/bitstream/handle/11019/118/Report%2033.pdf?sequence=1>)
- Aluwé M., Heyrman E., Theis S., Sieland C., Thurman K., Millet S., 2017. Chicory fructans in pig diet reduce skatole in back fat of entire male pigs. Res. Vet. Sci., 115, 340-344.
- Aymerich P., Soldevila C., Bonet J., Farré M., Gasa J., Coma J., Solà-Oriol D., 2020. Interrelationships between sex and dietary lysine on growth performance and carcass composition of finishing boars and gilts. Transl. Anim. Sci., 4, 1-13.
- Aymerich P., Tokach M.D., Drits S.S., Gasa J., Coma J., Solà-Oriol D., 2021. Lysine requirement of finishing boars and gilts: a meta-analysis. Animal, 15, 100218.
- Bahelka I., Bučko O., Flák P., 2021. Can hydrolysable tannins in diet of entire male pigs affect carcass, pork quality traits, amino and fatty acid profiles, and boar taint, skatole and androstenone levels? Animals, 11, 896.
- Batorek N., Candek-Potokar M., Bonneau M., van Milgen J., 2012. Meta-analysis of the effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint compounds in pigs. Animal, 6, 1330-1338.
- Bedford A., Gong J., 2018. Implications of butyrate and its derivatives for gut health and animal production. Anim. Nutr., 4, 151-159.
- Bee G., Gebert S., Messikommer R., 2002. Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose and lean tissues and lipogenesis in the pig. J. Anim. Sci., 80, 1564-1574.
- Bee G., Chevillon P., Bonneau M., 2015. Entire male pig production in Europe. Anim. Prod. Sci., 55, 1347-1359.
- Bee G., Silacci P., Ampuero-Kragten S., Candek-Potokar M., Wealleans A., Litten-Brown J., Salminen J., Mueller-Harvey I., 2016. Hydrolysable tannin-based diet rich in gallotannins has a minimal impact on pig performance but significantly reduces salivary and bulbourethral gland size. Animal, 11, 1617-1625.
- Biagia G., Cipollini I., Paulicks B.R., Roth F.X., 2010. Effect of tannins on growth performance and intestinal ecosystem in weaned piglets. Arch. Anim. Nutr., 64, 121-135.
- Bikker P., Karabinas V., Verstegen M.W., Campbell R.G., 1995. Protein and lipid accretion in body components of growing gilts (20 to 45 kilograms) as affected by energy intake. J. Anim. Sci., 73, 2355-2363.
- Bilić-Šobot D., Kubale V., Škrlep M., Čandek-Potokar M., Prevolnik Povše M., Fazarinc G., Škorjanc D., 2016. Effect of hydrolysable tannins on intestinal morphology, proliferation and apoptosis in entire male pigs. Arch. Anim. Nutr., 70, 378-388.
- Black J., Campbell R., Williams I., James K., Davies G., 1986. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. Res. Devel. Agr., 3, 121-145.
- Bonneau M., Walstra P., Claudi-Magnussen C., Kempster A.J., Tornberg E., Fischer K., Diestre A., Siret F., Chevillon P., Claus R., Dijksterhuis G., Punter P., Matthews K.R., Agerhem H., Béague M.P., Oliver M.A., Gispert M., Weiler U., Von Seth G., Leask H., Font I Furnols M., Homer D.B., Cook G.L., 2000. An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: IV. Simulation studies on consumer dissatisfaction with entire male pork and the effect of sorting carcasses on the slaughter line, main conclusions and recommendations. Meat Sci., 54, 285-295.
- Boyle L., Björklund L., 2007. Effects of fattening boars in mixed or single sex groups and split marketing on pig welfare. Anim. Welf., 16, 259-262.
- Brunius C., Zamaratskaia G., Andersson K., Chen G., Norrby M., Madej A., Lundström K., 2011. Early immunocastration of male pigs with Improvac®—Effect on boar taint, hormones and reproductive organs. Vaccine, 29, 9514-9520.
- Büniger B., Schrader L., Schrader H., Zacharias B., 2015. Agonistic behaviour, skin lesions and activity pattern of entire male, female and castrated male finishing pigs. Appl. Anim. Behav. Sci., 171, 64-68.
- Čandek-Potokar M., Škrlep M., Batorek Lukač N., Zamaratskaia G., Prevolnik Povše M., Velikonja Bolta Š., Kubale V., Bee G., 2015. Hydrolysable tannin fed to entire male pigs affects intestinal production, tissue deposition and hepatic clearance of skatole. Vet. J., 204, 162-167.
- Claus R., Lösel D., Lacorn M., Mentschel J., Schenkel H., 2003. Effects of butyrate on apoptosis in the pig colon and its consequences for skatole formation and tissue accumulation. J. Anim. Sci., 81, 239-248.
- Courboulay V., Quiniou N., Goues T., Chevillon P., 2013. Incidence des conditions d'élevage sur le comportement et le risque de blessures chez les porcs mâles entiers Journées Rech. Porcine, 45, 69-70.
- Courboulay V., Leroy C., Poissonnet A., Chevillon, Quiniou N., 2014. Influence de la composition du groupe en engraissement (mixte ou unisexe) et du nombre de départs à l'abattoir sur le comportement et les performances des porcs et le risque d'odeurs des viandes de mâles entiers. Journées Rech. Porcine, 45, 255-260.
- Cronin G., Dunshea F., Butler K., McCauley I., Barnett J., Hemsworth P., 2003. The effects of immuno- and surgical-castration on the behaviour and consequently growth of group-housed, male finisher pigs. Appl. Anim. Behav. Sci., 81, 111-126.
- den Besten G., van Eunen K., Groen A.K., Venema K., Reijngoud D.J., Bakker B.M., 2013. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. J. Lipid. Res., 54, 2325-2340.
- Dunshea F.R., Colantoni C., Howard K., McCauley I., Jackson P., Long K.A., Lopatnicki S., Nugent E.A., Simons J.A., Walker J., Hennessy D.P., 2001. Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. J. Anim. Sci., 79, 2524-2535.
- Dunshea F.R., Allison J.R., Bertram M., Boler D.D., Brossard L., Campbell R., Crane J.P., Hennessy D.P., Huber L., de Lange C., Ferguson N., Matzat P., McKeith F., Moraes P.J., Mullan B.P., Noblet J., Quiniou N., Tokach M., 2013. The effect of immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: a review. Animal, 7, 1769-1778.
- Elsbernd A.J., Stalder K.J., Karriker L.A., Patien J.F., 2015. Comparison among gilts, physical castrates, entire males, and immunological castrates in terms of growth performance, nitrogen and phosphorus retention, and carcass fat iodine value. J. Anim. Sci., 93, 5702-5710.
- Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebreton B., 1999. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat - 2. Consumer acceptability of *m. longissimus lumborum*. Meat Sci., 53, 67-72.
- Font-I-Furnols M., Brun A., Gispert M., 2019. Intramuscular fat content in different muscles, locations, weights and genotype-sexes and its prediction in live pigs with computed tomography. Animal, 13, 666-674.
- Gao J., Xu K., Liu H., Liu G., Bai M., Peng C., Li T., Yin Y., 2018. Impact of the gut microbiota on intestinal immunity mediated by tryptophan metabolism. Front. Cell. Infect. Microbiol., 8, 13.
- Girard M., Bee G., 2020. Invited review: tannins as a potential alternative to antibiotics to prevent coliform diarrhea in weaned pigs. Animal, 14, 95-107.
- Girard M., Thanner S., Pradervand N., Hu D., Ollagnier C., Bee G., 2018. Hydrolysable chestnut tannins for reduction of postweaning diarrhea: Efficacy on an experimental ETEC F4 model. PLOS ONE, 13, e0197878.
- Girard M., Hu D., Pradervand N., Neuenschwander S., Bee G., 2020. Chestnut extract but not sodium salicylate decreases the severity of diarrhea and enterotoxigenic *Escherichia coli* F4 shedding in artificially infected piglets. PLOS ONE, 15, e0214267.
- Hadorn R., Eberhard P., Guggisberg D., Piccinalli P., Schlichtherle-Cerny H., 2008. Effect of fat score on the quality of various meat products. Meat Sci., 80, 765-770.
- Hanrahan T., 1980. Relative performance of boars, gilts and castrates. Report, Dunsinea, Moorepark and Western Research Centres, Dublin, Ireland, 67 p.
- Heyrman E., Millet S., Tuytens F.A.M., Ampe B., Janssens S., Buys N., Wauters J., Vanhaecke L., Aluwé M., 2021. On-farm prevalence of and potential risk factors for boar taint. Animal, 15, 100141.

- Holinger M., Hillmann E., Früh B., 2014. Prevalence of injuries and the resulting requirements in housing conditions of entire male pigs. *Tieraerztl. Umsch.*, 69, 235-239.
- Holinger M., Früh B., Hillmann E., 2015. Group composition for fattening entire male pigs under enriched housing conditions-Influences on behaviour, injuries and boar taint compounds. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 165, 47-56.
- Holinger M., Früh B., Stoll P., Pedan V., Kreuzer M., Bérard J., Hillmann E., 2018. Long-term effects of castration, chronic intermittent social stress, provision of grass silage and their interactions on performance and meat and adipose tissue properties in growing-finishing pigs. *Meat Sci.*, 145, 40-50.
- Huber L., Squires E.J., de Lange C.F.M., 2013. Dynamics of nitrogen retention in entire male pigs immunized against gonadotropin-releasing hormone. *J. Anim. Sci.*, 91, 4817-4825.
- IPEMA Core Group, 2019. Fiche d'information : production de porcs immuno-castrés. 4 p ([www.ca-ipema.eu/papers](http://www.ca-ipema.eu/papers))
- Jensens M.T., Cox R.P., Jensen B.B., 1995. 3-Methylindole (skatole) and indole production by mixed populations of pig fecal bacteria. *Appl. Environm. Microbiol.*, 61, 3180-3184.
- Kjeldsen N., 1993. Practical experience with production and slaughter of entire male pigs. In: M. Bonneau (Ed), Measurement and prevention of boar taint in entire male pigs, 60, 137-144.
- Lawlor P.G., 2020. Management of male and female finisher pigs. *Teagasc Pig Advisory Newsletter*, March 2020, 11.
- Lawlor P.G., Lynch P.B., Mullane J., Kerry J.P., Hogan S.A., Allen P., 2005. Enhancement of pigmeat quality by altering pre-slaughter management. End of Project Report 4939. 66 p.
- Lealiifano A., Pluske J.R., Nicholls R., Dunshea F., Campbell R.G., Hennessy D., Miller D., Hansen C.F., Mullan B., 2011. Reducing the length of time between slaughter and the secondary gonadotropin-releasing factor immunization improves growth performance and clears boar taint compounds in male finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 89, 2782-2792.
- Lebreton B., 2008. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal*, 2, 1548-1558.
- Lebreton B., Juin H., Noblet J., Bonneau M., 2001. The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat sensory quality in pigs. *Anim. Sci.*, 72, 87-94.
- Lepczyński A., Herosimczyk A., Ożgo M., Marynowska M., Pawlikowska M., Barszcz M., Taciak M., Skomił J., 2017. Dietary chicory root and chicory inulin trigger changes in energetic metabolism, stress prevention and cytoskeletal proteins in the liver of growing pigs—a proteomic study. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 101, e225-e236.
- Li X., Jensen R.L., Højberg O., Canibe N., Jensen B.B., 2015. *Olsenella scatoligenes* sp. nov., a 3-methylindole- (skatole) and 4-methylphenol- (*p*-cresol) producing bacterium isolated from pig faeces. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 65, 1227-1233.
- Li X., Jensen B.B., Canibe N., Nohji H., 2019. The mode of action of chicory roots on skatole production in entire male pigs is neither via reducing the population of skatole-producing bacteria nor via increased butyrate production in the hindgut. *Appl. Environ. Microbiol.*, 85, e02327-02318.
- Lundstöröm K., Matthews K.R., Haugen J.E., 2009. Pig meat quality from entire males. *Animal*, 3, 1497-1507.
- Maribo H., Christiansen M., 2013. Economy in production of entire males. Rapport 984, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark, 16 p.
- Maribo H., Claudi-Magnussen C., Jensen B.B., 2010. Effect of 15% dried chicory root in feed for male pigs. Rapport 876, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark ([https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu\\_medd/2010/876](https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/lu_medd/2010/876))
- Maribo H., Møller H., Thoning H., 2015a. Male pigs grow faster increasing the protein and energy level in the diet. Rapport 1061, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark, 11 p.
- Maribo H., Jensen B.B., Thoning H., 2015b. Fibres reduces skatol in male pigs. Rapport 1055, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark, 13 p.
- Martinez-Ramirez H.R., Jeaurond E.A., de Lange C.F.M., 2008. Dynamics of body protein deposition and changes in body composition after sudden changes in amino acid intake: II. Entire male pigs. *J. Anim. Sci.*, 86, 2168-2179.
- Maupertuis F., Olivier D., Quiniou N., 2020. Mise en œuvre d'un programme d'alimentation multiphase en soupe pour une moindre utilisation de protéines par les porcs charcutiers. *Journées Rech. Porcine*, 52, 69-74.
- Mølbak L., Thomsen L., Jensen T.K., Bach Knudsen K., Boye M., 2007. Increased amount of *Bifidobacterium thermacidophilum* and *Megasphaera elsdenii* in the colonic microbiota of pigs fed a swine dysentery preventive diet containing chicory roots and sweet lupine. *J. Appl. Microbiol.*, 103, 1853-1867.
- Møller S., Maribo H., 2013. 4 days feeding with pure grain before slaughter reduces skatol in male pigs. Rapport 989, Videncenter for Svineproduktion, Foulum, Denmark, 8 p.
- Moore K.L., Mullan B.P., Campbell R.G., Kim J.C., 2013. The response of entire male and female pigs from 20 to 100-kg liveweight to dietary available lysine. *Anim. Prod. Sci.*, 53, 67-74.
- Moore K.L., Mullan B.P., Kim J.C., Dunshea F.R., 2016. Standardized ileal digestible lysine requirements of male pigs immunized against gonadotropin releasing factor. *J. Anim. Sci.*, 94, 1982-1992.
- Mourou J., Lebreton B., 2009. Modulation de la qualité de la viande de porc par l'alimentation. *INRA Prod. Anim.*, 22, 33-40.
- Needham T., Hoffman L.C., Gous R.M., 2017. Growth responses of entire and immunocastrated male pigs to dietary protein with and without ractopamine hydrochloride. *Animal*, 11, 1482-1487.
- Noblet J., Karege C., Dudois S., 1994. Prise en compte de la variabilité de la composition corporelle pour la prévision du besoin énergétique et de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 26, 267-276.
- Nofrarias M., Martínez-Puig D., Pujols J., Majó N., Pérez J.F., 2007. Long-term intake of resistant starch improves colonic mucosal integrity and reduces gut apoptosis and blood immune cells. *Nutrition*, 23, 861-870.
- Overland M., Kjos N.K., Fauske A.K., Teige J., Sorum H., 2011. Easily fermentable carbohydrates reduce skatole formation in the distal intestine of entire male pigs. *Livest. Sci.*, 140, 206-217.
- Parois S., Bonneau M., Chevillon P., Larzul C., Quiniou N., Robic A., Prunier A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. *INRA Prod. Anim.*, 31, 23-36.
- Pauly C., Spring P., Doherty J.V., Ampuero Kragten S., Bee G., 2008. Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal*, 2, 1707-1715.
- Pauly C., Luginbuhl W., Ampuero S., Bee G., 2012. Expected effects on carcass and pork quality when surgical castration is omitted--results of a meta-analysis study. *Meat Sci.*, 92, 858-862.
- Pieper R., Boudry C., Bindelle J., Vahjen W., Zentek J., 2014. Interaction between dietary protein content and the source of carbohydrates along the gastrointestinal tract of weaned piglets. *Arch. Anim. Nutr.*, 68, 263-280.
- Poklukar K., Čandek-Potokar M., Vrecl M., Batorek-Lukač N., Fazarinc G., Kress K., Weiler U., Stefanski V., Škrlep M., 2021. The effect of immunocastration on adipose tissue deposition and composition in pigs. *Animal*, 15, 100118.
- Poulsen Nautrup B., van Vlaenderen I., Aldaz A., Mah C.K., 2018. The effect of immunization against gonadotropin-releasing factor on growth performance, carcass characteristics and boar taint relevant to pig producers and the pork packing industry: a meta-analysis. *Res. Vet. Sci.*, 119, 182-195.
- Quiniou N., Boutry C., 2016. Performances technico-économiques et environnementales des porcs quand la teneur en protéines des aliments biphasé s'ajuste sous les normes CORPEN lors de la formulation. *Journées Rech. Porcine*, 48, 141-142.
- Quiniou N., Noblet J., 2012. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually. *J. Anim. Sci.*, 90, 4362-4372.

- Quiniou N., Chevillon P., 2015. Performances de croissance et risques d'odeurs de verrat de porcs mâles entiers selon les apports alimentaires en acides aminés essentiels ou en protéines. Journées Rech. Porcine, 47, 69-74.
- Quiniou N., Dourmad J.Y., Noblet J., 1996. Effect of energy intake on the performance of different types of pigs from 45 to 100 kg body weight: 1. Protein and lipid deposition. Anim. Sci., 63, 277-288.
- Quiniou N., Courboulay V., Salaün Y., Chevillon P., 2010. Conséquences de la non castration des porcs mâles sur les performances de croissance et le comportement : comparaison avec les mâles castrés et les femelles. Journées Rech. Porcine, 42, 113-118.
- Quiniou N., Monziols M., Colin F., Goues T., Courboulay V., 2012. Effect of feed restriction on the performance and behaviour of pigs immunologically castrated with Improvac®. Animal, 6, 1420-1426.
- Quiniou N., Courboulay V., Goues T., Le Roux A., Chevillon P., 2013. Incidence des conditions d'élevage sur les performances de croissance, les caractéristiques de carcasse et le risque d'odeur des porcs mâles entiers. Journées Rech. Porcine, 45, 57-62.
- Quiniou N., Valable A.S., Lebas N., Courboulay V., 2017. Effet du niveau d'ingestion et de la teneur en énergie de l'aliment sur les performances de croissance, le comportement et le risque d'odeurs sexuelles du porc mâle entier. Journées Rech. Porcine, 49, 81-86.
- Quiniou N., Renaudeau D., Daumas G., 2021. Influence du rationnement et de la couverture des besoins en acides aminés sur les performances du porc en croissance selon les conditions climatiques. Journées Rech. Porcine, 53, 169-174.
- Rasmussen M.K., Zamaratskaia G., 2014. Regulation of porcine hepatic cytochrome P450—implication for boar taint. Comput. Structur. Biotechnol. J., 11, 106-112.
- Rasmussen M.K., Zamaratskaia G., Ekstrand B., 2011. *In vivo* effect of dried chicory root (*Cichorium intybus* L.) on xenobiotica metabolising cytochrome P450 enzymes in porcine liver. Toxicol. Lett., 200, 88-91.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M., Boillat V., Spring P., Bee G., 2017. Impact of amino acid and CP restriction from 20 to 140 kg BW on performance and dynamics in empty body protein and lipid deposition of entire male, castrated and female pigs. Animal, 11, 394-404.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M., Bee G., 2019. Dietary crude protein and amino acid restriction has a different impact on the dynamic of protein, amino acid and fat deposition in entire male, castrated and female pigs. Animal, 13, 74-82.
- Sachar M., Ma X., 2013. Nuclear receptors in herb-drug interactions. Drug Metab. Rev., 45, 73-78.
- Scheeder M.R.L., Gläser K.R., Schwörer D., Wenk C., 1998. Oxidative stability and texture properties of fermented sausage produced from pork differing in fatty acid composition. In: Proc. of the 44<sup>th</sup> ICoMST, Barcelone, Espagne.
- Scheeder M.R.L., Gläser K.R., Eichenberger B., Wenk C., 2000. Influence of different fats in pig feed on fatty acid composition of phospholipids and physical meat quality characteristics. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 102, 391-401.
- Seoni E., Battacone G., Ampuero Kragten S., Dohme-Meier F., Bee G., 2021. Impact of increasing levels of condensed tannins from sainfoin in the grower-finisher diets of entire male pigs on growth performance, carcass characteristics, and meat quality. Animal, 15, 100110.
- Sim'Alter, 2021. Module GTdirect d'évaluation de l'incidence d'un arrêt de la castration sur le résultat économique de l'élevage de porc. <https://gtdirect.ifip.asso.fr/>
- Simopoulos A., 2000. Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids. Poultry Sci., 79, 961-970.
- Squires E., Young L., Hacker R., Adeola O., 1993. The role of growth hormones,  $\beta$ -adrenergic agents and intact males in pork production: a review. Can. J. Anim. Sci., 73, 1-23.
- Squires E.J., Bone C., Cameron J., 2020. Pork production with entire males: directions for control of boar taint. Animals, 10, 1665.
- Stoll P., 2016. Fütterungsempfehlung Fettqualität beim Schwein. In: I.F. Agrarwissenschaften (Eds), Umdenken in der Eiweissversorgung der Nutztiere, ETH-Zurich, Suisse, 200-202.
- Sun T., Lærke H.N., Jørgensen H., Bach Knudsen K.E., 2006. The effect of extrusion cooking of different starch sources on the *in vitro* and *in vivo* digestibility in growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 131, 66-85.
- Tan J., McKenzie C., Potamitis M., Thorburn A.N., Mackay C.R., Macia L., 2014. The role of short-chain fatty acids in health and disease. Adv. Immunol., 121, 91-119.
- Teagasc, 2020. National herd performance report 2019. Report, Teagasc Head Office, Carlow, Ireland, 18 p.
- Tretola M., Maghin F., Silacci P., Ampuero S., Bee G., 2019. Effect of supplementing hydrolysable tannins to a grower-finisher diet containing divergent PUFA levels on growth performance, boar taint levels in back fat and intestinal microbiota of entire males. Animals, 9, 1063.
- Tuśnio A., Barszcz M., Świąch E., Skomiał J., Taciak M., 2020. Large intestine morphology and microflora activity in piglets fed diets with two levels of raw or micronized blue sweet lupin seeds. Livest. Sci., 240, 104137.
- Uerlings J., Schroyen M., Willems E., Tanghe S., Bruggeman G., Bindelle J., Everaert N., 2020. Differential effects of inulin or its fermentation metabolites on gut barrier and immune function of porcine intestinal epithelial cells. J. Funct. Foods, 67, 103855.
- van Milgen J., Quiniou N., Noblet J., 2000. Modelling the relation between energy intake and protein and lipid deposition in growing pigs. Anim. Sci., 71, 119-130.
- van Wagenberg C.P.A., Snoek H.M., van der Fels J.B., van de Peet-Schwering C.M.C., Vermeer H.M., Heres L., 2019. Farm and management characteristics associated with boar taint. Animal, 7, 1841-1848.
- von Borell E., Bonneau M., Holinger M., Prunier A., Stefanski V., Zöls S., Weiler U., 2020. Welfare aspects of raising entire male pigs and immunocastrates. Animals, 10, 2140.
- Vhile S.G., Kjos N.P., Sørum H., Øverland M., 2012. Feeding Jerusalem artichoke reduced skatole level and changed intestinal microbiota in the gut of entire male pigs. Animal, 6, 807-814.
- Weiler U., Götz M., Schmidt A., Otto M., Müller S., 2013. Influence of sex and immunocastration on feed intake behavior, skatole and indole concentrations in adipose tissue of pigs. Animal, 7, 300-308.
- Wesoly R., Weiler U., 2012. Nutritional influences on skatole formation and skatole metabolism in the pig. Animals, 2, 221-242.
- Whitehead T.R., Price N.P., Drake H.L., Cotta M.A., 2008. Catabolic pathway for the production of skatole and indoleacetic acid by the acetogen *Clostridium drakei*, *Clostridium scatologenes*, and swine manure. Appl. Environ. Microbiol., 74, 1950-1953.
- Whitfield-Cargile C.M., Cohen N.D., Chapkin R.S., Weeks B.R., Davidson L.A., Goldsby J.S., Hunt C.L., Steinmeyer S.H., Menon R., Suchodolski J.S., 2016. The microbiota-derived metabolite indole decreases mucosal inflammation and injury in a murine model of NSAID enteropathy. Gut Micr., 7, 246-261.
- Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Sheard P.R., Richardson R.I., Hughes S.I., Whittington F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. Meat Sci., 78, 343-358.
- Zamaratskaia G., Squires E.J., 2009. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. Animal, 3, 1508-1521.
- Zamaratskaia G., Maribo H., Canibe N., Milet S., Quiniou N., Bee G., 2018. Ipema Deliverables 3 e. - Created and published list of feed ingredients with boar taint reducing capacities (WG2). Consulté le 22 octobre 2018 (<https://zenodo.org/record/1460483#.YUg6q7gza70>)
- Zhou L., Fang L., Sun Y., Su Y., Zhu W., 2017. Effects of a diet high in resistant starch on fermentation end-products of protein and mucin secretion in the colons of pigs. Starch/Stärke, 69, 1600032.

# Estimation de la valeur nutritive de sources de phosphore d'origines minérale et animale pour la supplémentation des porcs en engraissement

Anne BOUDON (1), Agnès NARCY (2), Etienne LABUSSIÈRE (1), Carine A. VAN VUURE (3), Jean-Yves DOURMAD (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles, France

(2) INRAE, Université de Tours, BOA, 37380 Nouzilly, France

(3) Darling Ingredients, SONAC, Kanaaldijk Noord 20, 5691NM Son, Pays-Bas

Anne.boudon@inrae.fr

Avec la collaboration technique de Fabien GUERIN (UE 3P), Vincent PIEDVACHE (UE 3P), Nathalie MEME (UMR BOA), Maryline LEMARCHAND (UMR PEGASE), Cécile PERRIER (UMR PEGASE), Gwenola LE ROY (UMR PEGASE).

## Estimation de la valeur nutritive de sources de phosphore d'origines minérale et animale pour la supplémentation des porcs et en engraissement

L'utilisation de phosphates d'origine animale pour la complémentation minérale des porcs pourrait être une source de recyclage des os d'animaux abattus en bonne santé et poserait moins de risques d'approvisionnement que les phosphates issus de roches phosphatées. L'objectif de cette étude était de comparer la digestibilité de phosphates issus d'os, selon deux procédés, à celles de deux formes dominantes de phosphates issus de roches. Les digestibilités et les rétentions corporelles du phosphore (P) et du calcium ont été comparées sur 35 porcs en croissance (poids vif de 30,6 kg) répartis entre cinq régimes expérimentaux. Le régime témoin a été formulé avec une faible teneur en P. Les quatre autres régimes étaient supplémentés pour aboutir à des teneurs en P similaires pour les quatre régimes, et sensiblement inférieures aux recommandations afin de maximiser l'absorption du P. Quatre phosphates ont été comparés : phosphate monocalcique (PMC), phosphate bicalcique (PBC), phosphate dérivé d'os de bovins après extraction acide (PBC-Os) et phosphate dérivé d'os de porc après traitement sous pression (PHA-Os). La digestibilité du P des régimes a été plus élevée pour MCP, plus faible pour le témoin, DCP et PHA-Os, et intermédiaire pour PBC-Os ( $P$ -value < 0,001). La digestibilité de P supplémenté n'a pas été différente pour MCP et PBC-Os (78,3 et 63,8%, respectivement) mais elle a été inférieure pour DCP (45,4%) et PHA-Os (47,5%) par rapport à MCP ( $P$ -value < 0,001). Ainsi, les phosphates dérivés d'os peuvent être utilisés pour remplacer les phosphates MCP et DCP pour la supplémentation en P des porcs. Cette étude illustre également que le procédé d'extraction des phosphates des os est sans doute susceptible de moduler leur valeur nutritive.

## Estimating the nutritional value of phosphorus sources of mineral and animal origin for phosphorus supplementation of growing and fattening pigs

Using animal-derived phosphates for mineral supplementation of pigs could be a way to recycle bones from healthy slaughtered animals and provide a more sustainable supply of phosphates than phosphate rock. The objective of this study was to compare the digestibility of phosphates from bone, using two methods, to those of the two main forms of phosphate from rock. The digestibility and body retention of phosphorus (P) and calcium were compared in 35 growing pigs (live weight of 30.6 kg) distributed over 5 experimental diets. The control diet was formulated with a low content of P. The other four diets were supplemented to yield P contents that were similar to each other, but lower than recommended, to maximize the absorption of P. The four phosphates compared were monocalcium phosphate (MCP), dicalcium phosphate (DCP), phosphate derived from bovine bone after acid extraction (PBC-Os) and phosphate derived from pig bone after pressure treatment (PHA-Os). The digestibility of the P of the diets was higher for MCP; lower for the control, DCP and PHA-Os; and intermediate for PBC-Os ( $P$ -value < 0.001). The digestibility of supplemented P did not differ for MCP and PBC-Os (78.3% and 63.8%, respectively) but was lower for DCP (45.4%) and PHA-Os (47.5%) than for MCP ( $P$ -value < 0.001). Thus, bone-derived phosphates can be used to replace MCP and DCP phosphates for P supplementation in pigs. This study also illustrates that the process of extracting phosphates from bones is likely to modify their nutritional value.

## INTRODUCTION

La supplémentation minérale des porcs en engraissement vise à optimiser leurs performances de croissance et leur efficacité alimentaire (Jondreville et Dourmad, 2005 ; Bikker et Blok, 2017). Pour le phosphore (P), cette supplémentation est aussi raisonnée de manière à limiter les rejets de P dans l'environnement, majoritairement d'origine fécale. Ceci est permis en ajustant l'apport de P digestible aux besoins des animaux, ce qui nécessite d'estimer le plus précisément possible la digestibilité du P dans l'aliment. De plus, le choix, pour la supplémentation, de sources de P maximisant la digestibilité est un levier pour réduire les rejets. Aujourd'hui, la supplémentation en P se fait majoritairement à partir de sources minérales issues de roches phosphatées, avec un enjeu spécifique de pérennité de l'approvisionnement. Des phosphates d'origine animale, notamment d'os, pourraient représenter une voie de recyclage des os d'animaux sains abattus. Cependant, leur digestibilité peut varier selon leur mode de préparation, ce qui a été montré chez le poulet (van Harn *et al.*, 2017).

Le but de cette étude était de comparer, chez le porc en croissance, la digestibilité de phosphates d'origine osseuse, à celles des deux formes dominantes de phosphate extraits des roches, c'est-à-dire un phosphate monocalcique et un phosphate bicalcique.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Traitements et schéma expérimental

Cinq régimes expérimentaux ont été comparés (Tableau 1). Le régime témoin consistait en un régime semi-synthétique à très faible teneur en P. Les quatre autres régimes correspondaient au régime témoin supplémenté avec 0,23 % de P sous forme de phosphate monocalcique (PMC), de phosphate bicalcique (PBC) ou de deux phosphates issus d'os. Le premier était un phosphate bicalcique dihydraté (PBC-Os ; Delfos®, Darling Ingredient; Rousselot, Isle-sur-la-Sorgue, France). Il avait été obtenu après broyage, dégraissage et trempage pendant 5 jours dans une solution d'acide chlorhydrique d'os de bovins. Ce traitement avait pour but d'isoler la gélatine des phosphates, qui ont ensuite été précipités par addition d'hydroxyde de calcium (chaux). Le second était un phosphate sous forme d'hydroxyapatite (PHA-Os ; Calfos®, Darling Ingredients, SONAC, Vuren, Pays-Bas). Il avait été obtenu après broyage grossier, dégraissage, cuisson sous forte pression pour retirer toute la gélatine et enfin broyage fin, d'os de porcs. Les phosphates ont été incorporés en substitution d'une partie de l'amidon et des carbonates. Les phosphates bicalciques ou tricalciques d'origine animale sont autorisés pour l'alimentation des non-ruminants par les Règlements UE no 1234/2003 du 10 juillet 2003 et 56/2013 du 16 janvier 2013, à condition qu'ils ne puissent pas, durant leur transport ou leur production, être au contact d'aliments destinés aux ruminants.

**Tableau 1** – Composition des régimes

	Témoin	PMC	PBC	PBC-Os	PHA-Os
<b>Matières premières (%)</b>					
Amidon de maïs	61,73	61,25	61,45	61,16	60,85
Saccharose	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Huile	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Caséinates de sodium	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Concentré de protéines de soja	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Pulpes de betterave	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Cellulose purifiée en poudre, Vitacel®	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
DL-méthionine	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
L-thréonine	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
NaCl	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
CaCO <sub>3</sub>	0,82	0,30		0,04	
Prémix oligoéléments et vitamines	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
PMC		1,00			
PBC			1,10		
Phosphate bicalcique dihydraté issu d'os, Delfos®				1,35	
Phosphate hydroxyapatite issu d'os, Calfos®					1,70,
<b>Composition nutritionnelle</b>					
Matière sèche, %	89,5	89,9	89,4	89,5	90,0
Matière organique, %	96,9	96,6	96,6	96,6	96,6
Matière azotée totale, %	14,06	14,03	14,19	14,79	13,52
Amidon, %	59,9	59,4	60,5	59,2	59,9
Energie brute, MJ/kg	18,8	18,4	18,5	18,3	18,8
Energie nette, MJ/kg (INRA-AFZ, 2004)	11,0	10,8	10,9	10,8	11,0
Fibres (Neutral Detergent Fiber), %	6,11	7,62	7,12	7,15	7,09
Fibres (Acid Detergent Fiber), %	2,86	3,86	3,54	3,54	4,01
Cellulose brute, %	2,45	2,65	2,90	2,84	2,58
P, g/kg (valeurs cibles attendues)	1,43 (1,31)	3,40 (3,28)	3,00 (3,28)	3,12 (3,28)	3,21 (3,28)
P digestible cible, g/kg	0,52	2,17	1,82	2,18	2,17
Ca, g/kg (valeurs cibles attendues)	7,63 (6,90)	7,67 (6,88)	7,07 (6,88)	7,15 (6,87)	8,10 (8,35)
Ca/P calculé après analyses	5,3	2,3	2,4	2,3	2,5

Les quatre régimes complétés en phosphates ont été formulés pour aboutir à des teneurs en P total similaires et un apport de P digestible sensiblement inférieur aux recommandations compte-tenu du poids des animaux (Jondreville et Dourmad, 2005 ; Bikker et Blok, 2017) de manière à obtenir des digestibilités du P élevées, non plafonnées par des apports de P excédentaires par rapport aux besoins. Les régimes témoin, PMC, PBC et PBC-Os ont été formulés pour obtenir des teneurs en Ca similaires. Le ratio Ca/P de ces régimes a été formulé pour être le plus faible possible compte tenu de celui des sources de phosphates comparés, afin de se rapprocher des recommandations (Pointillart *et al.*, 1987, Létourneau-Montminy *et al.*, 2012, Bikker et Blok, 2017). En raison de la teneur plus élevée en Ca de la source de phosphates PHA-Os, la teneur en Ca et le rapport Ca/P de ce régime étaient légèrement plus élevés. Tous les régimes ont été formulés pour des teneurs en énergie nette et en acides aminés conformes aux besoins des animaux.

L'étude a impliqué 35 porcs mâles entiers (Piétrain × (Large White × Landrace)) à raison de sept porcs par régime et des blocs de cinq demi-frères. Le poids vif des porcs lors de la mise en lot était de 30,6 (± 3,33) kg. L'essai a démarré le 19 août 2019. Après 2 semaines d'adaptation aux régimes expérimentaux et aux cages de digestibilité, la consommation alimentaire a été mesurée. Les fèces et urines ont été collectées pendant 5 jours. Afin de répartir les collectes dans le temps pour adapter le protocole au nombre de cages de digestibilité disponibles dans les salles de digestibilité, l'étude a consisté en deux répétitions successives, la première impliquant 15 porcs (trois porcs par régime) et la seconde 20 porcs (quatre porcs par régime).

## 1.2. Gestion de l'alimentation et logement

Les régimes étaient distribués sous forme de farine mélangée à de l'eau, en deux repas. Pendant la période de collecte, les quantités distribuées à chaque animal ont été fixées à des valeurs équivalentes aux consommations d'aliments observées pendant la période d'adaptation. Elles étaient de 1450 g/j en moyenne pendant la répétition 1 et de 1550 g/j en répétition 2 (en brut). Au début de la période expérimentale, les animaux ont été adaptés aux régimes sur six repas (pendant 3 jours), en augmentant progressivement le taux d'incorporation des régimes expérimentaux dans le mélange avec le régime standard de l'élevage. L'eau était fournie *ad libitum*. Les animaux ont été hébergés en loge individuelle pendant les 10 premiers jours de la période expérimentale et dans des cages de digestibilité au cours de la dernière semaine. Les tailles des cages ont été adaptées à la taille de chaque animal. Les animaux ont été pesés le matin avant la distribution de nourriture, à l'arrivée en loge individuelle, au début et à la fin de la période de collecte des fèces et des urines. Les procédures liées aux soins et à l'utilisation des animaux pour l'expérimentation ont été approuvées par le comité de protection des animaux du ministère français de l'Agriculture conformément à la réglementation française (numéro de projet EU0171- #17974-2018120616525961-v2).

## 1.3. Collecte des échantillons

Les matières premières et les régimes complets ont été échantillonnés deux fois au cours de l'étude, pour chaque préparation de régime au cours de chaque période de mesure. Les quantités offertes d'aliment et les refus ont été pesés quotidiennement tout au long de l'étude. La teneur en matière

sèche (MS) des échantillons des matières premières, des régimes et des refus a été mesurée immédiatement après prélèvement (étuve à 103°C pendant 24 heures pour les régimes et 48 heures pour les refus). Les échantillons de chaque régime ont été regroupés à la fin de l'étude pour analyses. Les fèces et les urines ont été collectées individuellement, totalement et séparément, pendant 7 jours consécutifs, le matin. A la fin de chaque période, les fèces ont été pesées et homogénéisées par animal et trois échantillons ont été prélevés : deux ont été séchés à l'étuve pour la détermination de la MS (103°C, 48 heures) et le dernier a été lyophilisé et broyé (grille de 1 mm) pour les analyses. Les fèces ont été stockées après prélèvement à -20°C. L'urine collectée était additionnée de 30 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L puis une quantité aliquote de 2% du volume par jour a été prélevée et cumulée quotidiennement dans un pot de 500 ml spécifique à chaque porc et maintenue à -20°C. A la fin de chaque période, des échantillons d'urine ont été conservés après homogénéisation pour analyse.

## 1.4. Analyses de laboratoire et calculs

Les teneurs en P et en Ca des matières premières, des régimes, des fèces et des urines ont été analysées par ICP-OES (Inductive Plasma Coupled OES Thermoscientific TM iCAPTM 7200 ; méthode 990.08 ; AOAC International, 2006). Les matières premières, les régimes et les fèces ont été préalablement incinérés à 550°C pendant 8 heures dans un four à moufle, puis solubilisés avec de l'acide nitrique 16N et du peroxyde d'hydrogène à 30% sur un bloc de digestion jusqu'à ce que le résidu soit sec, et enfin dilués dans de l'acide nitrique 0,4N. Tous les échantillons ont été analysés en double. La digestibilité apparente (Dapp) de chaque élément E (soit P ou Ca) et la quantité apparemment absorbée (AE) et retenue (RE) ont été calculées avec les formules suivantes :

$$\text{DappE (\%)} = (\text{E ingéré} - \text{E excrété dans les fèces}) / \text{E ingéré} \times 100 \quad [1]$$

$$\text{AE (g/d)} = \text{E ingéré} - \text{E excrété dans les fèces} \quad [2]$$

$$\text{RE (g/d)} = \text{E ingéré} - \text{E excrété dans les fèces} - \text{E excrété dans l'urine} \quad [3]$$

où E ingéré, E excrété dans les fèces et E excrété dans l'urine sont les quantités de l'élément E ingérées ou excrétées dans les fèces ou les urines (g/j). Les teneurs en P et en Ca du gain corporel ont été calculées comme les rapports entre les rétentions calculées de ces éléments et le gain de poids obtenu entre les deux pesées rapporté à la journée.

La DappP spécifique de chaque phosphate a été calculée à partir de la différence de DappP entre le régime de base et le supplément de phosphate en considérant la proportion de phosphore apportée par le régime de base et les phosphates utilisés en supplément, et en supposant que la DappP du régime de base sur les traitements enrichis en phosphates était similaire à celle du régime témoin pour chaque répétition et que les digestibilités sont strictement additives.

## 1.5. Analyses statistiques

Les données ont été analysées par ANOVA, avec R (R\_Core\_Team, 2020), en utilisant la procédure *lm* du package *stats*. Le modèle incluait l'effet du régime, la répétition et leur interaction. Le porc était l'unité expérimentale. Les moyennes présentées dans les tableaux sont des moyennes des moindres carrés (moyennes LS) et les comparaisons de moyennes ont été effectuées avec les tests de Tukey.



## 2. RESULTATS

Nous avons observé une faible consommation alimentaire pour un porc affecté au régime témoin dans la seconde répétition. La consommation de cet individu était inférieure à la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95% de la consommation moyenne de la répétition mais supérieure à la limite minimale de l'intervalle de confiance à 99%. Après avoir vérifié, par analyse des résidus, que la contribution de cet individu restait faible sur les résultats, et étant donné que ce porc ne présentait aucun signe de pathologie lors de l'expérimentation, la décision a été prise de le conserver dans le jeu de données.

### 2.1. Consommation d'aliment et performances zootechniques

Le poids vif moyen des porcs pendant la période de collecte était de 39,7 kg (Tableau 2). La consommation d'aliments a été en moyenne de 1478 g MS/j mais elle a été plus faible lors de la première répétition que lors de la seconde (1427 contre 1528 g/j,  $P$ -value < 0,01). Ces différences sont à mettre en relation avec des poids vifs inférieurs lors de la première répétition par rapport à la deuxième, même si l'effet de la répétition sur le poids vif n'était pas significatif (38,0 contre 41,4 kg,  $P$ -value > 0,10). Le gain moyen quotidien (GMQ) a été de 789 g/j en moyenne pendant les périodes de collecte et l'indice de consommation (IC) de 1,9 g/g MS (1,7 g/g lorsque l'IC a été estimé sur une base brute). Aucun de ces critères n'a été affecté par les régimes ( $P$ -value > 0,10). Bilans de Phosphore et Calcium

L'effet des régimes sur les quantités de P ingéré a été conforme à ce qui était attendu à partir du protocole expérimental (Tableau 3). L'ingestion de P pour le régime témoin a été deux fois plus faible que pour les régimes complémentés en phosphates (2,07 contre 4,73 g/j,  $P$ -value < 0,001). Cependant, elle a aussi été significativement plus élevée avec le régime PMC qu'avec les trois autres régimes complémentés (5,05 contre 4,62 g/j,  $P$ -value < 0,05) et avec le régime PHA-Os par rapport au régime PBC (4,77 contre 4,45,  $P$ -value < 0,05) ce qui n'était pas attendu. Cependant, les amplitudes de variation des quantités de P ingéré entre régimes complémentés sont restées modérées.

L'excrétion fécale de P a également été nettement plus faible avec le régime témoin qu'avec les régimes complémentés (0,87 contre 1,94 g/j,  $P$ -value < 0,001). Elle a également été inférieure avec le régime PMC par rapport aux régimes PBC et PHA-Os (1,48 contre 2,10 g/j,  $P$ -value < 0,01) et intermédiaire avec le régime PBC-Os. Par conséquent, la digestibilité apparente du P la plus élevée a été observée pour le régime PMC (70,7 %), la

plus faible pour les régimes témoin, PBC et PHA-Os (respectivement 58,3, 50,7 et 51,4 %) et des valeurs intermédiaires ont été obtenues avec le régime PBC-Os (61,8 %,  $P$ -value < 0,001).

La digestibilité apparente des compléments phosphates n'a pas été différente pour les régimes PMC et PBC-Os (respectivement 78,3 et 63,8 %), tandis que la digestibilité apparente de PBC (45,4 %) et PHA-Os (47,5 %) était inférieure à celle de PMC ( $P$ -value < 0,001). Cependant, une interaction entre les régimes alimentaires et la répétition tendait à être observée pour ce critère ( $P$ -value < 0,06). Lors de la première répétition, la digestibilité apparente spécifique du complément PBC-Os (75,8 %, ETR = 10,81) était très proche de celle du complément PMC (80,5 %) et supérieure à celle des compléments PBC (41,3 %) et PHA-Os (49,9 %). Lors de la seconde répétition, la digestibilité apparente spécifique du complément PBC-Os (51,7 %) était similaire à celles des compléments PBC (49,6 %) et PHA-Os (45,1 %).

La quantité de P absorbé avec le régime témoin a été nettement plus faible que celles mesurées avec les régimes complémentés en phosphates ( $P$ -value < 0,001). Parmi les régimes complémentés, la quantité de P absorbé a aussi été plus élevée pour le régime PMC, inférieure avec le régime PBC et intermédiaire pour PHA-Os et PBC-Os, en étant cependant plus élevée pour le régime PBC-Os que pour le régime PHA-Os.

L'excrétion urinaire de P est restée faible (en moyenne 0,020 g/j) et n'a pas été affectée par le régime ( $P$ -value > 0,10). Par contre, l'utilisation post-absorptive du P a été plus élevée avec les régimes complémentés en phosphates par rapport au témoin (98,6 contre 99,2 %,  $P$ -value < 0,001). Vu la forte utilisation post-absorptive du P, la rétention corporelle apparente de P a été du même ordre de grandeur que l'absorption apparente de P et suivait des tendances similaires entre les régimes ( $P$ -value < 0,001).

Comme prévu, les quantités de Ca ingéré étaient plus élevées avec le régime PHA-Os qu'avec les régimes témoin, PBC et PBC-Os ( $P$ -value < 0,001). Cependant, les quantités de Ca ingéré n'étaient pas significativement différentes entre les régimes PHA-Os et PMC. L'excrétion fécale de Ca a été plus élevée avec le régime PHA-Os qu'avec les régimes témoin ou PMC (respectivement 5,50, 4,11 et 4,06 g/j,  $P$ -value < 0,001) alors qu'elle a été intermédiaire pour les autres régimes. La digestibilité apparente de Ca a eu tendance à être plus faible avec le régime PHA-Os, par ailleurs plus riche en Ca, qu'avec les quatre autres régimes (54,3 contre 61,0 %,  $P$ -value < 0,07). La quantité de Ca absorbé a eu tendance à être plus faible avec le régime PBC qu'avec le régime PMC et intermédiaire avec les autres régimes ( $P$ -value < 0,07). L'excrétion urinaire de Ca a été plus élevée avec le régime témoin (2,78 g/j,  $P$ -value < 0,001) et

Tableau 2 – Consommation alimentaire et performances zootechniques

	Témoin	PMC <sup>1</sup>	PBC <sup>1</sup>	PBC-Os <sup>1</sup>	PHA-Os <sup>1</sup>	ETR <sup>2</sup>	$P$ -value Régime	$P$ -value Répét.	$P$ -value Interaction
Poids vif <sup>3</sup> , kg	38,7	40,8	39,8	39,8	39,5	3,3	0,94	0,39	0,94
Consommation alimentaire, g MS/j	1446	1487	1484	1488	1483	37	0,81	0,01	0,96
GMQ <sup>4</sup> , g/j	675	878	778	803	812	75	0,16	0,77	0,15
IC <sup>5</sup> , g/g	2,17	1,71	1,95	1,86	1,84	0,20	0,18	0,52	0,24

<sup>1</sup>PMC : phosphate mono calcique, PBC : phosphate bicalcique, PBC-Os : phosphate bicalcique d'origine osseuse, PHA-Os : hydroxyapatite.

<sup>2</sup>ETR : Ecart-type résiduel.

<sup>3</sup>Moyennes des poids vifs mesurés au début et à la fin des périodes de collecte des urines et des fèces (durée de collecte de 7 jours).

<sup>4</sup>GMQ : gain moyen quotidien, calculé pendant les 7 jours de la période de collecte.

<sup>5</sup>IC : indice de consommation, calculé pendant les 7 jours de la période de collecte.

**Tableau 3** – Flux corporels de phosphore et de calcium à l'échelle de l'individu

	Témoin <sup>1</sup>	PMC <sup>1</sup>	PBC <sup>1</sup>	PBC-Os <sup>1</sup>	PHA-Os <sup>1</sup>	ETR <sup>2</sup>	P-value Régime	P-value Répét.	P-value Interaction
<b>Flux de phosphore, g/j</b>									
Ingéré	2,07 <sup>a</sup>	5,05 <sup>b</sup>	4,45 <sup>c</sup>	4,64 <sup>cd</sup>	4,77 <sup>d</sup>	0,06	< 0,01	0,01	< 0,01
Excrétion fécale	0,87 <sup>a</sup>	1,48 <sup>b</sup>	2,19 <sup>c</sup>	1,78 <sup>bc</sup>	2,32 <sup>c</sup>	0,30	< 0,01	0,81	0,10
Absorption apparente	1,20 <sup>a</sup>	3,57 <sup>b</sup>	2,26 <sup>c</sup>	2,85 <sup>d</sup>	2,45 <sup>cd</sup>	0,28	< 0,01	0,78	0,10
Excrétion urinaire	0,016 <sup>a</sup>	0,024 <sup>b</sup>	0,019 <sup>ab</sup>	0,023 <sup>ab</sup>	0,019 <sup>ab</sup>	0,004	0,15	0,23	0,20
Rétention corporelle	1,19 <sup>a</sup>	3,55 <sup>b</sup>	2,24 <sup>c</sup>	2,83 <sup>d</sup>	2,43 <sup>cd</sup>	0,30	< 0,01	0,77	0,10
<b>DappP<sup>3</sup>, %</b>	58,3 <sup>a</sup>	70,7 <sup>b</sup>	50,7 <sup>a</sup>	61,8 <sup>ab</sup>	51,4 <sup>a</sup>	7,1	< 0,01	0,97	0,14
<b>Dapp P comp<sup>4</sup>, %</b>		78,3 <sup>a</sup>	45,4 <sup>bc</sup>	63,8 <sup>ac</sup>	47,5 <sup>bc</sup>	10,8	< 0,01	0,60	0,08
<b>Teneur en P du gain corporel<sup>5</sup>, g/kg</b>	1,79 <sup>a</sup>	4,08 <sup>b</sup>	2,89 <sup>c</sup>	3,54 <sup>bc</sup>	2,99 <sup>c</sup>	0,34	< 0,01	0,66	0,10
<b>Utilisation post-absorptive du P<sup>6</sup>, %</b>	98,6 <sup>a</sup>	99,3 <sup>b</sup>	99,1 <sup>b</sup>	99,2 <sup>b</sup>	99,2 <sup>b</sup>	0,3	< 0,01	0,10	0,22
<b>Flux de calcium, g/j</b>									
Ingéré	11,02 <sup>ab</sup>	11,40 <sup>ac</sup>	10,48 <sup>b</sup>	10,63 <sup>b</sup>	12,01 <sup>c</sup>	0,28	< 0,01	0,01	0,93
Excrétion fécale	4,11 <sup>a</sup>	4,06 <sup>a</sup>	4,59 <sup>ab</sup>	4,20 <sup>ab</sup>	5,50 <sup>b</sup>	0,77	0,05	0,55	0,09
Absorption apparente	6,92 <sup>ab</sup>	7,34 <sup>a</sup>	5,89 <sup>b</sup>	6,44 <sup>ab</sup>	6,52 <sup>ab</sup>	0,74	0,08	0,09	0,07
Excrétion urinaire	2,78 <sup>a</sup>	0,95 <sup>b</sup>	1,75 <sup>c</sup>	1,49 <sup>c</sup>	2,20 <sup>d</sup>	0,31	< 0,01	0,89	0,45
Rétention corporelle	4,14 <sup>a</sup>	6,39 <sup>b</sup>	4,14 <sup>a</sup>	4,95 <sup>a</sup>	4,31 <sup>a</sup>	0,79	< 0,01	0,10	0,22
<b>DappCa<sup>3</sup>, %</b>	62,8	64,4	56,1	60,8	54,3	6,7	0,07	0,27	0,06
<b>Ca du gain corporel<sup>6</sup>, g/kg</b>	6,28 <sup>ab</sup>	7,34 <sup>a</sup>	5,33 <sup>b</sup>	6,18 <sup>ab</sup>	5,32 <sup>b</sup>	1,09	0,04	0,10	0,17
<b>Utilisation post-absorptive du Ca<sup>6</sup>, %</b>	59,5 <sup>a</sup>	87,1 <sup>b</sup>	69,4 <sup>cd</sup>	76,7 <sup>c</sup>	65,8 <sup>ad</sup>	6,2	< 0,01	0,17	0,67
<b>Ca/dP<sup>5,7</sup></b>	9,2	3,2	4,6	3,7	4,9				
<b>Ca/P du gain corporel, g/g</b>	3,53 <sup>a</sup>	1,80 <sup>b</sup>	1,83 <sup>b</sup>	1,74 <sup>b</sup>	1,77 <sup>b</sup>	0,389	< 0,01	0,03	0,42

<sup>1</sup>PMC = phosphate mono calcique, PBC = phosphate bicalcique, PBC-Os = phosphate bicalcique d'origine osseuse, PHA-Os = hydroxyapatite.

<sup>2</sup>ETR : Ecart-type résiduel.

<sup>3</sup>ADapp P et Ca = digestibilité apparente du phosphore et du calcium.

<sup>4</sup>Dapp P comp = digestibilité apparente du complément phosphates (PMC, PBC, PBC-Os ou PHA-Os)

<sup>5</sup>Teneur en P et en Ca du gain corporel estimé par le rapport entre les quantités de P (et de Ca) retenues et le GMQ (moyennes quotidiennes).

<sup>6</sup>Utilisation post-absorptive du P et du Ca = (1- excrétion urinaire/absorption) × 100

<sup>7</sup>dP = P digestible = P ingéré – P excrété dans les fèces.

plus faible avec le régime PMC (0,95 g/j). Elle a été plus faible avec le régime PHA-Os (2,20 %) qu'avec le témoin, et elle a été plus élevée avec les régimes DCP (1,75 %) et PBC-Os (1,49 %) qu'avec le régime PMC. Ces différences se sont traduites par des variations inversement proportionnelles de l'utilisation post-absorptive du Ca. Par conséquent, la rétention apparente du Ca a été plus élevée avec le régime PMC par rapport aux quatre autres régimes (6,39 contre 4,38 % en moyenne, *P*-value < 0,001).

La teneur en P du gain corporel a été nettement supérieure avec le régime témoin par rapport aux régimes complémentés en phosphates (1,79 contre 3,38 g/kg, *P*-value < 0,01). Elle a aussi été plus élevée avec le régime PMC par rapport aux régimes PBC et PBC-Os. La teneur en Ca du gain corporel a été supérieure avec le régime PMC par rapport au régime PBC et intermédiaire pour les autres régimes (*P*-value < 0,04). Les rapports des teneurs en Ca et en P de la rétention corporelle ont été nettement supérieurs avec le régime témoin par rapport aux quatre régimes complémentés en phosphates (3,53 contre 1,79 g/g, *P*-value < 0,001).

### 3. DISCUSSION

Le GMQ et l'indice de consommation observés pendant cette étude ont été satisfaisants compte tenu du fait que les porcs étaient rationnés. Les performances des porcs ont été similaires pour les cinq régimes, même si l'apport en P du régime témoin était faible, ce qui indique que le niveau de P alimentaire n'était

pas limitant pour la croissance sur la durée de l'étude.

La quantité quotidienne de P absorbé a varié de 1,20 g/j avec le régime témoin à 3,57 g/j avec le régime MCP. Pour les cinq régimes testés dans l'étude, ces quantités étaient inférieures aux besoins en P des porcs en croissance de poids équivalents estimés à 4,71 g/j par Jondreville et Dourmad (2005) et à 4,30 g/j selon Bikker et Blok (2017). La différence entre ces estimations des besoins selon les auteurs est en grande partie liée à la valeur prise en compte pour estimer les pertes endogènes fécales déterminant la majorité des besoins d'entretien. Pour Bikker et Blok (2017), ces pertes endogènes sont estimées à 6 mg P/kg poids vif à partir d'une synthèse d'études où ces pertes ont été estimées sur des porcs nourris avec des régimes semi-synthétiques à faible teneur en P. Les recommandations en cours en France (Jondreville et Dourmad, 2005) reposent sur l'idée que les pertes endogènes fécales issues des études précitées sont minimisées par rapport à celles que l'on serait susceptible de constater dans les élevages où les aliments porcs sont complémentés en P à hauteur de leurs besoins. En conséquence, on peut estimer dans notre étude que les besoins en P ont été couverts à hauteur de 25% des recommandations en cours en France pour le régime témoin et à des proportions de 50 à 75% des recommandations pour les régimes complémentés en P. Ce faible apport alimentaire en P a été raisonné pour maximiser la digestibilité du P car des apports au-delà des besoins diminuent la digestibilité du P en réduisant son absorption. L'utilisation post-absorptive du P, presque complète dans cette étude, indique un fort niveau de réabsorption rénale et une faible excrétion urinaire cohérents

avec les faibles apports de P alimentaires (Bikker et Block, 2017). La relative baisse de l'utilisation avec le traitement témoin est sans doute à mettre en relation avec le ratio Ca : P plus élevé, au-delà des capacités de rétention osseuse des animaux, ayant pu induire, du fait des régulations du métabolisme phosphocalcique, une baisse de la rétention osseuse (Bikker et Block, 2017). Enfin, l'absence d'augmentation de l'excrétion urinaire de P avec les régimes complémentés en P par rapport au régime témoin confirment que le degré de minéralisation maximale des porcs n'était pas atteint car l'excrétion urinaire est une voie majeure d'élimination de l'excès de phosphore par baisse de la réabsorption rénale. Les rapports des teneurs en Ca et en P de la rétention corporelle avec les traitements complémentés en phosphates, bien qu'un peu élevés, sont restés cohérents avec ceux observés sur des porcs en croissance de ce poids (Bikker et Block, 2017). Par contre, celui du régime témoin, particulièrement élevé et bien supérieur à celui de l'hydroxyapatite des os, pourrait illustrer les faibles apports de P par ce régime qui ont été démontrés comme pouvant induire une rétention prioritaire du P dans les tissus mous plutôt que dans les os (Bikker et Block, 2017).

La quantité quotidienne de Ca absorbé a varié de 5,89 g/j (DCP) à 7,34 g/j (MCP). Ces valeurs étaient proches des besoins journaliers moyens en Ca estimés à 6,65 g/j (Bikker et Blok, 2017). Le rapport entre l'apport en Ca et en P digestible, estimé grâce au phosphore absorbé, (Ca/dP) a varié entre 9,2 g/g pour le régime témoin et des valeurs comprises entre 3,7 et 4,9 g/g pour les régimes supplémentés. Ces valeurs sont une conséquence du choix, dans notre étude, de comparer les régimes à des teneurs en Ca comparables. Les rapports Ca/dP qui en résultent sont élevés, voire très élevés pour le régime témoin, si on considère que des valeurs supérieures à 2 sont susceptibles de réduire la digestibilité apparente du P (Bikker et Blok, 2017). En effet, apporté en excès par rapport au P, le Ca alimentaire non absorbé peut interagir avec le P dans le chyme pour former des sels insolubles, entraînant une absorption réduite du P alimentaire (Létourneau-Montminy *et al.*, 2012 ; Bikker et Blok, 2017). De fait, on peut imaginer que les forts apports de Ca par rapport aux apports de P ont pu limiter la digestibilité apparente de P dans notre étude.

Les variations relatives de la digestibilité apparente spécifique des quatre phosphates comparés étaient très similaires à celles

attendues. La digestibilité apparente du phosphate monocalcique (PMC) a bien été clairement supérieure à celle du phosphate bicalcique d'origine rocheuse (PBC) (INRA-AFZ, 2004). La digestibilité apparente spécifique du phosphate bicalcique d'origine osseuse (PBC-Os) n'a pas été différente de celle du phosphate monocalcique ('PMC') comme cela a été observé sur la digestibilité du phosphore pré-caecal chez les poulets de chair (van Harn *et al.*, 2017). Par contre, la digestibilité apparente spécifique du phosphate sous forme d'hydroxyapatite d'origine osseuse ('PHA-Os') a été inférieure à celle du phosphate monocalcique comme cela a aussi été observé sur la digestibilité du phosphore pré-caecal chez les poulets de chair (van Harn *et al.*, 2017). Ces résultats sont cohérents avec le fait que le traitement ayant permis d'obtenir le phosphate bicalcique d'origine osseuse ('PBC-Os') a été conçu pour induire une destruction importante de la matrice osseuse, susceptible d'augmenter la solubilité et l'absorption intestinale du P alors que ce n'est pas le cas pour l'autre phosphate d'origine osseuse, principalement composé d'hydroxyapatite sous sa forme native.

## CONCLUSION

On peut conclure de cette étude que les phosphates dérivés d'os aussi bien sous forme bicalcique que d'hydroxyapatite peuvent être utilisés pour remplacer les phosphates monocalcique ou bicalcique pour la supplémentation en P des porcs en croissance. La digestibilité apparente spécifique d'un phosphate bicalcique issu d'os est comparable à celle d'un phosphate monocalcique alors que celle d'hydroxyapatite issue d'os est inférieure à celle d'un phosphate monocalcique.

Le choix de réaliser les comparaisons à teneurs en Ca comparables entre les régimes alimentaires a conduit à des régimes avec de forte teneur en Ca. Cette conséquence est inhérente au fait que le rapport Ca/P alimentaire est défavorable pour la digestibilité de P avec le phosphate sous forme d'hydroxyapatite d'origine osseuse et dans une moindre mesure avec le phosphate bicalcique. Le fort rapport Ca/P de ces suppléments n'a pas pu être compensé dans cette étude, du fait de la faible teneur en P du régime de base. Ces conditions expérimentales ont sans doute conduit à des digestibilités de P plus faibles par rapport à ce qu'elles auraient pu être avec des régimes plus courants en élevage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC international (Association of Official Analytical Chemists International), 2006. Official methods of analysis, 18<sup>th</sup> edition. AOAC International, Gaithersburg, Maryland, 2590 p.
- Bikker P., Blok M.C., 2017. Phosphorus and calcium requirements of growing pigs and sows. CVB Documentation Report nr. 59. Wageningen Livestock Research, Dept. Animal Nutrition, Wageningen, The Netherlands, 74 p.
- INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. In : Sauvart D., Pérez J.M., Tran G. (Eds), INRA Editions, Versailles, 301 p.
- Jondreville C., Dourmad J.Y., 2005. La phosphore dans la nutrition des porcs. INRA Prod. Anim., 18, 183-192.
- Létourneau-Montminy M. P., Jondreville C., Sauvart D., Narcy A., 2012. Meta-analysis of phosphorus utilization by growing pigs: effect of dietary phosphorus, calcium and exogenous phytase. Animal, 6, 1590-1600.
- Pointillart A., Fourdin A., Delmas A., 1987. Conséquences néfastes de l'excès de calcium chez des porcs non supplémentés en phosphore minéral. Journées Rech. Porcine, 19, 281-288.
- R\_Core\_Team., 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- van Harn J., Spek J.W., van Vuure C.A., van Krimpen M.M., 2017. Determination of pre-cecal phosphorus digestibility of inorganic phosphates and bone meal products in broilers. Poultry Sci., 96, 1334-1340.

# Capacité des modèles d'estimation des besoins chez le porc à l'engraissement pour prédire l'utilisation du phosphore alimentaire chez la cochette

Piterson FLORADIN (1, 2), Marion LAUTROU (2, 4) Candido POMAR (3), Patrick SCHLEGEL (1),  
Marie-Pierre LÉTOURNEAU-MONTMINY (2)

(1) Agroscope, Groupe Recherche Porcine, 1725 Posieux, Suisse

(2) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, QC, J1V 0A6, Canada

(3) Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sherbrooke, QC, J1M 1Z3, Canada

(4) UMR MOSAR, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005 Paris, France

[piterson.floradin.1@ulaval.ca](mailto:piterson.floradin.1@ulaval.ca)

## Capacité des modèles d'estimation des besoins chez le porc à l'engrais à prédire l'utilisation du phosphore alimentaire chez la cochette

Une approche de modélisation visant à prédire la dynamique corporelle du calcium (Ca) et du phosphore (P) indépendamment de la croissance des tissus mous chez les porcs à l'engrais a été proposée. L'objectif du présent travail était d'évaluer la capacité de ce modèle et des modèles conventionnels disponibles chez le porc à l'engrais (INRAE, NRC et CVB) à prédire la rétention corporelle de P et Ca chez des cochettes. Des données de cochettes nourries en deux phases (croissance (C) : 55-95 kg et finition (F) : 95-140 kg) ont été utilisées pour évaluer le modèle. Pendant la première phase, les animaux recevaient un aliment apportant 100% des besoins de Ca et P (C100 ; 2,1 g de P digestible/kg) *ad libitum*. Pendant la deuxième phase, dite de finition, les cochettes recevaient un régime témoin (F100) ou un régime riche apportant 160% des besoins (F160 ; 3,5 g de P digestible). Les apports d'aliment quotidiens et la teneur en énergie de ces deux régimes ont été réduits pour un gain de 700 g/jour. Les données de composition corporelle ont été utilisées pour estimer la capacité de prédiction du modèle par l'erreur quadratique moyenne de prédiction (MSPE) et sa décomposition en erreur de tendance centrale (ETC), de régression (ER) et de bruit (EB). À 95 kg, les résultats montrent que le modèle de proposé prédit adéquatement le P corporel (MSPE = 2,26%, ETC = 0,016%, ER = 13,4% et EB = 86,5%), alors que les autres modèles montraient une ETC plus élevée indiquant une sous-estimation. À 140 kg, la qualité des prédictions était réduite pour tous les modèles montrant une surestimation avec le modèle proposé et une sous-estimation avec les autres modèles. Ces résultats permettront d'adapter les modèles existants aux cochettes de renouvellement.

## Ability of model that predict fattening pig requirements to predict dietary phosphorus use in gilts

A modeling approach to predict dynamics of body phosphorus (P) and calcium (Ca) independent of soft-tissue growth in fattening pigs has been developed. The objective of this study was to evaluate the ability of this model and other available models for fattening pigs (INRAE model, NRC, and CVB) to predict body P and Ca retention in gilts. Data from gilts fed in 2 phases (Growing (C): 55-95 kg, finishing: 95-140 kg) was used to evaluate the models. In the first phase, the gilts received a diet that provided 100% of the Ca and P requirements (C100; 2.1 g of digestible P/kg) *ad libitum*. In the finishing phase, the gilts received a control diet (F100; 2.1 g of digestible P) or a rich diet providing 160% of the requirements (F160; 3.5 g of digestible P), and daily feed intake and the energy content was reduced for a gain of 700 g/day. Body composition data were used to evaluate the predictive ability of the model according to the mean square error of prediction (MSEP) and its subdivision into central tendency error (CTE), regression (RE) and disturbance (DE). At 95 kg, the proposed model adequately predicted body P (MSPE = 2.26%, CTE = 0.016%, RE = 13.4% and DE = 86.5%), while the other models had a higher CTE, thus indicating underestimation. At 140 kg, accuracy of predictions decreased for all models, with the proposed model overestimating body P and the other models underestimating it. These results will help adapt existing models to replacement gilts.

## INTRODUCTION

Compte tenu de la complexité de la réponse animale et des nombreux facteurs qui modulent l'utilisation des minéraux, des modèles mathématiques ont été développés chez le porc à l'engrais pour prédire les besoins en calcium (Ca) et phosphore (P) (Jondreville et Dourmad, 2005 ; NRC, 2012 ; Bikker et Blok, 2017). Ces modèles utilisent respectivement le gain de poids, le dépôt protéique et le poids vif vide (PVV) comme force motrice de la rétention corporelle de P. Le Ca est considéré proportionnel au P sauf pour celui du CVB (Bikker et Blok, 2017) qui utilise une équation en fonction du PVV indépendante de P. Des modèles avec des approches similaires sont disponibles pour les truies en gestation et lactation, mais aucun de ces autres modèles ne considère les cochettes de renouvellement. Les recommandations actuelles sont ainsi les mêmes que pour les porcs en croissance avec comme objectif une vitesse de croissance maîtrisée et une minéralisation osseuse maximale et (Jondreville et Dourmad, 2005 ; Bikker et Blok, 2017). Toutefois, le NRC (2012) recommande ainsi 15% plus de P que pour les porcs en croissance. Récemment, une nouvelle approche a été proposée pour dissocier les dépôts phosphocalciques de la protéine fondé sur des résultats récents de composition corporelle chez le porc en croissance (Lautrou *et al.*, 2019, 2020).

L'extrapolation des modèles de croissance disponibles aux cochettes de renouvellement n'a pas été validée. Ainsi, contrairement aux porcs à l'engrais où l'objectif est de garantir l'expression du potentiel de croissance des tissus maigres, l'alimentation des cochettes de renouvellement est raisonnée pour limiter la croissance afin d'éviter les situations d'aplombs trop fragiles (Quiniou, 2016), et ceci conjointement à une minéralisation maximale pour faire face aux cycles de gestation et lactation à venir. Le modèle mécaniste développé par Lautrou *et al.* (2020) pourrait permettre de prendre en compte simultanément la complexité du métabolisme phosphocalcique et les particularités de la restriction protéique et énergétique. L'objectif du présent travail est d'évaluer la capacité de ce modèle et des autres modèles couramment utilisés chez le porc à l'engrais (Jondreville et Dourmad, 2005 ; NRC, 2012 ; Bikker et Blok, 2017) à prédire la rétention corporelle de P chez les cochettes de renouvellement.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Description de la base de données

Les modèles ont été mis en œuvre et comparés à partir d'une base de données provenant d'une population de cochettes de renouvellement décrite par Floradin *et al.* (2021). Les cochettes ont été nourries selon un programme alimentaire en deux phases (55-95 kg et 95-140 kg). Pour chaque phase, les aliments ont été formulés selon les recommandations suisses de façon à satisfaire l'ensemble des besoins nutritionnels à l'exception du Ca et du P digestible (dP) (Agroscope, 2004). Deux traitements alimentaires ont été testés. Dans la première phase, les animaux recevaient tous un aliment croissance apportant 100% des besoins de Ca et P (C100 ; 2,1 g de P digestible/kg). Dans la seconde phase, dite de finition, les cochettes alimentées avec le C100 recevait soit un régime témoin (F100 ; 2,1 g dP/kg), soit un régime riche (F160 ; 3,5 g dP/kg) apportant, respectivement, 100% et 160% des besoins en Ca et dP. Les cochettes ont été alimentées *ad libitum* durant la phase de croissance, mais elles sont ensuite rationnées (3 kg /jour) et l'énergie a été aussi été

réduite pendant la phase de finition pour limiter la croissance à environ 700 g/j, tel que recommandé jusqu'à la première saillie (Kraeling *et al.*, 2020). Le contenu minéral osseux (CMO) du corps entier ainsi que la masse des tissus maigres et gras des cochettes ont été mesurés toutes les 2 semaines par absorptiométrie biphotonique à rayons X (DXA, i-DXA, GE Medical Systems, Glattbrugg, Suisse). La concentration corporelle en protéines a été calculée à partir de la masse maigre et celle de lipides à partir de la masse maigre et grasse selon les équations proposées par Kasper *et al.* (2019).

### 1.2. Description des modèles sélectionnés

Les modèles du National Research Council (NRC, 2012), de INRAE (Jondreville et Dourmad, 2005), les équations du CVB (Bikker et Blok, 2017) et le modèle de recherche Lautrou *et al.* (2020) ont été sélectionnés pour évaluer leur capacité à prédire la rétention de P et Ca corporels chez des cochettes dans un contexte de restriction nutritionnelle avant la première saillie. Ces modèles estiment les besoins nutritionnels sur la base de la rétention corporelle, à laquelle s'ajoutent les besoins d'entretien. La rétention corporelle de P est cependant calculée selon différents principes distinguant ces modèles (Tableau 1). Ainsi, pour tenir compte du génotype et du sexe, le modèle du NRC (2012) propose d'utiliser une relation quadratique du P corporel en fonction de la masse corporelle de protéines. Pour la cochette, ce modèle recommande de fournir 100% du P estimé, alors que pour les porcs en croissance il propose d'apporter 85 % des besoins estimés. Le modèle proposé par INRAE estime la masse de P corporel à partir d'une fonction quadratique du poids vif (PV ; Jondreville et Dourmad, 2005). La quantité de P retenu par unité de gain de poids peut-être ainsi être estimée par la dérivée première de cette fonction (Jondreville et Dourmad, 2005). Les équations du CVB (Bikker et Blok, 2017) proposent d'estimer la rétention corporelle de Ca et P à partir d'une fonction allométrique du PVV sur la base des études récentes et des travaux de Jongbloed *et al.* (1999, 2003). Les besoins en Ca total sont estimés à partir d'un ratio Ca/P digestible fixe de 2,9 pour INRAE et de 2,15 pour le NRC.

Une autre approche a récemment été proposée pour prédire les besoins en considérant les cendres corporelles indépendamment de la croissance des tissus mous (Létourneau-Montminy *et al.*, 2015 ; Lautrou *et al.*, 2019, 2020). L'utilisation métabolique de P et Ca est représentée sous forme de trois modules, soit un module de digestion, de tissus mous et de cendres corporelles. Le module de digestion simule l'absorption de P et Ca, soit le passage de l'intestin au milieu extracellulaire, et leur excrétion au niveau fécal. Le module de tissus mous simule la croissance sous forme de dépôt de protéines et lipides corporels d'après le modèle InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008). Le module de cendres simule le devenir du Ca et du P absorbés, en termes de rétention dans les compartiments osseux, maigres et gras.

### 1.3. Description de la démarche utilisée pour comparer les modèles

#### 1.3.1. Croissance de la cochette

Des équations polynomiales ont été générées pour chaque cochette à partir des données expérimentales pour estimer la relation entre les dépôts protéiques (PD) et lipidiques (LD) et le PV. Les dépôts quotidiens de PD et de LD ont été ensuite additionnés pour calculer la masse protéique et lipidique et les dépôts d'eau et de cendres ont été calculés à partir du PD (van

**Tableau 1** – Caractéristiques des modèles sélectionnés<sup>1</sup>

Modèle	Minéralisation osseuse	Force motrice	Rétention corporelle	
			Phosphore	Calcium
INRAE	100%	PV	$5,4199 \times PV - 0,002857 \times PV^2$	Rapport Ca : P = 2,9
NRC	100%	Prot	$1,1613 + 26,012 \times Prot + 0,2299 \times Prot^2$	Rapport Ca : P = 2,15
CVB	100%	PVV	$P = e^{(1,67 + 1,0004 \times \ln PVV)}$	$Ca = e^{(0,385 + 1,0135 \times \ln PVV)}$
Lautrou <i>et al.</i> (2020)	85 ou 100%	Ca potentiel	Ca osseux / 2,16	$5,7 + 0,0461 \times PV$

<sup>1</sup> Prot : masse de protéines corporelles ; PV : poids vif ; PVV : poids vif vide.

Milgen *et al.*, 2008). Le PV a été calculé à partir du PVV en additionnant les masses protéiques et lipidiques, l'eau et les cendres (Whittemore et Fawcett, 1976 ; Quiniou et Noblet, 1995).

### 1.3.2. Prédiction des contenus corporels

Le contenu corporel en P a été estimé à partir de la masse protéique pour le NRC (Tableau 1), du PV pour INRAE, du PVV (équation spécifique au modèle) pour le CVB et du potentiel de dépôt de Ca et P dans les cendres osseuses et des tissus mous (protéines et lipides) pour le modèle de Lautrou *et al.* (2019, 2020).

Les résultats des simulations des quatre modèles ont été comparés avec les données de composition corporelle mesurées des cochettes. Les teneurs en Ca et P corporels des cochettes (observées) ont été calculées comme étant la somme des contenus dans les cendres osseuses, les protéines et les lipides lesquels sont calculés à partir des valeurs CMO, de protéines et de lipides obtenus par le DXA tel que décrit par Lautrou *et al.* (2019, 2020).

Les modèles utilisés ne présentant pas les mêmes sorties, le modèle de Lautrou *et al.* (2020) a été évalué pour son aptitude à prédire le contenu corporel en P, Ca et CMO, celui du pour son aptitude à prédire le contenu corporel en P et Ca et ceux de INRAE et NRC seulement pour le P corporel.

## 1.4. Statistiques

La qualité de prédiction a été évaluée en comparant les valeurs de P et Ca corporels prédites par les modèles avec les valeurs observées toutes les 2 semaines dans l'essai avec le logiciel SAS (v9.4, Inst. Inc. Cary, NC). La capacité de prédiction des modèles a été évaluée selon l'ordonnée à l'origine, la pente et l'erreur quadratique moyenne de prédiction relative (MSPE) exprimée en pourcentage de la moyenne observée. La MSPE a été divisée en trois composantes : l'erreur de tendance centrale (ETC) qui indique comment la moyenne prédite dévie de celle mesurée, celle due à la régression (ER) qui mesure la déviation du coefficient de régression par rapport à 1 et celle due au bruit (EB) qui est la variance non-expliquée (Theil, 1966). Une prédiction adéquate se caractérise par une MSEF faible et une EB la plus élevée possible par rapport à ETC et ER.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 2.1. Évaluation de la qualité de prédiction des modèles au cours de la première phase

Dans la première phase d'alimentation ou plus précisément entre 55 à 95 kg de PV, les résultats montrent que le modèle de Lautrou *et al.* (2020) prédit de façon adéquate le contenu corporel en P (MSPE = 2,26%, ETC = 0,016%, ER = 13,4% et ED = 86,5% ; Tableau 2). La précision est également bonne pour le modèle NRC (MSPE = 5,03%, ETC = 1,99%, ER = 27,6% et

ED = 70,4%). Les deux autres modèles sous-estiment systématiquement les données observées avec des valeurs d'ETC qui représentent 73,9% et 82,7% de la MSPE, respectivement pour le modèle INRAE et les équations du CVB (Figure 2a).

Une bonne adéquation a été notée pour le CMO (MSPE = 3,47%, ETC = 12,8%, ER = 12,4% et ED = 74,7%) et le contenu en Ca corporel (MSPE = 3,51%, ETC = 13,8%, ER = 13,7% et ED = 72,5% ; Figure 2b) entre les données observées et les données prédites par le modèle de Lautrou *et al.* (2020). Ces résultats montrent clairement que, comme chez les porcs en croissance, pour une cochette nourrie *ad libitum* entre 60 à 95 kg de PV avec des niveaux de P et Ca suffisants pour maximiser la minéralisation, les dépôts minéraux osseux peuvent suivre une trajectoire linéaire (Lautrou *et al.*, 2020 ; Figure 1). En accord avec ces résultats, les travaux de Mahan et Shields (1998) et ceux de Jondreville *et al.* (2004) montrent que les teneurs corporelles minérales augmentent linéairement avec le poids de la cochette. Ces conclusions corroborent également l'étude de Ruiz-Ascacibar *et al.* (2018) qui soutiennent que l'effet connu du sexe sur le gain des tissus mous n'est pas présent sur les teneurs corporelles en cendres ou en P. Cependant, il est intéressant de noter que la rétention de P simulée par le modèle NRC estimé à 100% des besoins (15% de plus que les porcs en croissance) était très proche de celle observée entre 55 et 95 kg de PV (Figure 1). Pour le contenu en Ca corporel prédit par l'équation du CVB, la MSPE s'élevait à 10,0% et l'ETC à 82,3%, montrant que cette équation sous-estimait les données expérimentales.

### 2.2. Évaluation de la qualité de prédiction des modèles au cours de la seconde phase

La qualité de prédiction de toutes les variables évaluées durant la seconde phase, et ce par tous les modèles, était réduite. Plus précisément, une surestimation avec Lautrou *et al.* (2020) et une sous-estimation dans le cas des autres modèles étaient observées (Figure 3 et 4). La surestimation des données par le modèle de Lautrou *et al.* (2020) pourrait être le résultat de la restriction alimentaire appliquée en limitant les apports énergétiques pour contrôler le GMQ qui a diminué de 1100 g/j à 700 g/j de la première à la seconde phase. En effet, les résultats montrent que la rétention corporelle de P pour les deux groupes d'animaux (F100 et F160) suit la même trajectoire que le dépôt protéique (NRC, 2012). Ceci est en accord avec les travaux de Dourmad *et al.* (2021) qui montrent que la masse de protéine corporelle pourrait être un très bon indicateur du contenu corporel en minéraux chez les truies en production.

Bien que l'impact d'une restriction sur le métabolisme soit encore très peu étudié, certains travaux chez la cochette ont rapporté une réduction de la minéralisation osseuse lorsqu'elles étaient rationnées à 85% du régime à volonté (Arthur *et al.*, 1982). Chez l'homme, il a été montré qu'une restriction énergétique entraînait un découplage du turnover

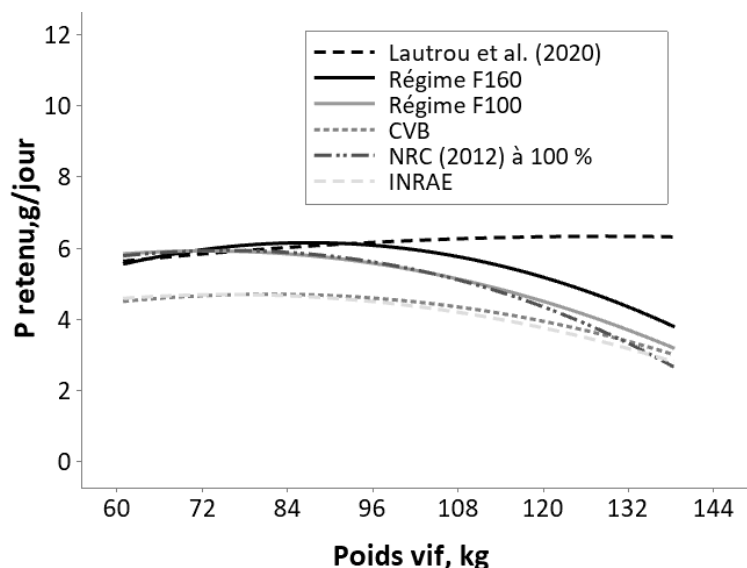
**Tableau 2** - Résultats<sup>1</sup> de comparaison des données observées chez les cochettes de renouvellement avec les modèles de prédiction des besoins disponibles dans la littérature selon les différentes phases de croissance

Modèle	INRAE	NRC	Bikker et Block		Lautrou et al. (2020)		
	P	P	P	Ca	P	Ca	CMO <sup>2</sup>
<b>Traitement C100<sup>3</sup></b>							
Ordonnée à l'origine	-11,7	51,2	12,1	33,0	18,3	33,6	80,5
Pente	1,11	0,869	0,949	0,992	0,956	0,933	0,937
MSPE	8,70	5,03	11,4	10,0	2,26	3,51	3,47
Erreur de tendance centrale	73,9	1,99	82,7	82,3	0,016	13,8	12,8
Erreur de régression	4,12	27,6	3,46	1,24	13,4	13,7	12,4
Erreur de bruit	22,0	70,4	13,8	16,4	86,5	72,5	74,7
<b>Traitement F100<sup>3</sup></b>							
Ordonnée à l'origine	-59,5	-38,9	7,15	-9,26	187	327	536
Pente	1,21	1,08	1,08	1,06	0,693	0,621	0,754
MSPE	12,37	4,90	10,89	9,92	8,29	14,25	8,67
Erreur de tendance centrale	69,7	12,0	63,4	27,6	34,0	52,8	42,4
Erreur de régression	2,673	3,171	0,666	0,528	46,2	34,1	27,0
Erreur de bruit	27,6	84,9	35,9	71,9	19,8	13,1	30,7
<b>Traitement F160<sup>3</sup></b>							
Ordonnée à l'origine	-217	-95	-137	-322	129	225	392
Pente	1,52	1,19	1,36	1,44	0,81	0,76	0,84
MSPE	14,6	6,35	12,8	11,4	4,14	7,21	4,39
Erreur de tendance centrale	86,7	54,6	88,7	76,7	5,53	37,9	20,7
Erreur de régression	11,5	13,0	9,04	18,5	69,9	50,1	48,4
Erreur de bruit	1,71	32,4	2,30	4,76	24,6	12,1	30,9

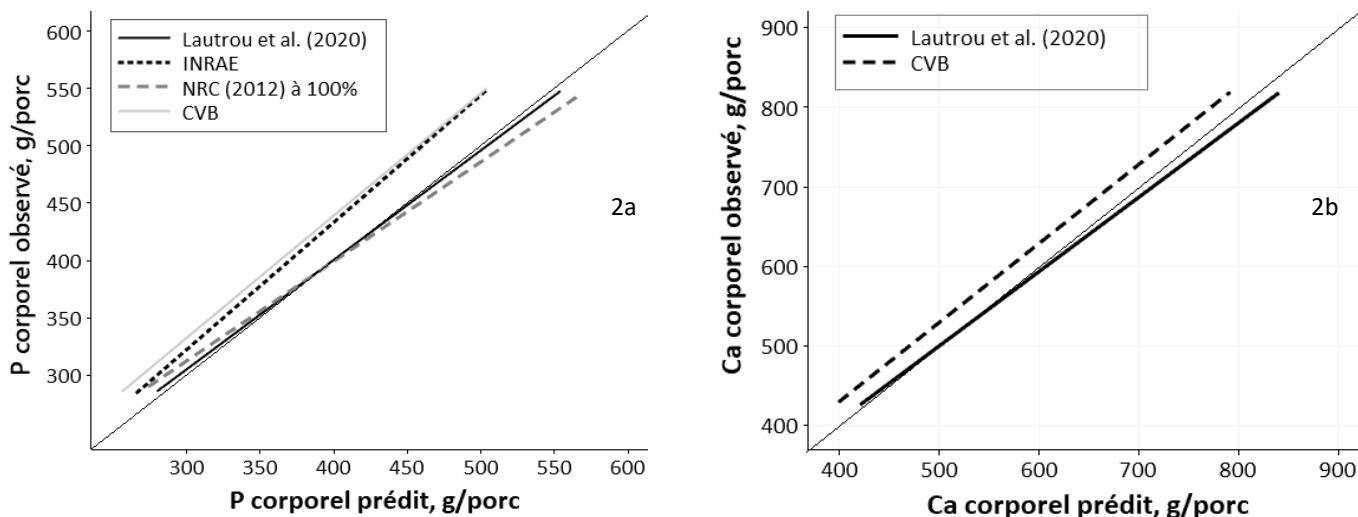
<sup>1</sup>MSPE : erreur quadratique moyenne de prédiction relative.

<sup>2</sup>CMO : contenu minéral osseux ou cendres minérales osseuses estimées à partir de la somme du dépôt de Ca, de P et des minéraux divers (Lautrou et al., 2020).

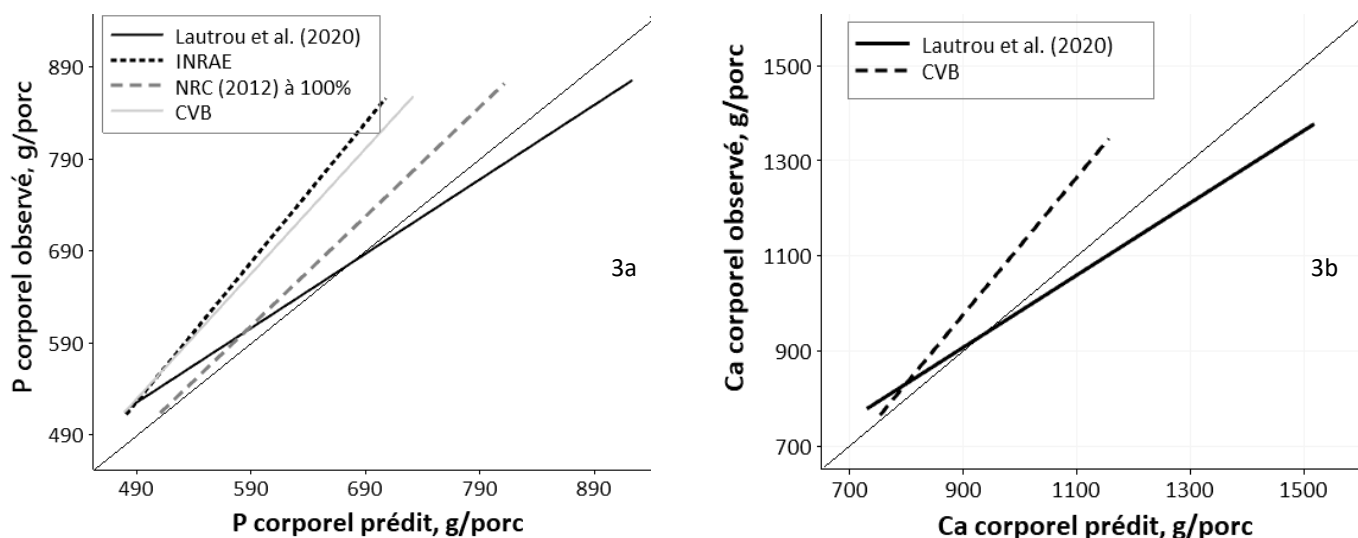
<sup>3</sup>C100 : régime distribué entre 55 et 95 kg de poids vif (PV) avec 2,1 g de P digestible/kg ; F100 : régime distribué entre 95 et 140 kg de PV avec 2,1 g de P digestible/kg ; F160 : régime distribué entre 95 et 140 kg de PV avec 3,5 g de P digestible/kg.



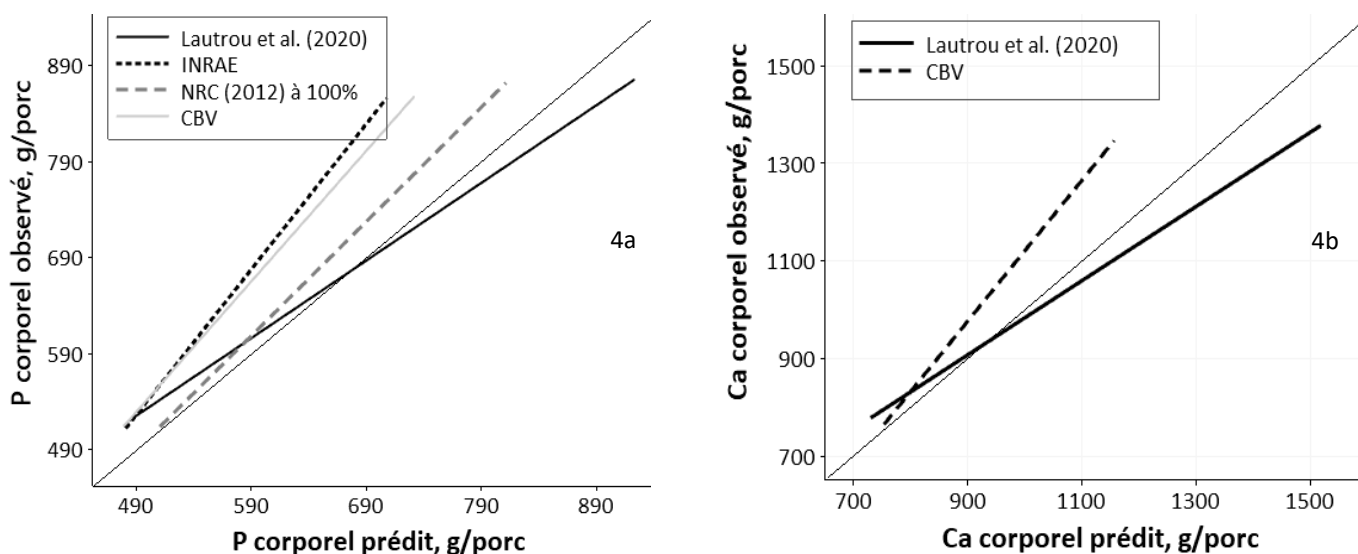
**Figure 1** - Rétention corporelle en P simulée par le modèle INRAE, le modèle du NRC, de Lautrou et al. (2020), les équations du CVB (Bikker et Blok, 2017) ainsi que celle observée chez les cochettes alimentées le régime F100 et F160



**Figure 2** - Masses de P (a) et Ca (b) corporels observées en fonction de celles prédites par les modèles durant la première phase d'alimentation. La ligne grise pleine au milieu correspond à la bissectrice  $Y = X$ .



**Figure 3** : Masses de P (a) et Ca (b) corporels observées en fonction de celles prédites par les modèles durant la seconde phase d'alimentation chez les cochettes soumises au régime F100. La ligne grise pleine au milieu correspond à la bissectrice  $Y = X$ .



**Figure 4** - Masses de P (4a) et Ca (4a) corporels observées en fonction de celles prédites par les modèles durant la seconde phase d'alimentation chez les cochettes soumises au régime F160. La ligne grise pleine au milieu correspond à la bissectrice  $Y = X$ .



osseux montrant une augmentation de la résorption osseuse conjointement à une diminution de la formation osseuse (Ihle et Loucks, 2004 ; Papageorgiou et *al.*, 2018) et ceci serait plus fréquent chez la femme. De même, chez la brebis en croissance, une baisse d'œstrogène due à une perte de poids ralentit l'accrétion osseuse et l'absorption intestinale de Ca et P (Fleet et Schoch, 2010).

Les résultats montrent aussi que pour le P corporel, la MSPE entre les données observées et prédites par le modèle de Lautrou et *al.* (2021) était partagée à 34,0 pour l'ETC et à 46,2 pour l'ER pour le traitement F100 (Figure 3a) et était majoritairement une ER (69,9%) pour F160 (Figure 4a). Ces observations montrent que l'augmentation du niveau de P digestible de 2,1 à 3,5 g/kg et du Ca dans les mêmes proportions si le ratio est le même entre F100 et F160 pourrait permettre de rattraper l'écart de minéralisation osseuse constaté entre les données observées et prédites par le modèle de Lautrou et *al.* (2021). En parallèle, ce dernier surestime également le Ca corporel (Figures 3b et 4b) et le CMO, alors que Ca corporel a été sous-estimé dans le cas du CVB.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le présent travail de comparaison des résultats des modèles mathématiques disponibles chez le porc en croissance pour estimer la rétention corporelle de P et Ca constitue une étape essentielle dans l'affinement de modèles adaptés aux cochettes de renouvellement. Les résultats montrent que, entre tous les modèles évalués, seulement celui de Lautrou et *al.* (2020) parvient à prédire la quantité de P et de Ca retenue chez la cochette entre 55 à 95 kg de PV avec une précision satisfaisante. Cependant, aucun des modèles évalués ne prédit de façon adéquate le P retenu en conditions de restriction énergétique chez les cochettes pendant la période de finition. Des études supplémentaires pour mieux comprendre et représenter l'impact d'une restriction énergétique seront nécessaires, dont les résultats permettront d'adapter les modèles aux cochettes de remplacement et formuler des recommandations robustes pour maximiser la minéralisation osseuse avant l'âge de la première saillie.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agroscope, 2004. Apports alimentaires recommandés pour les porcs. Disponible en ligne sur : [https://www.agroscope.admin.ch/dam/agroscope/fr/dokumente/themen/nutztiere/futtermittel/futtermitteldatenbank/referenzwerte-schweine-2016-10-25.xlsx.download.xlsx/Referenzwerte%20Einzelfutter%20Stand%2020180124\\_v1.xlsx](https://www.agroscope.admin.ch/dam/agroscope/fr/dokumente/themen/nutztiere/futtermittel/futtermitteldatenbank/referenzwerte-schweine-2016-10-25.xlsx.download.xlsx/Referenzwerte%20Einzelfutter%20Stand%2020180124_v1.xlsx). Consulté le 08/08/2020.
- Arthur S.R., Kornegay E.T., Thomas H.R., Veit H.P., Notter D.R., Webb Jr K.E., Baker J.L., 1983. Restricted energy intake and elevated calcium and phosphorus intake for gilts during growth. IV. Characterization of metacarpal, metatarsal, femur, humerus and turbinate bones of sows during three parities. *J. Anim. Sci.*, 57(5), 1200-1214.
- Bikker P., Blok M.C., 2017. Phosphorus and calcium requirements of growing pigs and sows. Wageningen Livestock Research (CVB documentation report 59), Wageningen, the Netherlands, 72 p.
- Fleet J.C., Schoch R.D., 2010. Molecular mechanisms for regulation of intestinal calcium absorption by vitamin D and other factors. *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.*, 47, 181-195.
- Floradin P., Pomar C., Létourneau-Montminy M.P., Schlegel P., 2021. Modulation du contenu minéral osseux chez les cochettes par un protocole de déplétion et de réplétion. *Journées Rech. Porcine*, 53, 121-126.
- Dourmad J. Y., Etienne M., Noblet J., Dubois S., Boudon A., 2021. Contenu corporel en minéraux des truies reproductrices. *Journées Rech. Porcine*, 53, 203-204.
- Ihle R., Loucks A.B., 2004. Dose-response relationships between energy availability and bone turnover in young exercising women. *J. Bone Miner. Res.*, 19(8), 1231-1240.
- Jondreville C., Dourmad J.Y., 2005. Phosphorus in pig nutrition. *INRA Prod. Anim.*, 18, 183-192.
- Jondreville C., Revy P., Dourmad J.Y., Nys Y., Hillion S., Pontrucher F., Tibau J., 2004. Influence du sexe et du génotype sur la rétention corporelle de calcium, phosphore, potassium, sodium, magnésium, fer, zinc et cuivre chez le porc de 25 à 135 kg de poids vif. *Journées Rech. Porcine*, 36, 17-24.
- Jongbloed A.W., Diepen J.T.M., van Kempe P.A., 2003. Fosfornormen voor varkens: herziening 2003. CVB-documentatierapport nr. 30, 66 p.
- Jongbloed A. W., Everts H., Kempe P. A., Mroz Z., 1999. Quantification of absorbability and requirements of macroelements. In: I. Kyriazakis (Ed), *A quantitative biology of the pig*, 275-298, . CABI pub., Wallington, Oxon, UK.
- Kasper C., Schlegel P., Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Bee G. , 2021. Accuracy of predicting chemical body composition of growing pigs using dual-energy X-ray absorptiometry. *Animal*, 15(8), 100307.
- Kraeling R.R., Webel S.K., 2015. Current strategies for reproductive management of gilts and sows in North America. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 6, 1-14.
- Lautrou M., Pomar C., Dourmad J.Y., Létourneau-Montminy M.P., 2019. Modèle mécaniste de l'utilisation métabolique du phosphore et du calcium alimentaires et de la dynamique de dépôt des cendres corporelles: version 2.0. *Journées Rech. Porcine*, 51, 135-140.
- Lautrou M., Pomar C., Dourmad J.Y., Narcy A., Schmidely P., Létourneau-Montminy M.P., 2020. Phosphorus and calcium requirements for bone mineralisation of growing pigs predicted by mechanistic modelling. *Animal*, 14, s313-s322.
- Létourneau-Montminy M.P., Narcy A., Dourmad J.Y., Crenshaw, T.D., Pomar C., 2015. Modeling the metabolic fate of dietary phosphorus and calcium and the dynamics of body ash content in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 933, 1200-1217.
- NRC (National Research Council), 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Ed. National Academies Press, Washington D.C., 400 p.
- Papageorgiou M., Dolan E., Elliott-Sale K.J., Sale C., 2018. Reduced energy availability: implications for bone health in physically active populations. *Eur. J. Nutr.*, 57(3), 847-859.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Bee G., Schlegel P., 2019. Dynamics of the mineral composition and deposition rates in the empty body of entire males, castrates and female pigs. *Animal*, 13, 950-958.
- Theil H., 1966. Applied economic forecasting. Studies in mathematical and managerial economics. Ed?? Amsterdam, The Netherlands, 503 p.
- Quiniou N., 2016. La cochette entre 30 et 110 kg n'est pas un porc charcutier. *TechPorc*, 32, 2-3.
- Quiniou N., Noblet J., 1995. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 73, 1567-1575.
- Van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.Y., Sève B, Noblet J., 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 143, 387-405.
- Whittemore C.T., Fawcett R.H., 1976. Theoretical aspects of a flexible model to stimulate protein and lipid growth in pigs. *Anim. Sci.*, 22, 87-96.

# Estimation du flux d'absorption du zinc et du cuivre chez le porc : approche par méta-analyse

Mohamed Ali KETATA, Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY, Frédéric GUAY

Département des sciences animales, Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada

Frederic.guay@fsaa.ulaval.ca

## Estimation du flux d'absorption du zinc et du cuivre chez le porc : approche par méta-analyse

L'absorption des minéraux traces, comme le zinc (Zn) et le cuivre (Cu), dépend principalement de l'apport venant des matières premières d'origine végétale et des suppléments minéraux ajoutés au régime, ainsi que de la présence de composés nutritionnels comme les phytates et les fibres. L'objectif de cette étude est de quantifier par méta-analyse l'impact des apports en Zn et en Cu ainsi que d'autres facteurs nutritionnels sur le flux d'absorption de ces minéraux. Une base de données dérivée de 29 publications publiées entre 1995 et 2019 et décrivant 165 traitements expérimentaux a été construite. Pour le Zn, deux modèles ont été établis. Le premier modèle montrait un effet positif de la concentration en Zn organique (linéaire :  $P$ -value < 0,01 ; quadratique :  $P$ -value < 0,01) et inorganique ( $P$ -value < 0,01 ;  $P$ -value = 0,08) ainsi qu'un effet linéaire négatif de la teneur en Cu ( $P$ -value = 0,05) du régime alimentaire sur le flux d'absorption ( $R^2 = 94\%$ ). Dans le second modèle, en plus de l'effet de l'apport en Zn organique et inorganique, le coefficient de digestibilité totale apparente en phosphore (P) était positivement associé avec le flux d'absorption du Zn ( $P$ -value < 0,01,  $R^2 = 96\%$ ). Pour le Cu, deux modèles ont également été établis. Le premier modèle a montré que la teneur en Zn dans le régime alimentaire affectait négativement ( $P$ -value < 0,01) le flux d'absorption du Cu alors que la teneur en Cu organique et inorganique ( $P$ -value < 0,01) l'augmentait linéairement ( $R^2 = 93\%$ ). Comme pour le Zn, le deuxième modèle a montré que le flux d'absorption du Cu était positivement associé à la digestibilité totale apparente du P ( $P$ -value < 0,01 ;  $R^2 = 96\%$ ). Les flux d'absorption du Zn et du Cu dépendent donc du contenu en ces minéraux dans les régimes, ainsi que la digestibilité du P.

## Estimation of the absorption flux of zinc and copper in pigs: approach by meta-analysis

The absorption of trace minerals, such as zinc (Zn) and copper (Cu), depends mainly on intake from ingredients and mineral supplements added to the diet, as well as the presence of nutritional compounds such as phytates and fiber. The objective of this study was to quantify the impact of Zn and Cu intake as well as those of nutritional factors on the absorption rate of these minerals using meta-analyses. A database derived from 29 publications published from 1995 to 2019 and describing 165 experimental treatments was compiled. For Zn, two models were developed. The first showed a positive effect of organic (linear:  $P$ -value < 0.01; quadratic:  $P$ -value < 0.01) and inorganic Zn concentration ( $P$ -value < 0.01;  $P$ -value = 0.08), as well as a negative linear effect of Cu content ( $P$ -value = 0.051) in the diet on the absorption rate ( $R^2 = 94\%$ ). In the second model, in addition to the effects of organic and inorganic Zn intake, the apparent total tract digestibility of phosphorus (P) was positively associated with the Zn absorption rate ( $P$ -value < 0.01,  $R^2 = 96\%$ ). For Cu, two models were also developed. The first showed that Zn content in the diet decreased the absorption rate of Cu ( $P$ -value < 0.01), while organic and inorganic Cu contents ( $P$ -value < 0.01) linearly increased it ( $R^2 = 93\%$ ). Like for Zn, the second model showed that the absorption rate of Cu was positively associated with apparent total tract digestibility of P ( $P$ -value < 0.01) ( $R^2 = 95\%$ ). The absorption fluxes of Zn and Cu therefore depend on the content of these minerals in diets and also on the digestibility of P in the diets.

## INTRODUCTION

La digestibilité des minéraux traces chez les porcs dépend principalement de leur origine (végétale ou minérale), de leur forme (organique ou inorganique) et donc de leur capacité à être absorbés par le tractus intestinal (Jondreville *et al.*, 2002 ; Revy *et al.*, 2003). Lorsque ces minéraux traces, tels que le zinc (Zn) et le cuivre (Cu), sont ajoutés aux régimes alimentaires, ils le sont généralement sous forme inorganique (sulfate et oxyde) ou organique (chélaté aux peptides, acides aminés ou polysaccharides) (Burkett *et al.*, 2009 ; Yu *et al.*, 2010). Des recherches antérieures ont montré que les formes organiques pourraient avoir une meilleure biodisponibilité que les formes inorganiques en raison d'une meilleure absorption intestinale (Burkett *et al.*, 2009). D'autres auteurs n'ont toutefois pas confirmé ceci (Wedekind *et al.*, 1992 ; Revy *et al.*, 2002).

Les minéraux traces interagissent les uns avec les autres (Poulsen *et al.*, 2016) en plus d'interagir avec certaines composantes du régime ce qui pourrait affecter leur absorption (Jondreville *et al.*, 2002 ; Revy *et al.*, 2003). Ces interactions peuvent conduire à une carence induite pour un minéral en raison d'un niveau excessif d'un autre minéral (Gaudré et Quiniou, 2015). Par exemple, le Zn et le Cu peuvent interagir entre eux et avec les différents composants du régime alimentaire comme les fibres et les phytates (Bikker *et al.*, 2012 ; Dong *et al.*, 2018).

La méta-analyse est une méthode statistique qui permet de combiner et synthétiser les données de recherche publiées sur un sujet (Sauvant *et al.*, 2020) afin d'établir une conclusion globale. Le présent travail vise donc à utiliser cette approche pour évaluer l'effet des composants alimentaires, des sources des minéraux ajoutés et de leurs interactions sur les flux d'absorption du Zn et du Cu.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. Collecte et codage des données

Les études sur l'impact des facteurs affectant la digestibilité des minéraux traces (Zn et Cu) chez le porc ont été extraites de bases de données publiques (Web of Science, CAB abstracts, Prod INRA et Science Direct) à l'aide de mots-clés tels que Zn et Cu, digestibilité iléale apparente (AID), digestibilité apparente totale du tractus (ATTD), phytase, phytate, absorption minérale, porc, porcelet et autres termes liés. La recherche bibliographique a été menée entre septembre 2019 et août 2020. La base de données générée comprend 29 publications (Les références sont disponibles auprès des auteurs) publiées entre 1995 et 2019 et inclut 165 traitements expérimentaux. Des informations générales telles que les noms des auteurs, l'année de publication, le nom de la revue, l'objectif de l'étude, l'âge, le nombre d'animaux par traitement, le taux d'incorporation des matières premières dans les régimes alimentaires et leurs compositions chimiques ont été incluses dans la base de données. Un code spécifique a été attribué à chaque article de la base de données ainsi que des codes spécifiques pour les différentes expériences incluses dans chaque étude. Afin de réduire les variations associées aux différentes méthodes d'analyse de laboratoire, la composition chimique des régimes a été calculée à partir des valeurs du NRC (2012) et de l'INRA (Sauvant *et al.*, 2004) pour les différents ingrédients des régimes et des suppléments minéraux ajoutés. Le flux d'absorption totale de Zn et de Cu a été calculé en utilisant la teneur alimentaire totale de Zn et de Cu multipliée par le coefficient de la

digestibilité totale apparente (ATTD) expérimentale de ces minéraux. Le même calcul a été utilisé pour évaluer le flux d'absorption iléale du Zn et du Cu en utilisant la valeur du coefficient de digestibilité iléale apparente (AID). Cependant, compte tenu du nombre de données sur l'AID de ces minéraux, il n'a pas été possible de faire une analyse statistique valable de ces données.

### 1.2. Étude du méta-dispositif et analyses statistiques

Des statistiques descriptives (moyenne, écart-type, minimum et maximum) ont été générées pour chaque variable (Tableau 1). Une attention particulière a été accordée au méta-dispositif, en regardant graphiquement la relation entre les variables X prises deux à deux pour évaluer l'ampleur de la variation, identifier les valeurs aberrantes et déceler la présence de colinéarité. Les relations Y et X ont également été étudiées graphiquement ainsi que les relations inter et intra expérience pour voir la forme des relations et orienter les modèles statistiques à utiliser (Sauvant *et al.*, 2008).

Toutes les variables X incluant la composition nutritionnelle en protéine brute, fibre ADF et NDF, P, calcium, Zn, Cu et P phytique et les ATTD du P, du calcium, de la protéine et de la fibre ADF et NDF et leurs interactions ont été évaluées dans la méta-analyse comme des prédicteurs du flux d'absorption totale de Zn et de Cu. Seules les variables significatives ont été retenues dans les modèles, à savoir l'ATTD du P, le Zn et le Cu provenant des ingrédients et des sources de supplément minéral en Zn et Cu. L'interaction entre certaines variables a également été étudiée.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du modèle mixte ANOVA en utilisant le logiciel Minitab (version 20, State College, PA, États-Unis). La publication a été ajoutée en effet aléatoire (Saint-Pierre, 2001). Les relations entre le flux d'absorption des minéraux traces (Zn et Cu) et les variables indépendantes ont été étudiées avec le modèle comme suit :

$$Y_{ij} = \mu + \mu_i + \beta_1 X_{ij} + \beta_2 [X_{ij}]^2 + e_{ij}$$

Avec  $Y_{ij}$  = la valeur de la variable dépendante Y dans l'étude i avec les traitements j,  $X_{ij}$  = variable indépendante,  $\mu$  = l'ordonnée à l'origine commune à toutes les études,  $\mu_i$  = effet fixe de l'étude i sur l'ordonnée à l'origine,  $\beta_1$  = le coefficient linéaire de la relation,  $\beta_2$  = le coefficient quadratique de la relation, et  $e_{ij}$  = l'erreur résiduelle. Les variables jugées significatives ( $P$ -value < 0,05) ou ayant une tendance ( $P$ -value < 0,10) ont été conservées.

### 1.3. Évaluation du modèle

L'ensemble des données ont été utilisées pour déterminer le modèle. Les performances du modèle ont donc été évaluées par une validation croisée. La RMSE (Écart-type résiduel) et la RMSEP (Écart-type résiduel de prédiction) ont été utilisées pour tester la précision des équations de prédictions du flux d'absorption du Zn et du Cu alimentaire.

## 2. RÉSULTATS

Les modèles ont été générés sur la base du flux d'absorption totale de Cu et de Zn et sur les facteurs affectant ce flux. Les effets de plusieurs facteurs tels que le type d'aliment, les concentrations de composants alimentaires et les interactions entre les composants alimentaires ont été étudiés, mais n'étaient pas significatifs. Seuls les effets significatifs seront présentés dans cette étude.

**Tableau 1** – Statistiques descriptives utilisées dans la prédiction de l'absorption totale du zinc (Zn) et du cuivre (Cu)

Variable <sup>1,2</sup>	Écart-			
	Moyenne	type	Min	Max
Énergie nette, kcal/kg	2326	213	1617	2708
Énergie brute, kcal/kg	3753	227	3304	4394
Énergie digestible, kcal/kg	3315	272	2797	4046
Matière sèche %	90,1	0,7	89,0	90,6
Cendres, %	3,0	0,9	1,1	5,0
Protéines brutes, %	18,8	2,7	11,0	22,9
Calcium, %	0,6	0,1	0,1	1,0
P, %	0,5	0,1	0,3	0,8
P Phytique, %	0,22	0,05	0,09	0,45
Zn total, mg/kg	226	512	23	3510
Zn total absorbé, mg/kg	46	110	-255	848
Cu total, mg/kg	45,3	4,4	2,9	280,0
Cu total absorbé mg/kg	9,1	29,9	-39,6	203,4
Fibre ADF, %	3,4	1,1	0,9	7,1
Fibre NDF, %	8,9	2,9	1,7	22,4
ATTD P, %	59,1	16,0	32,5	96,5
ATTD calcium, %	64,2	14,2	37,6	98,3
ATTD Zn, %	29,8	25,8	-52,9	87,9
ATTD Cu, %	25	50	-36	495

<sup>1</sup> Nombre d'observations :165, ATTD : Digestibilité apparente totale.

<sup>2</sup> Les valeurs sont exprimées en % ou par kg d'aliment

L'équation de régression générale (Tableau 2) pour le flux total d'absorption de Zn basée sur les sources minérales de Zn (organique ou inorganique) et le Cu total dans le régime alimentaire avait une ordonnée à l'origine non différente de 0 ( $P$ -value = 0,783). L'effet de la source organique du Zn était linéaire ( $P$ -value < 0,01) et quadratique ( $P$ -value < 0,05) avec une absorption maximale obtenue avec un apport de 108 mg/kg d'aliment ingéré. L'effet de la source inorganique de Zn était également linéaire ( $P$ -value < 0,01) et quadratique ( $P$ -value = 0,080) avec une absorption maximale obtenue avec un apport de 169 mg/kg d'aliment ingéré. Le Zn provenant des ingrédients n'avait pas d'effet significatif sur l'absorption totale du Zn ( $P$ -value = 0,202). Le contenu total en Cu avait un effet linéaire négatif sur l'absorption du Zn ( $P$ -value = 0,051). Ce modèle avait un  $R^2$  égal de 94 % et un écart-type résiduel de 6,9 mg/kg d'aliment ingéré.

**Tableau 2** – Modèle de prédiction de l'absorption totale du zinc (Zn, mg/kg d'aliment ingéré) en fonction des sources de zinc et de la concentration de cuivre (Cu, mg/kg d'aliment ingéré)

Paramètres	Valeur	P-value <sup>1</sup>
Ordonnée à l'origine	3,358	0,783
Zn inorganique	0,328	0,001
Zn <sup>2</sup> inorganique	-0,001	0,010
Zn organique	0,431	0,001
Zn <sup>2</sup> organique	-0,001	0,080
Cu total	-0,121	0,050
$R^2$ , %	94	
RMSE <sup>1</sup> , mg/kg	6,90	

<sup>1</sup> RMSE: Ecart-type résiduel, P-value : valeur de probabilité

Dans le deuxième modèle, l'ATTD du P a été rajoutée à l'équation de prédiction (Tableau 3). Avec ce modèle, l'équation de régression générale obtenue pour l'absorption totale de Zn avait une ordonnée à l'origine différente de 0 ( $P$ -value < 0,002) et l'ATTD du P avait un effet positif et linéaire sur le flux d'absorption de Zn ( $P$ -value < 0,001). Le Zn provenant des ingrédients avait également un effet linéaire et positif sur

l'absorption du Zn ( $P$ -value < 0,05). Des effets linéaires et quadratiques ( $P$ -value < 0,01 et  $P$ -value < 0,05) étaient observés pour les sources minérales de Zn inorganiques (valeur maximale d'absorption à 116 mg/kg d'aliment ingéré) ainsi que pour les sources de Zn organiques (valeur maximale d'absorption à 104 mg/kg d'aliment ingéré). Ce modèle présentait un  $R^2$  de 96 % et une RMSE à 6,89 mg/kg d'aliment ingéré. Une validation croisée a été effectuée pour ce modèle et a montré que les moyennes expérimentale et prédite étaient proches (Tableau 4). Par ailleurs, l'absorption estimée et l'absorption observée du Zn étaient étroitement liées. L'ordonnée à l'origine et la pente n'étaient pas significativement différentes de 0 et 1, respectivement (Figure 1).

**Tableau 3** – Modèle de prédiction de l'absorption totale du Zn (Zn, mg/kg d'aliment ingéré) en fonction des sources de Zn et de la digestibilité apparente (ATTD, %) du P

Paramètres	Valeur	P-value <sup>1</sup>
Ordonnée à l'origine	-30,015	0,020
Zn inorganique	0,530	0,001
Zn <sup>2</sup> inorganique	-0,002	0,046
Zn organique	0,495	0,001
Zn <sup>2</sup> organique	-0,002	0,015
Zn des ingrédients	0,387	0,015
ATTD du P	0,487	0,001
$R^2$ , %	96	
RMSE <sup>1</sup> , mg/kg	6,89	

<sup>1</sup>RMSE : Écart-type résiduel, P-value : valeur de probabilité

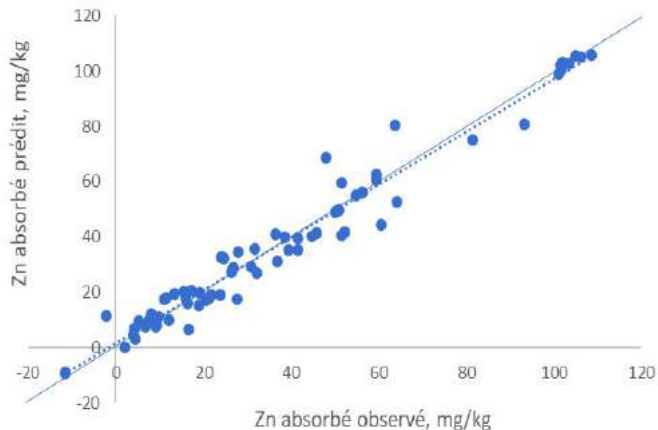
**Tableau 4** - Absorption totale apparente du Cu et du Zn observée dans les régimes expérimentaux et prédite par les modèles

	Zn absorbé, mg/kg d'aliment ingéré	Cu absorbé, mg/kg d'aliment ingéré
Moyenne expérimentale	33,50	6,47
Moyenne prédite	33,57	6,48
d <sup>1</sup>	-0,07	-0,01
Ordonnée à l'origine (A)	-0,31	-0,06
P-value <sup>2</sup>	0,74	0,81
Pente de la régression (B)	1,00	1,00
P-value <sup>2</sup>	0,65	0,74
$R^2$	0,96	0,95
RMSEP <sup>3</sup> , mg/kg	6,07	1,31

<sup>1</sup> Écart moyen par rapport à la bissectrice.

<sup>2</sup> Valeur de probabilité que A et B diffèrent de 0 et 1 respectivement

<sup>3</sup>RMSEP : Ecart-type résiduel de la prédiction

**Figure 1**- Analyse de régression de la relation entre l'absorption totale de Zn observée et celle prédite par le modèle<sup>1</sup>

<sup>1</sup>La ligne pointillée correspond à la droite de régression alors que la ligne pleine est la bissectrice  $x=y$  (voir le tableau 3 pour l'équation).

L'équation de régression générale pour le flux d'absorption totale de Cu (Tableau 5) en fonction des apports de Cu minérale (organique et inorganique), des apports par les ingrédients et la concentration du régime en Zn avait une ordonnée à l'origine non différente de 0 ( $P$ -value = 0,705). Les effets du Cu organique et inorganique sur l'absorption totale du Cu étaient linéaires et positifs (respectivement  $P$ -value < 0,001 et  $P$ -value < 0,001). En ce qui concerne l'effet de la concentration totale en Zn dans le régime alimentaire, l'analyse a révélé un effet linéaire et négatif ( $P$ -value < 0,01). Le  $R^2$  pour ce modèle était de 93 % et la RMSE était égal à 1,65 mg/kg d'aliment ingéré.

**Tableau 5** – Modèle de prédiction de l'absorption totale du Cu (mg/kg d'aliment) en fonction des sources de Cu et de la concentration en Zn (mg/kg d'aliment)

Paramètres	Valeur	P-value <sup>1</sup>
Ordonnée à l'origine	0,692	0,705
Cu organique	0,455	0,001
Cu inorganique	0,389	0,001
Zn total	-0,021	0,050
$R^2$ , %	93	
RMSE <sup>1</sup> , mg/kg	1,65	

<sup>1</sup>RMSE: Ecart-type résiduel; P-value : valeur de probabilité

L'équation de régression générale pour l'absorption de Cu dans le deuxième modèle généré (Tableau 6) avait une ordonnée à l'origine différente de 0 ( $P$ -value < 0,010) et montrait une relation linéaire et positive entre l'ATTD du P et le flux d'absorption de Cu ( $P$ -value < 0,001). Les effets des sources organiques, inorganiques et des ingrédients du Cu étaient également linéaires et positifs (respectivement  $P$ -value < 0,001,  $P$ -value < 0,001 et  $P$ -value < 0,065) alors que la concentration totale en Zn du régime était négativement associée avec le flux d'absorption du Cu ( $P$ -value < 0,001). La validation croisée de ce modèle a montré que les moyennes expérimentales et prédites étaient proches (Tableau 4). L'ordonnée à l'origine et la pente n'étaient pas, respectivement, significativement différentes de 0 et 1 (Figure 2).

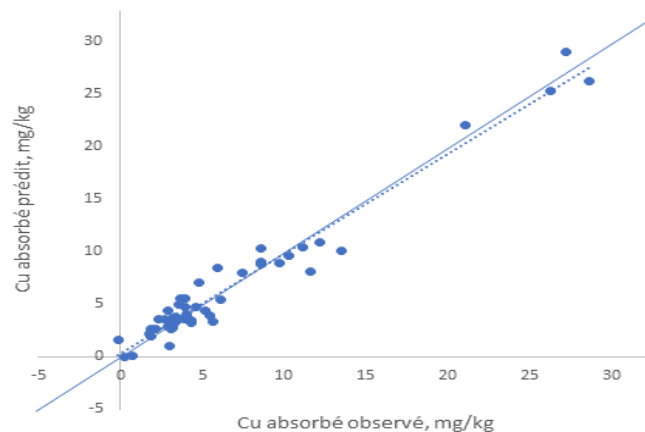
**Tableau 6** – Modèle de prédiction de l'absorption totale du Cu (mg/kg d'aliment) en fonction des sources de Cu, la concentration en Zn (mg/kg) et de la digestibilité totale apparente (ATTD, %) du P

Paramètres	Valeur	P-value <sup>1</sup>
Ordonnée à l'origine	-6,126	0,010
Cu organique	0,479	0,001
Cu inorganique	0,409	0,001
Cu des ingrédients	0,376	0,065
ATTD du P	0,102	0,001
Zn total	-0,030	0,001
$R^2$ , %	95	
RMSE <sup>1</sup> , mg/kg	1,52	

<sup>1</sup>RMSE: Écart-type résiduel; P-value : valeur de probabilité

### 3. DISCUSSION

La présente étude visait à utiliser la méthode de méta-analyse pour comprendre, prédire et quantifier l'impact des facteurs affectant le flux total d'absorption du Zn et du Cu. Les sources minérales de Zn et le Cu sont couramment utilisées comme additif alimentaire pour les porcs sous forme organique ou inorganique (Holodova *et al.*, 2019). L'impact des sources de Zn et de Cu et la présence d'antagonistes obligent généralement les nutritionnistes à prévoir des marges de sécurité lorsqu'ils complètent les régimes en minéraux (Holen *et al.*, 2020).



**Figure 2** - Analyse de régression de la relation entre l'absorption totale de Cu observée et l'absorption totale de Cu prédite par le modèle.

<sup>1</sup>La ligne pointillée correspond à la droite de régression alors que la ligne pleine est la bissectrice  $X=Y$  (voir le tableau 6 pour l'équation).

La nature de la source de Zn et de Cu est connue pour influencer l'absorption de ces deux éléments (Ma *et al.*, 2018). Les sources organiques de Zn et de Cu auraient une plus grande biodisponibilité (Ma *et al.*, 2018). Pour le Zn, les résultats montrent une absorption maximale des sources organiques et inorganiques de Zn à un apport, respectivement, de 108 et 169 mg/kg d'aliment ingéré. A ces niveaux, la quantité de Zn absorbée serait de 24 et 27 mg/kg d'aliment ingéré, respectivement avec un taux d'absorption de 22 et 16 %. Des études antérieures sur l'utilisation du Zn chez les porcs ont révélé que les sources organiques de Zn ont une plus grande biodisponibilité et une meilleure digestibilité par rapport aux sources inorganiques (Świątkiewicz *et al.*, 2001 ; Cao *et al.*, 2002). Cela pourrait s'expliquer par le fait que le Zn inorganique formerait des complexes avec des molécules organiques comme les phytates rendant le Zn insoluble et donc non absorbable (Liu *et al.*, 2014). Schlegel *et al.* (2013), en utilisant l'approche par la méta-analyse, avaient rapporté une digestibilité totale de 21 et 25% pour les sources inorganiques et organiques de Zn chez les porcs.

Pour le Cu, les valeurs des pentes observées entre le flux d'absorption de Cu et l'apport en Cu organique ou inorganique étaient de 0,455 et 0,389 suggérant, respectivement, un taux d'absorption de 45 et 39 %. Ces valeurs de digestibilité apparente du Cu seraient donc légèrement plus élevées pour les formes organiques. Elles se rapprochent également des valeurs obtenues par Lebel *et al.* (2014) et, comme pour le Zn, suggèrent une absorption légèrement supérieure pour les formes organiques.

En plus de l'apport en Zn et en Cu qui affecte leur flux d'absorption, la présente étude a montré un antagonisme entre la concentration d'un minéral sur l'absorption de l'autre. En fait, le Zn total du régime a eu un effet linéaire et négatif sur l'absorption du Cu. Le Zn est connu pour son effet antagoniste sur la biodisponibilité du Cu par la séquestration du Cu au sein des métallothionéines dont la synthèse est activée par le Zn. Cette protéine se lie au Cu dans l'entérocyte, ce qui mènerait à une séquestration du Cu et donc à une réduction de son absorption (Carlson *et al.*, 1999). En fait, le niveau de Cu alimentaire absorbé au niveau de la veine porte dépendrait du niveau de Zn dans le régime alimentaire (Dalto *et al.*, 2019). Une altération similaire de l'absorption du Cu a été observée lorsque le Zn alimentaire est supplémenté en excès (Matte *et al.*, 2017). Inversement, Veum *et al.* (2004) ont rapporté qu'une augmentation du Cu alimentaire peut réduire l'absorption du Zn chez le porcelet.

Bien qu'aucune autre composante du régime ne semble affecter le flux d'absorption du Zn et du Cu, la présente méta-analyse a montré que l'ATTD du P était positivement associée avec le flux d'absorption du Zn et du Cu. Il est connu que le P phytique peut lier les cations comme le Zn et le Cu (Selle et Ravindran, 2008 ; Bikker *et al.*, 2012). Les valeurs de teneurs en P total et en P phytique de la présente base de données montrent que le P phytique représente environ 45 à 50 % du P total, ce qui est représentatif des régimes alimentaires du porc charcutier (Gupta *et al.*, 2015 ; Planchenault *et al.*, 2019). Comme mentionné précédemment, le Zn et le Cu peuvent se lier aux phytates dans l'intestin grêle créant un complexe insoluble et rendant le minéral indigestible (Revy *et al.*, 2006 ; Blank *et al.*, 2012). L'hydrolyse complète ou partielle des phytates, en plus d'améliorer l'ATTD du P, améliorerait donc le flux d'absorption du Zn et du Cu comme montré par Adeola *et al.* (1995), Arredondo *et al.* (2019) et Revy *et al.* (2006).

Les modèles générés dans cette étude montrent que le Zn et le Cu provenant des ingrédients peuvent être une source significative de minéraux absorbables par le porc. Ces résultats sont différents de ceux rapportés par Schlegel *et al.* (2013) qui indiquaient que le Zn des ingrédients représentait un apport non-significatif de Zn absorbable. Toutefois, la prise en compte de l'ATTD du P et donc de la dégradation des phytates des ingrédients sur le flux de Cu et de Zn a peut-être permis de mettre en évidence la contribution du Zn et du Cu venant des ingrédients. Si l'on utilise la valeur moyenne de Zn et de Cu

provenant des ingrédients, soit 26,4 et 7,2 mg/kg d'aliment ingéré, l'apport de minéraux absorbables serait, respectivement, de 10,2 et 2,71 mg/kg d'aliment ingéré. Il faut aussi noter que les valeurs de l'ordonnée à l'origine des deux relations, que l'on peut associer aux pertes endogènes liées à la consommation du régime, ont pu être estimées à -6,13 et -30,01 mg/kg d'aliment ingéré. Ces valeurs associées aux valeurs moyennes de minéraux provenant des ingrédients ainsi qu'à un effet estimé de l'ATTD du P à 60 % correspondraient à des niveaux de Cu et de Zn absorbables de 2,72 et 10,81 mg/kg d'aliment ingéré. Ces valeurs de flux provenant des ingrédients ou associées à l'ATTD du P pourraient donc être considérées comme contribuant à un apport significatif lors de la supplémentation en Zn et en Cu inorganique ou organique, ce qui pourrait aboutir à la réduction de l'apport total en ces deux minéraux.

## CONCLUSION

Cette étude a permis de confirmer l'interaction entre les flux d'absorption du Zn et du Cu. Ces flux seraient également influencés par l'amélioration de l'ATTD du P suggérant que la dégradation de facteurs antinutritionnels, comme les phytates, agit positivement sur les flux d'absorption de Zn et de Cu. Finalement, cette étude a permis d'estimer l'apport de Zn et de Cu absorbable venant des ingrédients ce qui peut faciliter l'évaluation des apports en suppléments nécessaires pour combler les besoins en minéraux du porc.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adeola O., Lawrence B. V., Sutton A. L., Cline, T. R., 1995. Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs. *J. Anim. Sci.*, 73(11), 3384–3391.
- Arredondo M.A., Casas G.A., Stein H.H., 2019. Increasing levels of microbial phytase increases the digestibility of energy and minerals in diets fed to pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 248, 27–36.
- Bikker P., Jongbloed A.W., Thissen J.T.N.M., 2012. Meta-analysis of effects of microbial phytase on digestibility and bioavailability of copper and zinc in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 90(SUPPL4), 134–136.
- Blank R., Naatjes M., Baum C., Köhling K., Ader P., Roser U., Susenbeth A., 2012. Effects of formic acid and phytase supplementation on digestibility and use of phosphorus and zinc in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 90(Suppl4), 212–214.
- Burkett L.J., Stalder K.J., Powers W.J., Bregendahl K., Pierce J.L., Baas T.J., Shafer B.L., 2009. Effect of inorganic and organic trace mineral supplementation on the performance, carcass characteristics, and fecal mineral excretion of phase-fed, grow-finish swine. *Asian-Austral. J. Anim. Sci.*, 22(2), 1279–1287.
- Cao J., Henry P.R., Davis S.R., Cousins R.J., Miles R.D., Littell R.C., Ammerman C.B., 2002. Relative bioavailability of organic zinc sources based on tissue zinc and metallothionein in chicks fed conventional dietary zinc concentrations. *Anim. Feed Sci. Technol.*(1), 101, 161–170.
- Carlson M.S., Hill G.M., Link J.E., 1999. Early- and traditionally weaned nursery pigs benefit from phase-feeding pharmacological concentrations of zinc oxide: Effect on metallothionein and mineral concentrations. *J. Anim. Sci.*, 77(5), 1199–1207.
- Dalto D.B., Audet I., Matte, J.J., 2019. Impact of dietary zinc:copper ratio on the postprandial net portal appearance of these minerals in pigs. *J. Anim. Sci.*, 97(9), 3938–3946.
- Dong B., Liu S., Wang C., Cao Y., 2018. Effects of xylanase supplementation to wheat-based diets on growth performance, nutrient digestibility and gut microbes in weanling pigs. *Asian-Austral. J. Anim. Sci.*, 31(9), 1491–1499.
- Gupta R.K., Gangoliya S.S., Singh N.K., 2015. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *J. Food Sci. Technol.*, 52(2), 676–684.
- Gaudré D., Quiniou N., 2015. Quelles teneurs en minéraux et en vitamines recommander pour le régime alimentaire ? *Les Cahiers de l'IFIP*, 2(1), 51–62.
- Holen J.P., Urriola P.E., Schwartz M., Jang J., Shurson G.C., Johnston L.J., 2020. Effects of supplementing late-gestation sow diets with zinc on preweaning mortality of pigs under commercial rearing conditions. *Transl. Anim. Sci.*, 4(2), txaa010.
- Holodova M., Cobanova K., Sefcikova Z., Barszcz M., Tušnio A., Taciak M., Gresakova L., 2019. Dietary zinc and fibre source can influence the mineral and antioxidant status of piglets. *Animals*, 9(8), 1–20.
- Jondreville C., Revy P.S., Jaffrezic A., Dourmad J.Y., 2002. Le cuivre dans l'alimentation du porc : Oligo-élément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'Homme et l'environnement. *INRA Prod. Anim.*, 15(4), 247–265.
- Lebel A., Matte J.J., Guay F., 2014. Effect of mineral source and mannan oligosaccharide supplements on zinc and copper digestibility in growing pigs. *Arch. Anim. Nutr.*, 68(5), 370–384.
- Liu Y., Ma Y.L., Zhao J.M., Vazquez-Añón M., Stein H.H., 2014. Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. *J. Anim. Sci.*, 92(8), 3407–3415.
- Ma Y.L., Lindemann M.D., Webb S.F., Rentfrow G., 2018. Evaluation of trace mineral source and preharvest deletion of trace minerals from finishing diets on tissue mineral status in pigs. *Asian Austral. J. Anim. Sci.*, 31(2), 252–262.
- Matte J.J., Girard C.L., Guay F., 2017. Intestinal fate of dietary zinc and copper: Postprandial net fluxes of these trace elements in portal vein of pigs. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 44, 65–70.

- Planchenault D., Smith A., Arroyo J., Thoby J., 2019. Description du contenu en phosphore phytique des aliments complets pour les porcins. Journées Rech. Porcine, 51, 155–156.
- Poulsen H.D., Blaabjerg K., Sørensen K.U., 2016. High dietary zinc supply reduces the digestibility of phosphorus in pig diets. J. Anim. Sci., 94(7), 332–334.
- Revy P.S., Jondreville C., Dourmad J. Y., Guinotte F., Nys Y., 2002. Bioavailability of two sources of zinc in weanling pigs. Anim. Res., 51(4), 315–326.
- Revy P.S., Jondreville C., Dourmad J. Y., Nys Y., 2003. Le zinc dans l'alimentation du porc : Oligo-élément essentiel et risque potentiel pour l'environnement. INRA Prod. Anim., 16(1), 3–18.
- Revy P.S., Jondreville C., Dourmad J. Y., Nys Y., 2006. Assessment of dietary zinc requirement of weaned piglets fed diets with or without microbial phytase. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., 90(1–2), 50–59.
- Saint-Pierre N.R., 2001. Invited review: integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. J. Dairy Sci., 84(4), 741-755.
- Sauvant D., Letourneau-Montminy M.P., Schmidely P., Boval M., Loncke C., Daniel J.B., 2020. Review: Use and misuse of meta-analysis in animal science. Animal, 14(S2), s207–s222.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: 2ème édition. ISBN 2738011586, 306 p. INRA Editions Versailles
- Sauvant D., Schmidely P., Daudin J.J., St-Pierre N.R., 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. Animal, 2(8), 1203–1214.
- Schlegel P., Sauvant D., Jondreville C., 2013. Bioavailability of zinc sources and their interaction with phytates in broilers and piglets. Animal, 7(1), 47–59.
- Selle P.H., Ravindran V., 2008. Phytate-degrading enzymes in pig nutrition. Livest.Sci., 113(2–3), 99–122.
- Świątkiewicz S., Koreleski J., Zhong D.Q., 2001. The bioavailability of zinc from inorganic and organic sources in broiler chickens as affected by addition of phytase. J. Anim. Feed Sci., 10(2), 317–328.
- Veum T.L., Carlson M.S., Wu C.W., Bollinger D.W., Ellersieck M.R. 2004. Copper Proteinate in Weanling Pig Diets for Enhancing Growth Performance and Reducing Fecal Copper Excretion Compared with Copper Sulfate. J. Anim. Sci., 82 (4), 1062–1070.
- Wedekind K.J., Lewis A.J., Giesemann M.A., Miller P.S., 1994. Bioavailability of zinc from inorganic and organic sources for pigs fed corn-soybean meal diets J. Anim. Sci., 72(10), 2681–2689
- Yu Y., Lu L., Wang R.L., Xi L., Luo X.G., Liu, B., 2010. Effects of zinc source and phytate on zinc absorption by in situ ligated intestinal loops of broilers. Poult. Sci., 89(10), 2157–2165.

# Effet de stress thermiques sur le comportement des truies en gestation

Justine ABARNOU, Maëva DURAND, Charlotte GAILLARD

PEGASE, INRAE, Institut Agro, Le Clos, 35590 Saint-Gilles, France

charlotte.gaillard@inrae.fr

## Effect of thermal stress on behavior of pregnant sows

Ambient temperature, behavior and especially physical activity modify the energy requirements of pregnant sows. However, these factors are not yet integrated into calculations of daily and individual nutritional requirements. The objective of the present study was to quantify the effects of induced thermal stresses on the behavior and energy requirements of pregnant sows. Over 4 consecutive weeks and for 3 days per week, the temperature of the gestation room was maintained at different temperatures: a baseline week at 18.7°C (no stress), a cold week at 15.3°C, again a baseline week (not analyzed) and finally a hot week at 31.5°C. The behaviors (social interactions, investigation) and physical activity of 15 multiparous sows were recorded from videos over 5-h periods at night (23:00-4:00, each feeding day started at 00:00) and in the afternoon (13:30-16:30, rest period). The two thermal stresses did not influence ( $P > 0.05$ ) the time spent per activity (standing and lying,  $P = 0.78$ ). Moreover, feeding behaviors did not appear to be influenced by heat stress ( $P = 0.19$ ). In addition, social behaviors changed with temperature: the number of sows huddled together and aggressive behaviors increased during cold stress, while hot stress promoted isolation. Sows are more aggressive during a cold stress than during hot stress. These changes in sow behavior could help detect thermal discomfort and adjust the nutritional needs of sows accordingly.

## INTRODUCTION

Les attentes sociétales autour de la santé et du bien-être animal sont de plus en plus fortes en ce qui concerne l'élevage porcin. L'alimentation de précision permettrait notamment de nourrir les animaux au plus près de leurs besoins, c'est-à-dire individuellement et non par rapport à un individu moyen du groupe. L'activité physique journalière est supposée correspondre à 240 min passées debout dans le modèle InraPorc estimant les besoins nutritionnels de truies gestantes (Dourmad *et al.*, 2008), alors qu'elle varie fortement entre les truies du troupeau (entre 76 et 562 minutes de temps passé debout ou en marche, Ramonet et Bertin, 2015), au cours de la gestation et selon la température ambiante (Canaday *et al.*, 2013). Il est donc intéressant de quantifier l'effet de stress thermiques induits sur l'activité physique, les comportements alimentaires et sociaux.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

Quinze truies gestantes multipares (rang de portée moyen de 4,3), croisées Large White x Landrace, ont été logées en groupe sur sol plein en béton paillé avec un accès à deux stations d'alimentation (DAC, Gestal, Canada). Les truies étaient rationnées au DAC à l'aide du modèle InraPorc. La ration était constituée d'un mélange journalier et individuel de deux aliments en teneur différente en lysine digestible iléale standardisée (8,5 et 3,3 g/kg d'aliment, EM = 13,14 MJ/kg). La quantité d'aliments distribuée était propre à chaque truie mais

fixe au cours de la gestation. Pendant 3 jours par semaine sur 4 semaines consécutives en début de gestation, la température ambiante de la salle de gestation a été maintenue à un certain niveau. La 1<sup>ère</sup> semaine (semaine basale), la température ambiante dans la salle était de  $18,7 \pm 0,1^\circ\text{C}$  (min =  $15^\circ\text{C}$ , max =  $21^\circ\text{C}$ ). Les 2<sup>èmes</sup> et 4<sup>èmes</sup> semaines, les truies étaient, respectivement, exposées à des températures froides en moyenne de  $15,3 \pm 0,1^\circ\text{C}$  (min =  $10,5^\circ\text{C}$ , max =  $18^\circ\text{C}$ ) puis chaudes d'environ  $31,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$  (min =  $22,5^\circ\text{C}$ , max =  $34^\circ\text{C}$ ) afin de sortir de la zone de confort thermique des truies située entre 16 et  $24^\circ\text{C}$ . La 3<sup>ème</sup> semaine (semaine basale 2) n'a pas été analysée. Le temps passé aux DAC et aux abreuvoirs (Asserva, France), la quantité d'aliments ingérée et la quantité d'eau bue étaient enregistrés à chaque visite aux DAC. Les comportements sociaux et les différentes postures des truies (couchée, assise, debout, piétine, marche) ainsi que le nombre de changements de positions ont été déterminés par analyse manuelle de vidéos sur deux périodes : de 23h00 à 04h00 (« Alim », période d'alimentation débutant à minuit), et de 13h30 à 18h30 (« Repos », période de repos). Les truies étaient pesées chaque lundi matin avant modification de la température.

### 1.2. Calculs et analyses statistiques

A l'aide du logiciel R studio (version 4.0.3), un modèle linéaire à effets mixtes a été appliqué afin de déterminer par analyse de variance les effets de la semaine (**SEM**) (basale 1, chaude, froide), de la période de la journée (**PER**) (Repos, Alim), de leurs interactions et les effets aléatoires des individus sur les différentes variables comportementales. Concernant les visites au DAC et à l'abreuvoir, seul l'effet de la semaine a été pris en



compte en raison des données collectées sur 24h et non sur les périodes de 5h des analyses vidéos. Le seuil de significativité des P-values est de 0,05.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Effet du stress thermique sur l'activité physique

Les différents stress thermiques ne semblent pas influencer le temps passé debout et en marche ( $P = 0,34$ , Tableau 1). Cependant, lorsqu'il fait froid pendant la période de repos, les truies changent plus souvent de posture qu'en semaine chaude (5,0 changements par heure vs 2,7 respectivement, Tableau 1) et passent en moyenne plus de temps couchées en position ventrale que latérale (38% en semaine froide vs 30% du temps en semaine basale et chaude, Tableau 1). La posture ventrale est une stratégie de lutte contre le froid qui limite les pertes thermiques grâce à une plus faible surface en contact avec le béton froid (Canaday *et al.*, 2013).

### 2.2. Effet du stress thermique sur le comportement alimentaire

Le nombre total de visites (Tableau 1) et le nombre de visites non alimentaires au DAC ne changent pas avec les conditions thermiques ( $P = 0,19$ ). La quantité d'aliments ingérés par jour ne diminue pas lors des stress thermiques ( $P = 0,23$ , Tableau 1). En effet, les truies étant rationnées, elles consomment la totalité de leur ration chaque jour indépendamment de la

température ambiante. Néanmoins, lors de la semaine chaude, les truies consomment en moyenne plus d'eau par jour qu'en semaine basale (12,2 vs.  $9,9 \pm 0,7$  L/j), ce qui entraîne une augmentation de  $33 \pm 2,8$  % du temps passé à boire par jour.

### 2.3. Effet du stress thermique sur les comportements sociaux

Lorsqu'il fait froid, les truies se regroupent en moyenne par groupe de trois et dorment par groupe de six au maximum, tandis qu'au chaud, elles dorment plus souvent isolées ou par groupe de deux et jamais au-delà de quatre par groupe. De plus, les truies sont deux fois plus agressives lorsqu'elles sont soumises à un stress froid comparé à un stress chaud (Tableau 1). Le regroupement lorsqu'il fait froid est un comportement naturel de thermorégulation mais cela augmente la proximité des animaux (Huynh *et al.*, 2005) pouvant causer plus de comportements agressifs surtout si la sensation de satiété diminue à cause de la diminution des nutriments disponibles pour les productions.

## CONCLUSION

L'exposition à des températures hors de la zone de confort thermique des truies affecte les comportements et principalement les postures couchées. Ces modifications sont des comportements de thermorégulation permettant aux truies de s'adapter à des températures différentes. Ces changements de comportements pourraient ainsi permettre de détecter des problèmes d'ambiance et de les corriger rapidement.

**Tableau 1** – Effet de la semaine de stress thermique (basale, froide, chaude) et de la période (Repos, Alim) sur les différents comportements observés et les quantités d'aliments et d'eau ingérées

	Basale 1		Froide		Chaude		SE	P-value		
	Repos	Alim	Repos	Alim	Repos	Alim		SEM	PER	SEM x PER
Poids moyen des truies, kg	235		242		246		9,1	<0,001	-	-
<b>Comportements</b>										
Active (debout + marche), min/5h	13 <sup>b</sup>	105 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>	110 <sup>a</sup>	12 <sup>b</sup>	110 <sup>a</sup>	7,4	0,34	<0,001	0,55
Couchée, min/5h	286 <sup>b</sup>	192 <sup>a</sup>	282 <sup>b</sup>	187 <sup>a</sup>	287 <sup>b</sup>	182 <sup>a</sup>	7,5	0,44	<0,001	0,55
Couchée latérale, min/5h	221 <sup>c</sup>	114 <sup>a</sup>	196 <sup>c</sup>	96 <sup>ad</sup>	250 <sup>e</sup>	77 <sup>d</sup>	9,8	<0,05	<0,001	<0,001
Couchée ventrale, min/5h	65,0 <sup>bd</sup>	78,7 <sup>bcd</sup>	86,6 <sup>bc</sup>	90,8 <sup>c</sup>	37,7 <sup>a</sup>	105,5 <sup>d</sup>	7,7	<0,05	0,2	<0,001
Changements de position, nb/h	3,1 <sup>bc</sup>	12,0 <sup>a</sup>	5,0 <sup>b</sup>	11,2 <sup>a</sup>	2,7 <sup>c</sup>	12,6 <sup>a</sup>	0,7	0,19	<0,001	<0,05
Comportements agressifs, nb/5h	1,2 <sup>b</sup>	3,1 <sup>ab</sup>	1,4 <sup>b</sup>	4,1 <sup>a</sup>	1,1 <sup>ab</sup>	2,0 <sup>b</sup>	0,6	<0,001	<0,01	0,32
Truies blotties, nb/5h	2,7 <sup>de</sup>	2,3 <sup>c</sup>	3,1 <sup>e</sup>	2,4 <sup>cd</sup>	1,8 <sup>b</sup>	1,4 <sup>a</sup>	0,1	<0,001	<0,001	0,44
<b>Alimentation - Abreuvement</b>										
Aliments ingérés, kg/j/truie	2,9		3,1		3,0		1,1	0,23	-	-
Consommation d'eau, L/j/truie	9,9 <sup>a</sup>		9,6 <sup>a</sup>		12,2 <sup>b</sup>		2,1	0,01	-	-
Visites au DAC, nb/j/truie	6,0		6,7		5,9		0,7	0,22	-	-
Temps à l'abreuvoir, min/j/truie	10,8 <sup>a</sup>		11,1 <sup>a</sup>		14,5 <sup>b</sup>		2,1	<0,01	-	-

SEM : Semaine, PER : Période étudiée, nb : nombre. Les lettres minuscules indiquent des différences significatives (ANOVA ou test de comparaison de Tukey). SE : Erreur standard

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Canaday D.C., Salak-Johnson J.L., Visconti A.M., Wang X., Bhalerao K., Knox R.V., 2013. Effect of variability in lighting and temperature environments for mature gilts housed in gestation crates on measures of reproduction and animal well-being. *J. Anim. Sci.*, 91, 1225 – 1236.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Valancogne A., Dubois S., van Milgen J., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 143, 372 – 386.
- Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Gerrits W.J.J., Heetkamp M.J.H., Canh T.T., Spoolder H.A.M., Kemp B., Verstegen M.W.A., 2005. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Applied animal behaviour science*, 91, 1 – 16.
- Noblet Y., Shi X.S., Dubois, S., 1994. Composantes de la dépense énergétique au cours du nyctémère chez la truie adulte à l'entretien : rôle de l'activité physique. *INRA Productions Animales*, Paris : INRA, 7 (2), 135 – 142.
- Ramonet Y., Bertin C., 2015. Utilisation d'accéléromètres pour évaluer l'activité physique des truies gestantes logées en groupes. Rapport d'étude, Chambre d'agriculture de Bretagne, pp 12.

# Effet de l'enrichissement de l'environnement sur le comportement des truies gestantes

Clémence ORSINI, Maëva DURAND, Charlotte GAILLARD

PEGASE, INRAE, AGROCAMPUS OUEST, 35590 Saint-Gilles, France

[charlotte.gaillard@inrae.fr](mailto:charlotte.gaillard@inrae.fr)

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'Avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004.

## Effect of environmental enrichment on the behaviour of pregnant sows

Enriching the environment with manipulable materials seems to improve the welfare of gestating sows by increasing exploratory behaviours and reducing stereotypies. The objective of this project was to quantify effects of enrichments on different gestating sows behaviours (physical activity, exploration, social interactions) to eventually better adjust the amount of feed distributed daily and individually. The experiment was conducted during a basal week (without the addition of extra materials) followed by a test week (presence of a brush, ropes and burlap bags). The behaviour of 28 multiparous pregnant sows, housed in two groups of 14, was monitored by video analysis over two 5 h periods (PM: from 13:30-18:30; Night: 23:00-04:00) on Monday and Wednesday. Sows spent 1.0% (PM) and 2.1% (Night) of their time exploring the objects, with a high variability among individuals (0-15.2 min). The presence of enrichment did not influence the physical activity and therefore did not impact the energy requirements. Sows had fewer non-feeding visits (mean  $\pm$  standard deviation) to the feeder during the test week than during the basal week ( $4.6 \pm 2.8$  vs  $5.3 \pm 3.4$ , respectively;  $P < 0.01$ ) and fewer negative social interactions ( $4.6 \pm 5.9$  vs  $6.5 \pm 6.0$ , respectively). In conclusion, enrichment with objects improved sow welfare but had little influence on sow activity and thus on energy requirements, in part due to the presence of straw during both weeks that may have satisfied the expression of exploratory needs and promote sow activity.

## INTRODUCTION

En condition d'élevage, la restriction alimentaire couplée à une certaine incapacité d'exprimer des comportements d'exploration et de recherche de nourriture entraînent le développement de stéréotypies chez les truies gestantes (Lawrence et Terlouw, 1993) et parfois un surplus d'agressivité envers les congénères. Ces comportements témoignent d'une dégradation du bien-être des truies gestantes et sont associés à une baisse des performances (Broom, 1986). L'enrichissement de l'environnement par des matériaux manipulables permettrait de réduire ces comportements défavorables (Lyons *et al.*, 1996) et pourrait même entraîner un état affectif positif (Douglas *et al.*, 2012). Néanmoins, la présence d'objets manipulables peut accroître l'activité des truies (Quesnel *et al.*, 2018), et par conséquent affecter leurs besoins énergétiques (Dourmad *et al.*, 2008). L'objectif de cette étude est d'analyser comment l'enrichissement du milieu par des objets influence les comportements (sociaux, posturaux, exploratoires et alimentaires) des truies gestantes afin, si nécessaire, d'ajuster au mieux les quantités d'aliments à distribuer.

## 1. MATERIEL ET METHODES

L'étude a été menée sur 28 multipares, issues de deux bandes de truies gestantes croisées Large White x Landrace. Chaque bande était logée dans une salle sur aire paillée, équipée de deux abreuvoirs et deux alimentateurs (DAC) délivrant une

quantité d'aliment fixe pendant toute la gestation mais individualisée selon la parité, le poids et épaisseur de lard dorsal à l'insémination. La teneur en lysine digestible de la ration était ajustée chaque jour et pour chaque truie. L'étude s'est déroulée sur 2 semaines consécutives commençant par une semaine dite « basale » (sans accès aux matériaux manipulables) et une semaine « test » avec ajout d'objets dans les salles de gestation (brosse, cordes et sacs en toile de jute) du lundi après-midi au jeudi matin.

Les comportements individuels des truies ont été quantifiés à partir de vidéos en utilisant le logiciel BORIS v. 8.0.8 (Friard et Gamba, 2016). Le nombre et le temps passé à exprimer des comportements sociaux (positifs vs négatifs), posturaux (couchée, assise, piétine, marche, debout immobile), d'ingestion (boit, mange) et d'exploration (objets, matériel de l'enclos) ont été répertoriés sur deux périodes de 5 heures (PM : entre 13h30 et 18h30 – période de repos ; et Nuit : entre 23h00 et 04h00 – période d'alimentation) le lundi et mercredi de chaque semaine. Les données de comportements ont été analysées sur R Studio en appliquant un modèle linéaire mixte avec la semaine (basale vs test), la bande, la période (PM vs Nuit) et les doubles interactions en effets fixes, ainsi que la truie en effet aléatoire. Les besoins en énergie ont été estimés en prenant comme valeur de référence  $0,30 \text{ kJ.BW}^{0,75}.\text{min}^{-1}$  pour la position debout (Dourmad *et al.*, 2008) et en doublant cette valeur lorsque la truie était en mouvement (Marcon *et al.*, 2020).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Effet sur le comportement exploratoire

Les truies gestantes ont passé en moyenne 1,0% (PM) et 2,1% (Nuit) du temps orienté vers les objets ( $P = 0,01$ ). Une forte variabilité de la durée d'investigation des objets a été observée entre les individus (de 0 à 15,2 min en moyenne par période de 5 h). Le temps alloué à cette activité est très faible en comparaison aux résultats de Trickett *et al.* (2009) dont les porcs en engraissement passaient 15% de leur temps à manipuler des cordes. Néanmoins, les porcs étaient logés sur caillebotis, alors que les truies avaient accès à des zones paillées ce qui représente déjà une forme d'enrichissement du milieu.

### 2.2. Effet sur l'activité physique

L'enrichissement n'a pas modifié significativement le temps passé en position couché ( $P = 0,80$ ), en marche ( $P = 0,83$ ) et debout ( $P = 0,68$ ) des truies gestantes (Tableau 1). Sur l'ensemble des deux périodes (PM + Nuit), elles ont passé 22,2% de leur temps debout en semaine basale et 23,1% en semaine test. Les besoins en énergie liés à l'activité physique n'ont par conséquent pas été affectés par la présence d'objets ( $P = 0,48$ ).

### 2.3. Effet sur le comportement alimentaire

Le nombre de visites alimentaires au DAC n'a pas été influencé par la présence d'objets ( $P = 0,67$ ). Les truies ont cependant

effectué plus de visites non alimentaires au DAC durant la semaine basale ( $5,31 \pm 3,35$ ) que durant la semaine test ( $4,59 \pm 2,85$ ,  $P < 0,01$ ). Ce résultat pourrait s'expliquer par la réduction de la sensation de faim en présence d'objets masticables et manipulables (Quesnel *et al.*, 2019).

### 2.4. Effet sur les comportements sociaux

L'enrichissement a entraîné une réduction de la fréquence des contacts sociaux négatifs entre les truies gestantes, sans diminuer significativement les contacts positifs (Tableau 1). Lyons *et al.* (1996) avaient également observé une réduction des morsures en présence de substrat.

## CONCLUSION

L'enrichissement de l'environnement par des objets a peu affecté l'activité physique des truies ce qui n'a donc pas influencé leurs besoins en énergie. Ces résultats sont probablement liés à la présence de paille dans la salle de gestation, qui pourrait déjà satisfaire l'expression des besoins d'exploration. Néanmoins, la réduction du nombre de visites non alimentaires au DAC et des contacts sociaux négatifs montre un effet positif des objets sur le bien-être des truies gestantes. D'autres analyses comportementales sur les mêmes truies logées sans paille (environnement appauvri) permettront d'explorer d'avantage l'effet de l'environnement sur l'activité physique et le comportement.

**Tableau 1** – Effet<sup>1</sup> des objets sur le comportement et les besoins nutritionnels des truies gestantes

Semaine	Basale		Enrichie		P-value <sup>2</sup>						ETR
	PM	Nuit	PM	Nuit	SE	PE	BA	SE:PE	BA:SE	BA:PE	
Debout (min)	6,6	56,2	7,8	57,4	0,68	< 0,01	0,90	0,99	0,13	< 0,05	11,6
Couché (min)	284	118	281	177	0,80	< 0,01	0,84	0,88	0,27	< 0,01	7
En marche (min)	1,2	6,4	1,9	6,1	0,83	< 0,01	0,08	0,69	0,86	0,52	11,3
Poids des truies (kg)	263		259		0,39	-	< 0,05	-	0,75	-	40
Exploration objets (min)	-	-	3,0	6,3	-	< 0,01	0,90	-	-	0,18	12,6
Visites alimentaires DAC (nb/j)	1,07		1,08		0,67	-	0,86	-	0,74	-	0,85
Visites non-alimentaires DAC (nb/j)	5,31		4,59		< 0,01	-	0,67	-	0,28	-	1,89
Interactions négatives (nb)	0,8	6,5	0,7	4,6	< 0,05	< 0,01	< 0,05	0,08	0,22	< 0,01	10,1
Interactions positives (nb)	3,0	6,7	3,2	4,3	0,19	< 0,01	< 0,01	0,11	0,24	0,87	14,6

<sup>1</sup> SE = semaine, PE = période, BA = bande, PM = après-midi, ETR : écart-type résiduel, nb : nombre.

<sup>2</sup> Les tests statistiques ont été réalisés sur un modèle linéaire mixte avec SE, PE, BA et les doubles interactions en effets fixes et les individus en effet aléatoire.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Broom D.M., 1986. Responsiveness of stall-housed sows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 15, 186.
- Douglas C., Batesin M., Walsj C., Bédoué A., Edwards S.A., 2012. Environmental enrichment induces optimistic cognitive biases in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 139, 65-73.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Valancogne A., Dubois S., van Milgen J., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 143, 372-386.
- Friard O., Gamba M., 2016. BORIS: a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods Ecol. Evol.*, 7, 1325-1330.
- Lawrence A.B., Terlouw E.M.C., 1993. A review of behavioural factors involved in the development and continued performance of stereotypic behaviour in pigs. *J. Anim. Sci.*, 71, 2815-282.
- Lyons C.A.P., Bruce J.M., Fowler V.R., English P.R., 1996. A comparison of productivity and welfare of growing pigs in 4 intensive systems. *Livest. Prod. Sci.*, 43, 265-274.
- Marcon M., Quiniou N., Courboulay C., Rousselière Y., Melot G., Meunier-Salaün M.C., Labussière E., Ramonet Y., Chérel P., Le Mer M., 2020. Améliorer les performances et le bien-être des truies gravides par la mobilisation de nouvelles technologies pour une alimentation de précision et la détection de signaux comportementaux. *Innov. Agro. INRAE*, 79, 245-256.
- Quesnel H., Peuteman B., Merlot E., Prunier A., Calvar C., Robert F., Meunier-Salaün M.C., 2018. Effet de l'enrichissement du milieu des truies pendant la gestation sur le stress maternel et la survie des porcelets. *Journée Rech. Porcine*, 50, 275-280.
- Quesnel H., Peuteman B., Père M.C., Louveau I., Lefaucheur L., Perruchot M.H., Prunier A., Meunier-Salaün M.C., Gardan-Salmon D., Gondret F., Merlot E., 2019. Effect of environmental enrichment with wood materials and straw pellets on the metabolic status of sows during gestation. *Livest. Sci.*, 229, 43-48.
- Trickett S., Guy J.H., Edwards S., 2009. The role of novelty in environmental enrichment for the weaned pig. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 116, 45-51.

# Comportement de truies gestantes en situation de compétition alimentaire

Maëva DURAND et Charlotte GAILLARD

PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

charlotte.gaillard@inrae.fr

## Behaviour of gestating sows in a competitive situation for feed

Aggressive behaviours and adaptations of sows to sudden events during gestation could influence their nutritional requirements. The purpose of this study was to evaluate the impact of induced feed competition on the activity and social behaviour of gestating sows. The experiment included 31 sows, observed during the first 36 h of a “baseline” period (i.e. two feeders available in the pen) and a “test” period, in the following week, with induced feed competition (i.e. closing one of the two feeders). Skin lesions were visually recorded every week. Feeding behaviour was automatically recorded by the feeders. Video recordings allowed observers to manually identify continuously each sow’s position, occupation, and social interactions. The influence of the period (baseline vs test) and parity (primiparous vs multiparous) on these measurements was analysed using RStudio by applying a linear mixed-effects model that considered sows as a random effect. The number of non-feeding visits to the feeder was lower during the test period than during the baseline period (2.3 vs 4.7 visits/d, respectively;  $P < 0.01$ ), while the number of feeding visits did not differ between periods (1.1 visit/d). Sows stood in front of the feeder longer during the test period than during the baseline period (98.5 vs 40.1 min/d, respectively;  $P < 0.01$ ). Despite more negative social interactions during the test period (i.e. head butts and bites,  $P < 0.01$ ), the number of skin lesions did not differ between periods. To conclude, the physical activity, and feeding and social behaviours were influenced by feed competition and led to a mean increase of 5% in energy requirements of gestating sows.

## INTRODUCTION

En Europe, depuis 2013, les truies doivent être logées en groupe au cours d’une période de leur gestation. Cela permet l’expression de comportements sociaux naturels comme la mise en place d’une hiérarchie qui régit fortement l’accès aux ressources du logement tels que l’espace et l’alimentation. Ainsi, lorsque les truies sont logées en groupe, elles dépensent de l’énergie et du temps pour accéder à l’aliment et à l’espace disponible (Spoolder et Vermeer, 2015). Le niveau d’agressivité des truies entre elles devient ainsi un paramètre important à surveiller. S’il est trop élevé, il peut avoir un effet négatif sur les performances de reproduction, le bien-être et la santé des truies (Brajon *et al.*, 2019). L’utilisation de distributeurs automatisés d’aliments (DAC) permet de délivrer une ration de manière individualisée, rendant possible la régulation des apports d’aliments aux besoins nutritionnels individuels (Gaillard *et al.*, 2021), et aussi l’observation du comportement alimentaire des truies. L’objectif de ce travail était d’évaluer l’impact d’un test de compétition alimentaire sur l’activité physique et le comportement de truies gestantes, dans la perspective d’ajuster par la suite les calculs des besoins nutritionnels.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

L’expérimentation a inclus 31 truies gestantes croisées Large White x Landrace entre la 3<sup>ème</sup> et la 6<sup>ème</sup> semaine de gestation,

dont 23 multipares, issues de deux bandes de truies de la station expérimentale UE3P Saint-Gilles (INRAE, France). Chaque bande était logée dans une salle de 7,2 m par 8,2 m, au sol plein béton légèrement paillé, équipée de deux DAC Gestal® (Jyga Technologies Inc., Québec, Canada) et deux abreuvoirs connectés (Asserva, Lamballe, France). Les besoins nutritionnels ont été calculés pour chaque truie à partir du modèle développé par Gaillard *et al.* (2019). La ration était composée d’un mélange journalier et individuel de deux aliments aux teneurs en lysine digestible différentes (3,3 vs 8,5 g/kg) pour une valeur énergétique métabolisable de 13,1 MJ/kg. La quantité distribuée était ajustée pour chaque truie mais fixe au cours de la gestation. La compétition alimentaire a été induite en fermant l’accès à l’un des deux DAC de chaque salle pendant 5 jours (période test). La semaine précédente dite « basale » a servi de période de référence (sans modification de l’environnement d’élevage).

### 1.2. Mesures expérimentales

Deux caméras (conception Ro-Main Inc., Québec, Canada) par salle ont enregistré en continu des vidéos des truies des deux bandes. Des analyses manuelles à l’aide du logiciel Observer (Noldus, Wageningen, Pays-Bas) ont été réalisées sur les 36 premières heures de chaque période par deux examinateurs formés. Pour chaque truie, sa posture (couchée, assise, debout, marche), son occupation (boit, observe, explore), sa localisation dans la salle et ses interactions sociales (positives ou négatives) ont été relevées. La sévérité et le nombre de lésions cutanées ont également été dénombrés à l’issue de chaque période. Les

données enregistrées par les DAC au moment d'une visite ont permis le calcul du temps passé dans ceux-ci, du nombre de visites et de la quantité d'aliment consommée.

### 1.3. Analyses statistiques et calculs

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel RStudio (version 4.0.3). Un modèle linéaire mixte a été utilisé avec la période (basale vs test), la parité (primipare vs multipare) et la bande en effets fixes et en incluant l'effet aléatoire de la truie. Les besoins en énergie métabolisable (EM) liés à l'activité ont été estimés à partir de la référence établie pour la posture debout à  $0,30 \text{ kJ EM.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$  (Noblet *et al.*, 1993 ; Dourmad *et al.*, 2008).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Comportement alimentaire

Au niveau collectif, pendant la période test les truies ont prolongé leur période d'alimentation (débutant à 00h00) comparé à la période basale (fin vers 11h vs. 05h respectivement,  $P < 0,01$ ). Au niveau individuel, le nombre de visites alimentaires n'a pas été affecté par la période (en moyenne 1,1 visite/jour,  $P = 0,50$ ) ce qui est probablement lié au rationnement des truies qui consomment généralement leur ration en une seule fois (Gaillard *et al.*, 2021). Le nombre de visites non-alimentaires (sans consommation d'aliment) a été divisé par deux lors de la période test comparé à la période basale (2,3 vs 4,7 visites/jour/truie,  $P < 0,01$ ). Cette réduction est directement en lien avec l'augmentation du nombre de truies par DAC (passage de 7-8 à 15-16 truies par DAC selon la bande). Cependant ce ratio en semaine test reste acceptable par rapport aux recommandations de Ramonet *et al.* (2009) qui est d'une cinquantaine de truies par DAC.

Les multipares ont effectué plus de visites non-alimentaires que les primipares (4,6 vs 2,8 visites/jour/truie,  $P = 0,03$ ). Ce résultat va à l'encontre de ceux trouvés dans la littérature, faisant état d'une plus grande curiosité des primipares (Ramonet *et al.*, 2009). Il peut cependant s'expliquer par le rang hiérarchique des multipares, généralement plus élevé que les primipares, qui conditionne la facilité d'accès à la ressource alimentaire ici le DAC (Spoolder et Vermeer, 2015).

### 2.2. Activité physique et les besoins nutritionnels

La parité n'a pas eu d'effet sur la durée des activités. Le temps passé assis ou en marche n'a pas été affecté par la période. En période test, le temps passé en position couchée a diminué lors de la période d'alimentation comparé à la période basale. En moyenne, chaque truie a réduit d'environ 55 min/j son temps

passé en position couchée ( $P < 0,01$ ) et augmenté son temps d'attente debout devant le DAC en période test comparé à la période basale (98,5 vs 40,1 min/jour/truie,  $P < 0,01$ ). Cette augmentation du temps passé debout se traduit par un besoin journalier accru de 1132 kJ EM pour une truie de 250 kg, soit 5% des besoins énergétiques d'entretien calculés pour un temps moyen debout de 4 h par jour (Dourmad *et al.*, 2008). Pour couvrir les besoins énergétiques associés à presque 1 heure supplémentaire de position debout, il faudrait un apport supplémentaire de 87 g pour un aliment formulé à 13 MJ EM/kg. Cependant, ce résultat est à mettre au regard de la précision du DAC, ici à 50 g.

### 2.3. Comportements sociaux

La parité n'a pas eu d'effet sur le nombre de comportements sociaux négatifs. La sévérité et le nombre de lésions cutanées n'ont pas été affectés par la période ( $P = 0,23$ ). Etonnamment, le nombre d'interactions négatives entre les truies a augmenté en période test par rapport à la période basale (22,3 vs 6,9 interactions négatives/truie,  $P < 0,01$ ) notamment autour du DAC : incluant les coups de têtes (7,8 vs 3,0,  $P < 0,01$ ), les bousculades (5,6 vs 2,2,  $P < 0,01$ ) et les comportements de fuite (4,9 vs 2,1,  $P < 0,01$ ). Il semblerait ainsi que les truies ont exercé plus de comportements d'intimidation ou de fuite que d'agressions. L'augmentation d'une tension sociale due à l'accessibilité à la ressource alimentaire est fréquemment observée dans les études (Spoolder et Vermeer, 2015).

## CONCLUSION

L'induction d'une compétition alimentaire au sein d'un groupe de truies gestantes peut entraîner un temps passé en position debout accru et des interactions sociales négatives exacerbées, induisant une augmentation moyenne des besoins énergétiques de 5% sur les 36 premières heures de la compétition. Ainsi, même s'il est dans la gamme des recommandations, le nombre de truies par alimentateur reste un paramètre important à prendre en compte, au regard du niveau d'agressivité des truies et de la gestion de l'élevage. La prochaine étape de ce travail est de poursuivre l'analyse vidéo sur les jours suivants et au cours d'une répétition quelques semaines plus tard afin de vérifier si l'augmentation des besoins énergétiques reste stable à 5%.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'ANR au titre du programme d'Investissements d'avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004 et du département PHASE d'INRAE.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brajon S., Ahloy-Dallaire J., Devillers N., Guay F., 2021. Social status and previous experience in the group as predictors of welfare of sows housed in large semi-static groups. PLoS ONE, 16.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Valancogne A., Dubois S., van Milgen J., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. Anim. Feed Sci. Technol., 143, 372-386.
- Gaillard C., Gauthier R., Cloutier L., Dourmad J.-Y., 2019. Exploration of individual variability to better predict the nutrient requirements of gestating sows. J. Anim. Sci., 97, 4934-4945.
- Noblet J., Shi X.S., Dubois S., 1993. Energy cost of standing activity in sows. Livest. Prod. Sci., 34, 127-136.
- Ramonet Y., Chopin E., Caille M.E., Dubois A., 2009. Loger les truies en groupes au DAC : Différencier les zones de vie pour un aménagement réussi. TechniPorc, 32(6), 3-8.
- Spoolder H.A.M., Vermeer H.M., 2015. Gestation group housing of sows. In: Farmer C. (Ed), The gestating and lactating sow, 47-72. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.

# Efficacité des glucides fonctionnels raffinés associés à de la bentonite sur les performances de reproduction des truies en gestation nourries avec un aliment contenant de la zéaralénone et du déoxynivalénol

Ronan TANGUY (1), Antonio VARGAS (2), María José CARRION-LOPEZ (2), Sangita JALUKAR(1)

(1) ARM & HAMMER Animal and Food Production, CHURCH & DWIGHT, 469 N. Harrison St, Princeton, NJ 08450, Etats-Unis

(2) GENERA PM Office, Calle Punta Secca 1, Aptdo 4, 30370 Cabo De Palos, Espagne

sangita.jalukar@churchdwright.com

## Efficacy of refined functional carbohydrates combined with bentonite for reproductive performance of sows fed a gestation diet containing zearalenone and deoxynivalenol

Zearalenone (ZEN) and deoxynivalenol (DON) mycotoxins play a major role in decreasing fertility and increasing mortality and stillbirths in sows. The objective of this study was to evaluate effects of supplementation of refined functional carbohydrates (RFC) derived from enzymatically hydrolyzed *Saccharomyces cerevisiae* yeast combined with bentonite from insemination to d112 of gestation on reproductive performance of sows receiving gestation diets containing a mean of 290 µg/kg ZEN and 69 µg/kg DON. The study was conducted at a commercial sow farm. Three hundred and three sows (Landrace × Large White) were allocated to one of two treatments with or without RFC plus bentonite. The study began when estrus was detected and sows were inseminated, to d112 of gestation. Percentage fertility rate, percentage farrowing rate, sow mortality, and litter size (total, alive, stillborn and mummified) were measured. Data were analyzed using Minitab (version 17.0 for Windows), with the sow as the experimental unit. Treatment effects were considered significant at  $P \leq 0.05$  and showing a trend at  $P < 0.10$ . A trend in treatment effects was noted for fertility rate. Sows fed RFC + bentonite had a 93.4% fertility rate, compared to 87.5% in control-fed sows ( $P = 0.08$ ). Treatment effects were also noted for farrowing rate and mortality rate. Sows fed RFC + bentonite had a 89.4% farrowing rate, compared to 79.6% in control-fed sows ( $P = 0.02$ ). Sow mortality in the treatment group was 0.7%, compared to 5.3% in control-fed sows ( $P = 0.02$ ). No significant treatment effects were noted for litter size. In conclusion, RFC + bentonite supplementation in sow diets containing moderate levels of DON and ZEN helps reduce the negative impacts of mycotoxins on reproductive performance and mortality in sows.

## INTRODUCTION

Ces dernières années, la prévalence d'au moins une mycotoxine dans les aliments pour animaux ou leurs matières premières a atteint 88%, la prévalence de la zéaralénone (ZEN) et du déoxynivalénol (DON ou vomitoxine) étant respectivement (Gruber-Dorninger *et al.*, 2019) de 45% et 64%. Les porcs sont plus sensibles aux mycotoxines alimentaires que les autres animaux d'élevage, en particulier les jeunes porcs et les animaux reproducteurs. La rentabilité d'une exploitation porcine dépend du nombre de porcs sevrés par truie et par an, qui dépend à son tour des performances de reproduction et de la santé des truies. Les mycotoxines zéaralénone et DON jouent un rôle majeur dans la diminution de la fertilité et l'augmentation de la mortalité et des mort-nés chez les truies. Les liants utilisés habituellement pour piéger les mycotoxines sont apparemment moins efficace contre le DON. Dans des études antérieures, un produit prébiotique à base de levure hydrolysée par voie enzymatique a pu bloquer les effets de

cytotoxicité intestinale *in vitro* provoqués par des mycotoxines communes, dont le DON (Baines *et al.*, 2011). De plus, chez les vaches laitières, ce prébiotique a bloqué le transfert de l'aflatoxine B1 du digesta au lait (Baines, 2014).

L'étude présentée a été menée pour évaluer l'effet de glucides fonctionnels raffinés (RFC) dérivés de la levure *Saccharomyces cerevisiae* hydrolysée par voie enzymatique, combinés à de la bentonite (BGMAX™, ARM & HAMMER, USA), sur la performance reproductive de truies recevant des régimes de gestation contenant de la ZEN et du DON.

## 1. MATERIEL ET METHODES

L'étude a été menée dans une ferme commerciale de 1500 truies située à Lorca (Murcia, Espagne). Trois cent trois truies (Landrace x Large White) de rang de portée moyen 3,85 ont été affectées à l'un des deux traitements (Contrôle ou RFC + Bentonite, Bg-Max, Arm & Hammer, USA, incorporée à 0,2%). L'étude a commencé lorsque l'œstrus a été détecté et que les

truies ont été inséminées, jusqu'au 112<sup>ème</sup> jour de gestation. Entre l'insémination et le contrôle de la fertilité (28 j), les truies étaient logées dans une unité de contrôle de la gestation et nourries selon le score d'état corporel. Du 28<sup>ème</sup> jour de gestation jusqu'à l'entrée dans la salle de mise bas, les truies étaient logées en groupe. La surface totale disponible pour chaque truie était alors de 2,31 m<sup>2</sup>. Les truies du lot Contrôle et du lot RFC + Bentonite étaient logées dans des enclos différents et ont reçu la même quantité d'aliment pendant la gestation. Les truies ont été nourries avec le même aliment de gestation de base contaminé par des mycotoxines complété avec 0 ou 0,2% de RFC + bentonite. Le niveau de mycotoxines dans les aliments pour animaux dans cette étude et les niveaux historiques sont décrits dans le tableau 1. Les épaisseurs de lard dorsal et de muscle lombaire ont été mesurées au point P2 par ultrason le jour de l'insémination. Pendant la période expérimentale, les traitements individuels (date et cause d'administration de médicaments) et la mortalité (date et

raison apparente) ont été enregistrés chaque jour. A partir du 18<sup>ème</sup> jour après la première insémination, les truies ont été contrôlées une fois par jour pour détecter les signes d'œstrus par contact avec un verrat. Vers le 28<sup>ème</sup> jour après l'insémination, la gestation a été confirmée par un contrôle échographique. Le rapport entre le nombre de truies gestantes et le total des truies reproductrices indiquait le pourcentage de fertilité et le nombre de truies à la mise bas indiquait le taux de mise bas. L'intervalle sevrage-œstrus a également été enregistré après une lactation de 22,4 jours en moyenne. Le nombre et le poids individuel des porcelets 24 heures après la naissance (totaux = vivants + mort-nés + momifiés) ont été mesurés.

Les données ont été analysées à l'aide de Minitab (version 17.0 pour Windows), la truie étant l'unité expérimentale. Les effets du traitement ont été considérés comme significatifs à  $P \leq 0,05$  et présentant une tendance à  $P < 0,1$ .

**Tableau 1** – Analyse des mycotoxines dans les aliments pour animaux

Teneur moyenne en mycotoxines	Déoxynivalénol	Zéaralénone
Aliment de gestation utilisé dans cette étude <sup>1</sup>	290 µg/kg	69 µg/kg
Médiane dans ~18 000 échantillons porcs collectés dans le monde entier <sup>2</sup>	294 µg/kg	41 µg/kg

<sup>1</sup> Aliment utilisé du sevrage à 112 jours de gestation (entrée dans la salle de mise bas), formulé à 12,8 MJ d'énergie métabolisable/kg et 0,6 % de lysine digestible idéale standardisée typique de la région. <sup>2</sup> Gruber-Dorninger et al. (2019).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'épaisseur du lard dorsal et la profondeur du muscle de la longe à l'insémination n'étaient pas différentes entre les traitements ( $P > 0,05$ ). Les résultats des paramètres de reproduction (fertilité, taux de mise bas, prolificité et poids des porcelets à la naissance) sont présentés dans le tableau 2. La fertilité, le taux de mise bas et la mortalité ont été statistiquement affectés par le traitement alimentaire. Le traitement RFC + bentonite a présenté une tendance à un indice de fertilité plus élevé ( $P = 0,08$ ) et un taux de mise bas statistiquement plus élevé ( $P = 0,02$ ) que le groupe Contrôle. La mortalité des truies dans le

groupe RFC + Bentonite était de 0,7% contre 5,3% dans le groupe Contrôle ( $P = 0,02$ ). Aucun effet significatif du traitement n'a été observé pour la prolificité, le poids à la naissance des porcelets, l'intervalle entre le sevrage et l'œstrus et le nombre total de porcelets nés.

## CONCLUSION

En conclusion, la supplémentation en RFC + bentonite dans les régimes alimentaires des truies contenant des niveaux modérés de DON et de zéaralénone a amélioré le taux de mise bas et a réduit la mortalité chez les truies.

**Tableau 2** – Résultats des paramètres de reproduction

	Traitements		Statistiques	
	Témoïn	RFC+ Bentonite	SEM <sup>1</sup>	P-value
Nombre de truies	152	151	-	
Rang de portée	3,8	3,9	0,18	0,68
Fertilité, % des truies inséminées <sup>2</sup>	87,5	93,4	-	0,08
Taux de mise bas, % des truies inséminées <sup>2</sup>	79,6	89,4	-	0,02
Mortalité, % des truies inséminées <sup>2</sup>	5,3	0,7	-	0,02
Porcelets nés totaux/portée	19,1	19,4	0,62	0,20
Porcelet nés vivants/portée	16,3	17,0	0,60	0,66
Porcelets mort-nés/portée	2,5	2,1	0,39	0,87
Porcelet momifié/portée	0,3	0,4	0,09	0,65
Poids moyen à la naissance (nés totaux), kg <sup>3</sup>	1,26	1,30	0,031	0,36
Intervalle sevrage-œstrus, j <sup>4</sup>	6,5	5,0	0,90	0,90

<sup>1</sup> SEM = erreur standard à la moyenne. <sup>2</sup> Les pourcentages ont été analysés avec un test du Chi<sup>2</sup>. <sup>3</sup> Analyse de variance avec le traitement, la taille de portée, la parité, et l'interaction traitement x parité en effets fixes. <sup>4</sup> L'intervalle sevrage-œstrus a été analysé à l'aide d'un test non paramétrique de Kruskal Wallis.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baines D., 2014. Evaluation of prebiotics and probiotics to reduce toxicity of pure and mixed-feed mycotoxins in vitro and to prevent carry-over of aflatoxin B1 in dairy cows. In: Proc. of the Gut Health Symposium, St. Louis, USA Abstract #2021.
- Baines D., Erb S., Lowe R., Turkington K., Sabau E., Kuldau G., Juba J., Masson L., Mazza A., Roberts R., 2011. A prebiotic, Celmanax™, decreases Escherichia coli O157:H7 colonization of bovine cells and feed-associated cytotoxicity in vitro. BMC Research Notes, 4, 110.
- Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G., 2019. Global mycotoxin occurrence in feed: A Ten-Year Survey, Toxins, 11, 375.

# L'ajout d'une xylanase bactérienne dans l'alimentation des truies en lactation améliore la valorisation énergétique de l'aliment

Christelle BOUDRY (1), Marta I. GRACIA (2), Stéphane BENABEN (3), Emmanuel LANDEAU (3)

(1) Belfeed, Industrialaan 25, 1702 Groot-Bijgaarden, Belgique

(2) Imasde Agroalimentaria, S.L., C/ Nápoles, nº 3, Pozuelo de Alarcón C.P. 28224, Madrid, Espagne

(3) Jefo, 2 rue Claude Chappe, Espace Performance La Fleuriaye, BP 50776, 44481 Carquefou Cedex, France

cboudry@belfeed.com

## Supplementing lactating sow diets with a bacterial xylanase improves energy use of the feed

With the evolution of the litter size, the energy supply to the lactating sow is a major challenge in pig production. In this context, the aim of this study was to measure effects of addition of a bacterial xylanase to the diet of lactating sows. A total of 32 crossbred Landrace × Large White sows were used for the assay and split evenly between two treatments: a control diet (CTRL) or the XYL diet (control diet + 10 IU of a bacterial xylanase/kg) from the entry in maternity (7 days before farrowing) until weaning of the piglets at the age of 21 days. The sows received the feed according to a pre-established program.  $TiO_2$  was added to the diet as an indigestible marker. At the beginning and end of the study, the body condition (weight and back fat) of the sows was measured. Individual feed intake was measured, and some feces were collected from days 16-19 of lactation to establish the apparent fecal digestibility of the main nutrients. The piglets were counted and weighted at birth and at weaning to calculate mortality and growth rates. Higher ( $P < 0.05$ ) digestibilities of dry matter (+1.9 percentage point), energy (+1.8), proteins (+2.2) and fiber (NDF: +4.3) were observed in the XYL group. These effects on the digestibility of the diet did not modify significantly body conditions of the sows or growth of the piglets. An increase in litter weight gain was however observed in the XYL group (44.2 vs 41.6 kg/litter), the number of repetitions and/or the length of lactation did not allow to see a significant difference. It can be concluded that the bacterial xylanase can be fed to lactating sows to improve the digestibility of the diet. Benefits on growth of the litters remain to be confirmed.

## INTRODUCTION

L'utilisation de xylanases dans l'alimentation des monogastriques est une pratique courante chez la volaille et le porc en croissance afin d'améliorer principalement la valorisation énergétique de la ration. Chez la truie, la pratique est moins répandue alors que pendant la lactation l'apport énergétique constitue un défi majeur. En effet, les capacités d'ingestion de la truie sont en général insuffisantes pour couvrir leurs besoins pendant la lactation. Elles puisent donc dans leurs réserves corporelles. Dans des situations extrêmes, ceci peut nuire à la reproduction de la truie (Thaker et Bilkei, 2005) et à la croissance de la portée (Dourmad *et al.*, 1994). Dans ce contexte, une xylanase bactérienne a été testée dans l'alimentation de truies en lactation. Après avoir démontré son effet sur la croissance des porcelets allaités (Wavreille *et al.*, 2019), l'effet sur la digestibilité de la ration a été étudié.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et aliments

L'étude conduite par le groupe IMASDE Agroalimentaria a été menée dans un élevage situé en Ségovie (Espagne). Trente-six truies Landrace x Large White ont été utilisées pour l'essai. Les truies sont entrées en maternité 1 semaine avant la mise-bas et

ont été réparties entre deux aliments sur base de leur rang de portée, poids, épaisseurs de lard et de muscle dorsal.

Les aliments différaient uniquement en composition par l'ajout de xylanase : aliment contrôle sans xylanase ajoutée (CTRL, Tableau 1) ou aliment avec xylanase ajoutée (XYL, aliment contrôle + 10 IU/kg d'une enzyme bactérienne (4a1606i, Belfeed NV)). Un marqueur indigestible ( $TiO_2$ ) a été ajouté aux deux aliments à hauteur de 0,5 %.

L'aliment a été distribué sous forme de granulés, depuis le jour de l'entrée en maternité jusqu'au sevrage des porcelets à 3 semaines, soit une durée totale de 28 jours.

### 1.2. Mesures

Lors de l'entrée en maternité (J0) ainsi qu'au sevrage (J28), les truies ont été pesées et les épaisseurs de lard dorsal et de muscle dorsal ont été déterminées au site P2. Les quantités d'aliment distribué manuellement et les refus ont été enregistrés tout au long de l'essai (corrégés sur base de la matière sèche, MS).

Une collecte partielle quotidienne des matières fécales a été réalisée du jour 16 au jour 19 de lactation sur chacune des truies. Les échantillons ont été congelés avant d'être séchés, homogénéisés et analysés pour leur teneur en MS, cendres, protéines brutes, extrait éthéré, énergie brute et fibres (cellulose brute (CB), NDF, ADF, ADL, fibre alimentaire totale



(TDF)) ainsi que la teneur en titane. Les mêmes analyses ont été réalisées sur les aliments. A partir de ces données, les teneurs en hémicellulose (NDF - ADF), cellulose (ADF - ADL) et polysaccharides non amylacés (NSP = TDF - ADL) ont été calculées.

La digestibilité fécale apparente totale (Dig.FAT) de chacun des nutriments a été calculée selon l'équation :

$$\text{Dig.FAT (\%)} = [1 - (X_{\text{fèces}}/X_{\text{aliment}}) \times (T_{\text{aliment}}/T_{\text{fèces}})] \times 100$$

où :

- $X_{\text{fèces}}$  = concentration de l'élément X dans les fèces (% MS)
- $X_{\text{aliment}}$  = concentration de l'élément X dans l'aliment (% MS)
- $T_{\text{aliment}}$  = concentration en titane de l'aliment (% MS)
- $T_{\text{fèces}}$  = concentration en titane des fèces (% MS)

**Tableau 1** – Composition de l'aliment

	Ingrédients, %
Blé	41,30
Orge	25,00
Son de blé	5,30
Tourteau de soja 47	11,50
Tourteau de colza	8,00
Pulpe de betterave	2,00
Huile de soja	2,30
Carbonate de calcium	1,61
Phosphate monocalcique	0,97
NaCl	0,22
Prémix <sup>1</sup>	1,30
TiO <sub>2</sub>	0,50
	Nutriments
Energie nette truies, kcal/kg	2 314
Cendres, %	5,74
Protéines brutes, %	16,00
Lysine digestible, %	0,84
Cellulose brute, %	4,60
Extrait éthéré, %	3,98
Calcium, %	0,95
Phosphore digestible, %	0,36

<sup>1</sup> Autres minéraux, acides aminés et phytase.

La taille des portées ainsi que le poids individuel des porcelets ont été déterminés à la naissance avant et après adoptions réalisées exclusivement entre des truies recevant le même aliment. La mortalité des porcelets a été suivie tout au long de la lactation. Ceux-ci ont été pesés au sevrage afin d'établir le gain de poids par portée (sans prise en compte des morts).

### 1.3 Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide de SPSS (ver. 24.0). Le modèle (GLM) inclut le régime (CTRL vs XYL) comme facteur fixe.

La truie est l'unité expérimentale pour l'ensemble des analyses. La comparaison des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Tukey. Le rang de portée des truies a été utilisé comme covariable pour l'analyse des performances zootechniques.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 2 présente les résultats des mesures de digestibilités fécales apparentes pour les truies des deux régimes.

**Tableau 2** – Digestibilité fécale apparente (%) des principaux constituants de l'aliment

Digestibilité (%)	CTRL	XYL	ETR <sup>1</sup>	P-value
Matière sèche	79,2	81,1	0,51	0,012
Protéines brutes	80,4	82,6	0,73	0,041
Extrait éthéré	73,6	77,2	0,95	0,011
Energie brute	80,9	82,7	0,50	0,015
Cellulose brute	21,8	29,2	2,20	0,002
NDF	41,5	46,8	1,48	0,017
ADF	19,9	26,0	2,39	0,080
TDF	48,8	54,0	1,29	0,008
Cellulose	55,5	60,3	1,45	0,028
Hémicellulose	33,6	35,8	3,04	0,611
Total NSP	55,4	59,5	1,31	0,037

<sup>1</sup> Ecart-type résiduel.

L'amélioration de la digestibilité des fractions fibreuses de l'aliment confirme l'effet direct de l'enzyme sur son substrat. Les augmentations de la digestibilité des autres constituants tels que les protéines et les matières grasses sont une indication claire de l'effet de la xylanase bactérienne sur l'effet-cage de la structure fibreuse, mettant davantage de nutriments à disposition de l'animal. Par ailleurs, l'amélioration de la digestibilité de la cellulose pourrait s'expliquer par un meilleur accès de la flore cellulolytique à son substrat (Petry *et al.*, 2021).

L'amélioration de la digestibilité de l'aliment dans cet essai ne s'est pas traduite par un changement significatif de l'état des truies (résultats non présentés) ou du gain de poids des portées. Cependant, ce dernier (CTRL : +41,6 vs XYL : +44,2 kg/portée) semble confirmer l'amélioration significative obtenue lors d'un essai précédent (Wavreille *et al.*, 2019) sur une période de lactation plus longue (28 jours vs 19 jours dans cet essai) et sur un plus grand nombre de truies.

## CONCLUSION

Comme dans d'autres espèces, l'ajout de la xylanase bactérienne dans l'alimentation de la truie en lactation permet une amélioration de la digestibilité de la ration et donc une meilleure valorisation de l'aliment. L'effet bénéfique sur les performances de croissance des portées reste à confirmer aux travers d'autres essais.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dourmad J. Y., Etienne M., Prunier A., Noblet J., 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: A review. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 87-97.
- Petry A.L., Huntley N.F., Bedford M.R., Patience J.F., 2021. The influence of xylanase on the fermentability, digestibility, and physicochemical properties of insoluble corn-based fiber along the gastrointestinal tract of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 99, 1-11.
- Thaker M.Y., Bilkei G., 2005. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. *Anim. Reprod. Sci.*, 88, 309-318.
- Wavreille J., Boudry C., Hardy N., Destombes N., 2019. L'ajout d'une xylanase bactérienne dans l'alimentation des truies en lactation améliore la croissance de la portée. *Journées Rech. Porcine*, 51, 159-160.

# Effet sur le poids de portée de porcelets au sevrage d'une supplémentation en pidolate de calcium dans l'aliment distribué aux truies en péri mise-bas

Hélène PITHON, Clémence MARECAILLE, Xavier ROULLEAU

DIETAXION S.A.S., 283 rue Ampère, ZA de la Noë Bachelon, 44430, Le Loroux Bottereau, France

c.marecaille@dietaxion.com

## Effect of a dietary supply of calcium pidolate to sows around farrowing on litter weight of piglets at weaning

In the past 20 years, genetic selection has improved the prolificity of sows. It is thus essential to stimulate calcium metabolism to favour uterine contractions and avoid overly long farrowing, which can decrease the vitality of the last piglets born. Stimulating calcium metabolism also helps sows start producing milk well, which leads to good growth of their piglets. In this context, effects of a supply of calcium pidolate in sow feed around farrowing on the performance of their piglets were studied. Sows Danbred (n=286) were divided into two groups: a control group ("CTRL", 145 sows) and a supplemented group ("PCa", 141 sows). The sows in the PCa group received 3 g of calcium pidolate per day from 5 days before farrowing to 5 days after farrowing. The parameters studied were neonatal mortality of piglets (mortality within 5 days after farrowing), the number of piglets weaned and the litter weight at 17 days of age. Neonatal mortality was reduced by 2.8 percentage points in the PCa group ( $P < 0.05$ ). At the end of lactation, sows in the PCa group weaned 7% heavier litters than those of the CTRL group (52.2 kg vs 48.8 kg, respectively;  $P < 0.05$ ). This study confirms previous ones: the supply of calcium pidolate to sows and its impact on calcium metabolism around farrowing reduces neonatal mortality of piglets and increases litter weight at weaning.

## INTRODUCTION

En 20 ans, la sélection génétique a permis d'améliorer la prolificité des truies de 24% (IFIP, 2016). Cette hyperprolificité des truies se traduit notamment par des mises-bas plus longues pendant lesquelles les derniers porcelets à naître peuvent manquer d'oxygène (Quiniou *et al.*, 2012) les rendant moins vigoureux à la naissance et donc plus sujets aux écrasements (première cause de mortalité en maternité ; Le Cozler *et al.*, 2004). Une autre conséquence de ce manque de vitalité à la naissance est un retard de la prise colostrale qui se traduit par l'acquisition d'une moins bonne immunité passive (Quesnel *et al.*, 2012).

Le calcium est connu pour son rôle dans les contractions musculaires (Al Otaibi, 2014). Il est donc primordial dans ce contexte de stimuler le métabolisme calcique à la fois pour favoriser les contractions utérines (et donc éviter des mises-bas trop longues) mais aussi pour faciliter le démarrage en lactation des truies pour une bonne croissance de leurs porcelets. Le pidolate de calcium est connu pour faciliter l'absorption du calcium (Cayon et Roquer, 1997) et pour ses effets bénéfiques sur la production laitière des vaches (Tormo *et al.*, 2013) et sur la qualité osseuse des volailles (Roulleau *et al.*, 2015). Des études préliminaires montrent l'effet du pidolate de calcium sur les truies en lactation (réduction du temps de mise-bas et de la mortalité néonatale et amélioration du poids des portées). L'objectif de cet essai est de confirmer l'intérêt du pidolate de calcium dans l'alimentation des truies autour de la mise-bas sur les performances zootechniques des porcelets.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et traitements

Au total, 286 truies Danbred ont été réparties entre deux lots : un lot témoin (traitement CTRL) avec 145 truies recevant un aliment de base et 141 truies recevant une supplémentation (traitement PCa). Les truies du lot PCa ont reçu 3 g par jour de pidolate de calcium (PIDOLin PCa® – DIETAXION) de 5 jours avant jusqu'à 5 jours après la mise-bas. Hormis la supplémentation, l'aliment était identique dans les deux lots et le rang moyen de portée des truies similaire (2,9 en moyenne ;  $P = 0,709$ ). L'essai a été mené sur six mois avec une alternance de quatre bandes affectées au lot PCa et de trois bandes au lot CTRL pour gommer l'effet saison.

### 1.2. Mesures et analyses statistiques

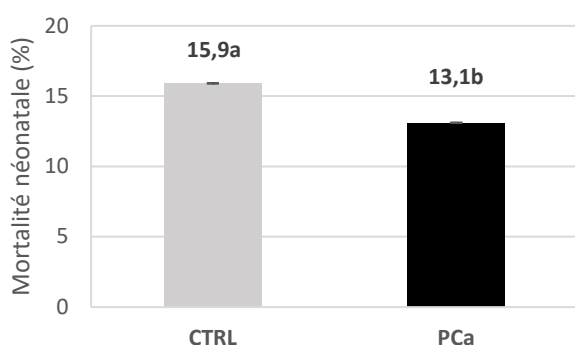
Les critères étudiés étaient la mortalité néonatale des porcelets (mortalité dans les 5 jours qui suivent la naissance), le nombre de porcelets sevrés à 21 jours et le poids de portée à 17 jours. La mortalité néonatale était calculée de la façon suivante : (porcelets morts avant adoption + porcelets morts entre l'adoption et 5 jours de vie) / porcelets présents à 5 jours de vie. Les 5 jours de vie étaient déterminés par rapport à la date de mise-bas de la truie nourrice. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLStat (Addinsoft 2021 3.1). Un test t de student a été utilisé pour la comparaison du nombre de porcelets sevrés par portée et le poids des portées, mais aussi pour vérifier qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux lots sur les rangs de portée des truies et l'âge des

porcelets à la pesée. Pour la comparaison de deux proportions (taux de mortalité à 5 jours), c'est un test z qui a été réalisé. L'unité statistique était la portée et les différences étaient considérées comme significatives à la valeur seuil  $P < 0,05$ .

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Mortalité néonatale

La figure 1 montre que la mortalité néonatale a été réduite de 2,8 points grâce à la supplémentation des truies en pidolate de calcium (13,1 vs 15,9% pour le lot CTRL ;  $P < 0,05$ ), ce qui confirme les travaux préalables (données non publiées). En améliorant le métabolisme calcique, le pidolate de calcium favorise les contractions utérines. Les porcelets souffrent donc moins de manque d'oxygène pendant la mise-bas et sont plus vifs à la naissance, ce qui réduit les risques d'écrasement et favorise leur accès rapide au colostrum indispensable à leur immunité (Le Cozler *et al.*, 2004).



**Figure 1** – Effet du pidolate de calcium sur la mortalité néonatale

*a et b : différence significatif ( $P = 0,015$ )*

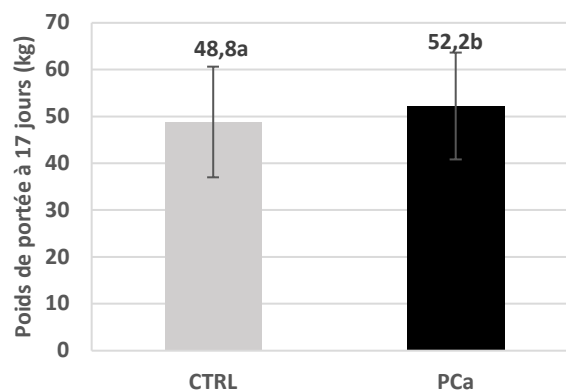
*CTRL : lot témoin*

*PCa : lot avec des truies supplémentées en pidolate de calcium*

### 2.2. Nombre de porcelets sevrés et poids des portées

Il n'y a pas eu de différence significative sur le nombre de porcelets sevrés par les truies des deux traitements (11,8 en moyenne ;  $P = 0,32$ ), ce qui signifie que les truies des deux lots ont allaité autant de porcelets. Les portées des deux lots ont été pesées au même âge (17,1 jours ;  $P = 0,79$ ) et le poids moyen des portées à ce stade est illustré par la figure 2.

D'après Noblet et Etienne (1989), la croissance des porcelets est proportionnelle à la production laitière de leur mère. Le poids supérieur de 3,4 kg ( $P < 0,05$ ) des portées sevrées par les truies du lot PCa indique donc que le pidolate de calcium a favorisé la production laitière des truies supplémentées. Cette augmentation de la production laitière est en accord avec l'étude réalisée sur l'apport de pidolate de calcium en vaches laitières par Roulleau *et al.* (2015). Le poids supérieur des portées confirme également les études préliminaires non publiées sur l'apport du pidolate de calcium en truie autour de la mise-bas.



**Figure 2** – Effet du pidolate de calcium sur le poids moyen des portées à 17 jours

*a et b : différence significatif ( $P = 0,016$ )*

*CTRL : lot témoin*

*PCa : lot avec des truies supplémentées en pidolate de calcium*

## CONCLUSION

L'apport du pidolate de calcium est déjà reconnu comme ingrédient améliorant le métabolisme calcique. Cet essai confirme son intérêt dans un contexte de truies hyperprolifères. L'apport de 3 g/j de pidolate de calcium de 5 jours avant la mise-bas jusque 5 jours après permet de réduire significativement la mortalité néonatale et d'augmenter le poids de portée au sevrage. Des essais complémentaires seront menés pour valider l'hypothèse qu'une supplémentation en pidolate de calcium des truies sur l'ensemble de leur lactation permettrait d'améliorer encore davantage le poids des portées au sevrage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al Otaibi M., 2014. The physiological mechanism of uterine contraction with emphasis on calcium ion. *Calcium Signaling*, 1, 70-75.
- Cayón E., Roquer M., 1997. Solubility of calcium salts and their effect on osteoporosis. *Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol.*, 19, 501-504.
- IFIP, 2016. Résultats des élevages GTTT GTE In : Ifip, Institut du Porc [en ligne]. Date de consultation : 10/09/2021. Disponible en ligne : [www.ifip.asso.fr](http://www.ifip.asso.fr)
- Le Cozler Y., Pichodo X., Roy H., Guyomarc'h C., Quiniou N., Louveau I., Lebret B., Lefaucheur, L., Gondret F., 2004. Influence du poids et de la taille de la portée à la naissance sur la survie du porcelet, ses performances de croissance, d'abattage et la qualité de la viande. *Journées Rech. Porcine*, 36, 443-450.
- Noblet J., Etienne M., 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *J. Anim. Sci.*, 67, 3352-3359.
- Quesnel H., Farmer C., Devillers N., 2012. Colostrum intake: Influence on piglet performance and factors of variation. *Livest. Sci.*, 146, 105-114.
- Quiniou N., Brossard L., Van Milgen J., Salaün Y., Quesnel H., Gondret F., Dourmad J.Y., 2012. La variabilité des performances animales en élevage porcin : description et implications pratiques. *INRA Prod. Anim.*, 25, 5-16.
- Roulleau X., Pollet B., Alleno C., 2015. Influence d'une incorporation de pidolate de calcium d'un aliment poulet de chair sur les paramètres quantitatifs et qualitatifs de production. *Journées Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras*, 11, 679-685.
- Tormo H., Lekhal D., Roulleau X., Pollet B., 2013. Incorporation de Pidolate de calcium en ration post partum de vache laitière ; production laitière, taux protéique et exportation de calcium. *Rencontres Recherches Ruminants*, 20, poster.

# Impact de la distribution d'extraits de plantes à la truie avant la mise-bas sur les diarrhées néo-natales de sa portée

Eric BELZ et Justine LIGONNIERE

CAREPHYT, 3 Rue Amedeo Avogadro, 49070 Beaucozéz, France

[eric.belz@carephyt.com](mailto:eric.belz@carephyt.com)

Avec la collaboration de Célia BOIVENT

## Impact of distributing plant extracts to sows before farrowing on neonatal diarrhoea in their litters

Colonization of a newborn's digestive tract with maternal faecal flora is well established. In addition to rearing behaviour, this colonization influences the occurrence of neonatal diarrhoea in piglets. Orienting the digestive flora of sows is one way to reduce diarrhoea, a frequent cause of antibiotic use. This study aimed to evaluate effects of a standardised combination of plant extracts, with documented prebiotic and antioxidant effects, on the frequency of diarrhoea. To this end, eight farms with stable profiles were recruited. In total, 79 groups representing 3807 farrowing sows were analysed. In test batches, 30 g/d of product (Care DIG) was distributed beginning 10 days before farrowing to the end of farrowing, but not to the control batches. On each farm, several test and control bands were followed or alternated. As soon as a piglet showed symptoms of diarrhoea, its litter was considered "affected," and the piglets were treated according to the farm's care protocol. Statistical analysis was performed using a Welch test in R software. The independence of observations, the absence of outliers and normality were checked. Analysis confirmed farmers' observations of a much lower frequency of neonatal diarrhoea in test batches than in control batches (5.4% vs 14.1%, respectively,  $P = 0.0027$ ). Supplementing sows before farrowing with this combination of plant extracts reduced the frequency of neonatal diarrhoea in piglets.

## INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, la filière porcine doit faire face à de nombreux défis. L'un d'entre eux est notamment la réduction de l'utilisation des antibiotiques en élevage (Hémonic *et al.*, 2019). Le plan Ecoantibio2 formalise cette volonté et son axe 1 incite au développement de mesures de prévention : traitements alternatifs, vaccins et biosécurité.

Pathologie multifactorielle, les diarrhées néo-natales des porcelets sont encore fréquentes en élevages malgré d'indéniables progrès en hygiène et des vaccins disponibles. De nombreux germes peuvent être identifiés mais n'expliquent pas toutes les diarrhées (Gin, 2008). Ainsi, le rôle de la transmission de la flore fécale de la truie à ses porcelets a été étudié et mis en avant ces dernières années (Chen *et al.*, 2018).

L'importance de l'alimentation dans le profil du microbiote digestif est bien établie. Dans ce contexte, certains extraits de plantes, par leurs divers constituants ou métabolites secondaires, ont montré des effets sur l'intestin et son microbiote (Acamovic et Brooker, 2005). Ainsi, certains extraits de citrus, par leur teneur en oligo-saccharides pectiques, ont montré une augmentation de la flore lactique *in vitro* et une modification du microbiote des truies (Cissé *et al.*, 2020).

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de l'administration orale d'une association d'extraits de plantes à des truies avant la mise-bas sur l'apparition de diarrhées néo-natales sur leurs porcelets.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Schéma expérimental

Huit élevages de production porcine répartis sur les régions Bretagne, Pays de Loire et Poitou-Charentes ont été recrutés sur la base d'une stabilité du cheptel (effectif, démographie). Comprenant entre 200 et 600 truies présentes, ils avaient en commun d'avoir régulièrement des diarrhées de porcelets entre 1 et 8 jours d'âge sur plusieurs portées dans chaque bande. Les règles de bonne conduite d'élevage étaient globalement appliquées : respect du protocole vaccinal prescrit, qualité de l'eau, conduite en bandes, hygiène, confort, ....

Dans chaque élevage, chaque bande était entièrement affectée à l'un des deux traitements et, selon les possibilités, les bandes « Extraits de plantes » et Témoin se succédaient ou alternaient.

Au total 43 bandes (1997 truies) du lot « Extrait de plantes » ont été comparées avec 36 bandes (1810 truies) du lot Témoin, soit entre 22 et 95 truies par bande. En dehors du produit testé, aucun autre protocole ne différenciait les bandes essai et témoin au sein d'un élevage. Cette association d'extraits naturels de plantes (pomme, orange, châtaigner, fenugrec, yucca, raisin ; Care DIG) aux actifs caractérisés et standardisés, aux effets documentés, se présente sous forme de poudre. Trente grammes de produit étaient distribués manuellement par l'éleveur aux truies de la bande essai chaque jour, à partir du lundi de la semaine avant les mises-bas jusqu'au samedi suivant les mises-bas, soit pendant 13 jours.

## 1.2. Mesures réalisées

Pour chaque truie, les interventions des éleveurs étaient notées sur une fiche. Ainsi, dès qu'un porcelet de la portée était atteint de diarrhée, la portée était notée atteinte et l'éleveur appliquait son protocole de traitement habituel.

Les paramètres suivants ont ainsi été enregistrés et analysés, : nombre de porcelets nés totaux, vifs et sevrés ainsi que nombre de portées atteintes de diarrhées.

## 1.3. Analyses statistiques

L'effet ou non de la distribution du produit sur les performances de portée et le taux de portées malades considérés dans une bande a été testé avec le logiciel R (version 1.4.1106) grâce à un test de Welch, l'égalité des variances n'étant pas vérifiée. Par ailleurs, l'indépendance des groupes et la normalité ont été vérifiées ainsi que l'absence d'interaction traitement x élevage.

Après écartement des valeurs aberrantes (test de Grubbs), l'analyse a pu être menée sur 55 bandes issus de cinq élevages, dont 27 bandes prenant part au lot « Extrait de plantes » et 28 bandes du lot « Témoin ».

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

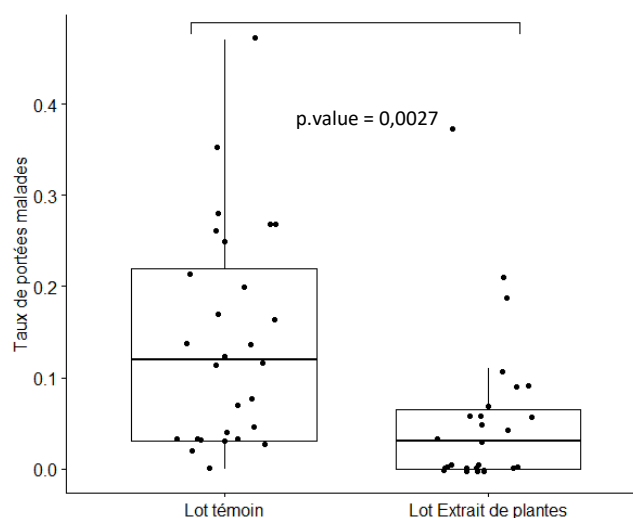
### 2.1. Analyse descriptive

Il apparaît que les deux traitements ne diffèrent, ni sur le nombre de truies par bande, ni sur le nombre de porcelets nés. Par contre, le nombre de porcelets sevrés du lot « Extraits de plantes » est supérieur de 0,35 porcelets par portée ( $P = 0,038$ ). Cette réduction de mortalité peut être mise en lien avec l'ajout du produit.

**Tableau 1** - Valeurs moyennes des variables majeures et leur écart-type selon la distribution ou non des extraits de plantes

Critère	Lot témoin	Lot extraits de plantes	p.value (Welch test)
Nombres de truies/bande	55,14 ± 23,16	56,22 ± 20,55	0,85
Porcelets nés vivants/portée	14,48 ± 0,86	14,56 ± 0,62	0,72
Porcelets sevrés/portée	12,35 ± 0,67	12,72 ± 0,49	0,038

## 2.2. Effet de l'apport d'extraits de plantes



**Figure 1** – Distribution des taux de portées à diarrhées des bandes selon l'ajout, ou non, des extraits de plantes.

La proportion de portées présentant des diarrhées est significativement inférieure chez le groupe ayant reçu les extraits de plantes ( $14,14 \% \pm 11,82$  chez les témoins vs  $5,40 \% \pm 8,50$  chez le groupe traité,  $P = 0,0027$ ). L'analyse statistique confirme les observations des éleveurs, à savoir une réduction significative de la fréquence des diarrhées néo-natales.

Le choix de laisser les éleveurs traiter les portées dès les premiers porcelets atteints n'a pas permis de quantifier le critère gravité de ces diarrhées. Ainsi, bien que les éleveurs aient observé une réduction de leur gravité et une guérison plus rapide de ces diarrhées, le protocole n'a pas permis de l'objectiver.

## CONCLUSION

Cette étude a confirmé l'intérêt de la distribution par voie orale aux truies de cette association d'extraits de plantes pendant 10 jours avant la mise-bas sur la réduction des diarrhées néo-natales de leurs porcelets. Ce constat est à rapprocher des données sur le transfert de flore de la mère à ses porcelets et de l'impact de certains extraits de plantes sur la composition de la flore digestive. Une analyse approfondie du microbiote de truies et porcelets, avec et sans ces extraits, permettrait d'aller plus loin dans la compréhension du mécanisme.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Acamovic T., Brooker J. D., 2005. Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals. Proc. Nutr. Soc., 64, 403–412.
- Chen X., Xu J., Ren D, Su Y., Zhu W., 2018. Co-occurrence of early gut colonization in neonatal piglets with microbiota in the maternal and surrounding delivery environments. Anaerobe, 49, 30-40.
- Cissé S., Benarbia M., Burel A., Friedrich M., Gabinaud B., Belz E., Guilet D., Chicoteau P, Zemb O., 2020. Standardized Natural Citrus Extract dietary supplementation influences sows' microbiota, welfare, and preweaning piglets performances in commercial rearing conditions. Transl. Anim. Sci., 4, 1278–1289.
- Gin T., 2008. Diagnostic des nouveaux cas de diarrhées néonatales enzootiques du porcelet. Evaluation de la prise colostrale. Thèse doctorat vétérinaire, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 71 p.
- Hémonic A., Poissonnet A., Chauvin C., Corrége I., 2019. Evolution des usages d'antibiotiques dans les élevages de porcs en France entre 2010 et 2016 au travers des panels INAPORC. Journées Rech. Porcine, 51, 277-282.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

# Transmission de la zéaralénone, du déoxynivalénool et de leurs dérivés de la truie au porcelet pendant la lactation avec ou sans décontaminant

Xandra Benthem DE GRAVE (1), Janine SALTZMANN (2), Julia LAURAIN (3), Maria Angeles RODRIGUEZ (3), Francisc MOLIST (1), Sven DÄNICKE (2) et Regiane R. SANTOS (1)

<sup>1</sup>Schothorst Feed Research, 8218 NA Lelystad, Pays Bas

<sup>2</sup>Institute of Animal Nutrition, Friedrich-Loeffler-Institute (FLI), Federal Research Institute for Animal Health, D-38116 Brunswick, Allemagne

<sup>3</sup>Olmix Group, ZA du Haut du Bois, 56580 Bréhan, France

animalcare.pm@olmix.com

## Transmission of zearalenone, deoxynivalenol and their metabolites from sows to piglets during lactation with or without a decontaminant

This study evaluated effects of an algae-clay-based mycotoxin decontaminant on levels of zearalenone (ZEN), deoxynivalenol (DON) and their derivatives in the colostrum, milk, and serum of sows, as well as in the serum of weaned piglets after maternal mycotoxin exposure from the last week of gestation to weaning (26 days). To this end, 15 sows split into three groups (n = 5) were fed diets naturally contaminated with 100 (LoZEN) or 300 (HiZEN) µg/kg ZEN, with or without an algae-clay-based mycotoxin decontaminant in the highly contaminated diet. All diets contained 250 µg/kg DON. Dietary treatments did not influence the performance of the sows and piglets. Only α-ZEL significantly increased in the colostrum of sows fed the HiZEN diet, and this increase was even higher in the colostrum of the sows fed the HiZEN diet supplemented with the test decontaminant. However, no differences in milk mycotoxin levels were observed at weaning. The highest levels of ZEN, α-ZEL, and β-ZEL were observed in the serum of sows fed the HiZEN diet. When the HiZEN diet was supplemented with the tested algae-clay-based mycotoxin decontaminant, levels of ZEN and its metabolites were significantly decreased in the serum of sows. Although all sows were fed the same levels of DON, the serum level of de-epoxy-DON increased only in the serum of piglets from the sows fed a diet with the non-supplemented HiZEN diet. In conclusion, the tested algae-clay-based mycotoxin decontaminant can decrease levels of ZEN and its metabolites in the serum of sows and the level of de-DON in the serum of piglets.

## INTRODUCTION

Les effets délétères des mycotoxines sur la santé et les performances des porcs ont largement été démontrés. Parmi les 400 mycotoxines identifiées le déoxynivalénool (DON) et la zéaralénone (ZEN) sont les plus étudiés. Ainsi, en 2006, la Commission européenne a défini des niveaux maximaux de recommandations concernant la présence de DON et de ZEN dans les produits destinés à l'alimentation des porcs (2006/576/CE), respectivement à 900 et 250 µg/kg pour les porcs charcutiers. En réalité, l'exposition chronique à de faibles doses de mycotoxines est fréquente, et elle peut se dérouler par transfert placentaire ou via le lait. Une étude récente a démontré que le DON, la ZEN et leurs métabolites peuvent être quantifiés dans le colostrum, le lait et le sérum de truies nourries avec un aliment contenant 250 µg/kg de DON et 100 ou 300 µg/kg de ZEN (de Grave *et al.*, 2021). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité d'un décontaminant (AC) à base de la technologie Algoclay pour réduire la transmission de DON et ZEN de la truie aux porcelets pendant la dernière semaine de gestation et la lactation, incorporé dans un aliment naturellement contaminé avec 250 µg/kg de DON et 300 µg/kg de ZEN. La technologie Algoclay associe de l'argile

montmorillonite et des polysaccharides d'ulves (*Chlorophyceae*).

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Schéma expérimental

L'essai a été réalisé dans la station expérimentale de Schothorst Feed Research (Lelystad, Pays-Bas). Un total de 15 truies de rang de portée moyen de 5 était inclus dans l'essai. Les truies ont été transférées du bâtiment gestation à la maternité à 109 jours de gestation. Les truies ont été réparties en trois groupes (Tableau 1), nourries avec une contamination faible ou forte en ZEN et avec ou sans AC (MT.X+®, produit par Olmix, France) jusqu'au sevrage après 26 jours de lactation.

Les aliments ont été préparés avec des matières premières naturellement contaminées en mycotoxines. La mycotoxine DON produite par *Fusarium* était présente dans tous les aliments au même niveau (~250 µg/kg). Deux lots de pulpe de betterave ont été utilisés comme source de ZEN dans cette étude, le premier ayant une faible contamination en ZEN et le

second une forte contamination (Tableau 1). Tous les aliments ont été analysés par un laboratoire indépendant certifié (BELAC 057-TEST/ISO17025, Primoris, Gand, Belgique) en chromatographie liquide couplée avec un spectromètre de masse (LC-MS/MS).

**Tableau 1** – Traitements expérimentaux

Traitements	Contamination en mycotoxines	AC
T1	100 µg/kg ZEN + 250 µg/kg DON	0,00%
T2	300 µg/kg ZEN + 250 µg/kg DON	0,00%
T3	300 µg/kg ZEN + 250 µg/kg DON	0,15%

### 1.2. Mesures

A 109 jours de gestation et après 26 jours de lactation, les truies ont été pesées individuellement et l'épaisseur de lard dorsal a été mesurée. L'ingestion d'aliment était également enregistrée de façon individuelle. Les porcelets étaient pesés à la naissance et au sevrage. L'ingestion d'aliment 1<sup>er</sup> âge était également enregistrée de 14 à 26 jours d'âge. Des échantillons de sérum ont été prélevés à l'arrivée des truies (après 109 jours de gestation) et après 26 jours de lactation. Le colostrum de chaque truie a été prélevé ainsi que le lait au moment du sevrage. Des échantillons de sérum ont été collectés chez 10 porcelets par truie.

### 1.3. Analyses statistiques

Les données expérimentales ont été analysées en ANOVA (GenStat Version 20.0, 2020). La truie était l'unité expérimentale. Les moyennes ont été comparées par la différence la moins significative (*Least Significant Difference*, LSD). Les valeurs de *P*-value ≤ 0,05 étaient considérées comme significatives.

**Tableau 2** – Effet des traitements sur le niveau de mycotoxines (ng/ml) dans le colostrum, le lait et le sérum.

Paramètres	T1	T2	T3	LSD <sup>1</sup>	<i>P</i> -value
<b>Colostrum</b>					
ZEN	0,053	0,075	0,059	0,054	0,67
α-ZEL	0,094 <sup>a</sup>	0,218 <sup>b</sup>	0,299 <sup>c</sup>	0,064	< 0,01
DON	0,75	0,76	0,71	1,183	> 0,99
<b>Lait</b>					
ZEN	0,120	0,115	0,110	0,087	0,97
α-ZEL	0,062	0,156	0,121	0,134	0,34
DON	2,98	2,37	1,61	1,893	0,32
<b>Truies - après 26 jours de lactation</b>					
ZEN	0,43 <sup>a</sup>	1,11 <sup>c</sup>	0,74 <sup>b</sup>	0,295	< 0,001
α-ZEL	0,94 <sup>a</sup>	3,42 <sup>c</sup>	2,40 <sup>b</sup>	0,735	< 0,001
β-ZEL	0,23 <sup>a</sup>	0,53 <sup>b</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,111	< 0,001
DON	3,07	2,10	3,26	1,817	0,36
Dé-époxy-DON	0,11	0,15	0,21	0,325	0,83
<b>Porcelets au sevrage</b>					
ZEN	0,024	0,024	0,017	0,015	0,49
α-ZEL	0,011	0,040	0,015	0,028	0,09
β-ZEL	0,042	0,041	0,040	0,035	0,59
DON	0,045	0,099	0,062	0,057	0,15
Dé-époxy-DON	0,040 <sup>a</sup>	0,058 <sup>b</sup>	0,040 <sup>a</sup>	0,016	0,05

<sup>a-c</sup> Dans une même colonne, des lettres différentes diffèrent par l'ANOVA (*P*-value ≤ 0,05). <sup>1</sup>Least Significant Difference.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances zootechniques

Aucun effet des différents traitements n'a été observé sur l'ingestion et le poids des truies. De même, aucun effet des différents traitements n'a été observé sur les performances des portées (taille et poids des portées, poids individuel à la naissance et au sevrage, mortalité).

### 2.2. Critères biologiques

L'exposition à 300 µg/kg de ZEN pendant la dernière semaine de gestation a significativement augmenté le niveau de α-ZEL dans le colostrum par rapport à 100 µg/kg de ZEN (Tableau 2).

Au démarrage de l'étude (109 jours de gestation), aucune différence de niveau de mycotoxines dans le sérum n'a été observée entre les truies des trois lots. Néanmoins après 33 jours d'exposition à des mycotoxines, la supplémentation en AC a permis de réduire significativement la concentration en ZEN dans le sérum des truies et bien qu'une valeur moins élevée ait été observée en ZEN et DON dans le sérum des porcelets du lot AC, l'écart n'est pas significativement différent avec le témoin alors qu'un effet significatif a été observé sur le De-époxy-DON. (Tableau 2).

## CONCLUSION

Cette étude a permis de démontrer qu'en présence d'un décontaminant à base de la technologie Algoclay les niveaux de ZEN et de ses métabolites sont significativement diminués dans le sérum des truies et que le niveau dé-époxy-DON est moins élevé dans le sérum des porcelets. L'effet du décontaminant reste à démontrer sur des durées d'exposition plus longues.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- de Grave X.B., Saltzmann J., Laurain J., Rodriguez M.A., Molist F., Dänicke S., Santos R., 2021. Transmission of zearalenone, deoxynivalenol, and their derivatives from sows to piglets during lactation. *Toxins*, 6, e37.

# Effets d'aliments truie transition et d'aliments porcelets sous la mère enrichis en fibres alimentaires sur la santé digestive de porcelets infectés par *Escherichia coli* entérotoxigène (ETEC)

Anouschka MIDDELKOOP (1), Xiaonan GUAN (1), Ramon TICHELAAR (1), Francesc MOLIST (1), Soumya K. KAR (2), Alfons J.M. JANSMAN (2), Martin Peter RYDAL (3), Mattia PIROLO (3), Clara TASSINATO (3), Peter Panduro DAMBORG (3), Carmen ESPINOSA GONGORA (3), Luca GUARDABASSI (3), Albert VAN DIJK (1)

(1) Schothorst Feed Research (SFR), Meerkoetenweg 26, 8218 NA Lelystad, Pays-Bas

(2) Wageningen Livestock Research, De Elst 1, 6708 WD Wageningen, Pays-Bas

(3) University of Copenhagen, Stigbøjlen 4, 1870 Frederiksberg, Danemark

avdijk@schothorst.nl

## Effects of dietary-fibre-enriched sow transition diets and piglet creep feeds on post-weaning gut health in ETEC challenged piglets

Feeding strategies in early life have been shown to modulate piglet gut health, but effects on disease susceptibility have yet to be explained. We aimed to study effects of dietary-fibre-enriched diets fed to sows around farrowing (transition diet) and to suckling piglets (creep feed) on post-weaning gut health of piglets challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC). Piglets received either a low- or high-fibre creep feed, and their sows were fed a low- or one of three high-fibre transition diets with lucerne, sugar beet pulp or both. Upon weaning, all piglets were fed the same diet and received an oral dose of a porcine F4<sup>+</sup>, LT<sup>+</sup> and STb<sup>+</sup> ETEC strain on day 4 post-weaning. Faecal consistency was scored and faeces collected daily until piglets were sacrificed on day 5 post-inoculation. Faecal consistency decreased significantly after ETEC inoculation ( $P < 0,001$ ). The percentage of haemolytic ETEC-like colonies increased from 0% before inoculation to 50% on day 1 post-inoculation. Piglets classified as eaters of creep feed at weaning weighed more on day 9 post-weaning than non-eaters of creep feed ( $10.4 \pm 0.2$  vs  $9.2 \pm 0.5$  kg;  $P < 0.05$ ). Early-life feeding strategies did not lead to significant differences in post-weaning intestine weight or digesta pH. Effects on gut microbiota, volatile fatty acids, cytokines and ETEC excretion are being analysed and will be described in the future.

## INTRODUCTION

Les problèmes gastro intestinaux sont parmi les principales causes de morbidité, de mortalité et d'emploi des antibiotiques en production porcine. *Escherichia coli* entérotoxigène (ETEC) est le pathogène intestinal le plus fréquemment diagnostiqué chez les porcelets. A cause de son impact sur la morbidité, la mortalité et sur la résistance aux antibiotiques qu'il génère, il est important de prévenir diarrhées à ETEC.

La diversité bactérienne du microbiote du porcelet nouveau-né a un rôle important dans la physiologie digestive et dans le processus immunitaire et pourrait influencer la susceptibilité du porcelet aux infections entéritiques durant ses futurs stades de croissance. Le microbiote de la truie, et par conséquent celui de ses porcelets, est largement influencé par le régime alimentaire maternel. Un essai récent réalisé par Schothorst Feed Research (SFR) a montré que les effets du régime alimentaire des truies à la mise bas sur le microbiote intestinal des porcelets pouvaient se poursuivre jusque 3 semaines après l'arrêt de la distribution de ce régime. On peut ajouter que la consommation d'aliment pré starter a également modifié la morphologie et le microbiote intestinal des porcelets non sevrés (Huting *et al.*, 2021).

Les sources et la quantité de fibres (fermentescibles et inertes) des régimes sont connues pour jouer un rôle important sur la santé digestive des porcelets (e.g. Feyera *et al.*, 2017). La présente étude cherche à montrer les effets de différents niveaux et de différentes sources de fibres alimentaires dans les aliments de transition pour truie et l'aliment porcelet sous la mère sur la santé digestive de porcelets sevrés soumis à une contamination par ETEC. Cette étude fait partie de projet européen AVANT, qui vise à trouver des alternatives aux antibiotiques utilisés en médecine vétérinaire et en particulier ceux utilisés pour traiter les diarrhées du porcelet.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Quarante truies multipares ont été réparties en quatre groupes, alimentés avec différents régimes alimentaires, à partir de l'entrée en maternité (8 jours avant la mise bas) jusqu'à 7 jours après la mise bas. L'aliment de transition témoin (CTL) contenait peu de fibres (173 g NSP/kg de matière sèche (MS), n = 8 truies), tandis que les trois autres étaient riches en fibres et incluaient 14,0% de farine de luzerne (ALF, 242 g NSP/kg MS, n = 16 truies), 17,9% de pulpes de betteraves (SBP, 256 g NSP/kg MS, n = 8 truies), ou un mélange de 8,9% de pulpes de betteraves et 7,0%



de farine de luzerne (COM, 249 g NSP/kg MS, n = 8 truies). Ensuite le même aliment de lactation est distribué à tous les groupes. Le groupe ALF a été divisé 7 jours après la mise bas et deux aliments pré starter ont été distribués sous la mère, un aliment pré starter pauvre en fibres (LF, 115 g NSP/kg MS) ou riche en fibres (HF, 144 g NSP/kg MS) obtenu par incorporation de 5% de luzerne. Les portées des truies alimentées avec les régimes CTL, SBP et COM ont toutes reçu l'aliment pré starter LF. Pour distinguer les porcelets mangeurs de ceux qui ne mangeaient pas, un colorant indigo carmin est incorporé à 5 g/kg dans l'aliment pré starter pour permettre des contrôles de fèces rectaux à la couleur bleue. La taille de portée au sevrage était de  $12,9 \pm 0,2$  porcelets/portée pour un âge moyen de  $26,2 \pm 0,2$  jours et un poids moyen de  $7,5 \pm 0,1$  kg.

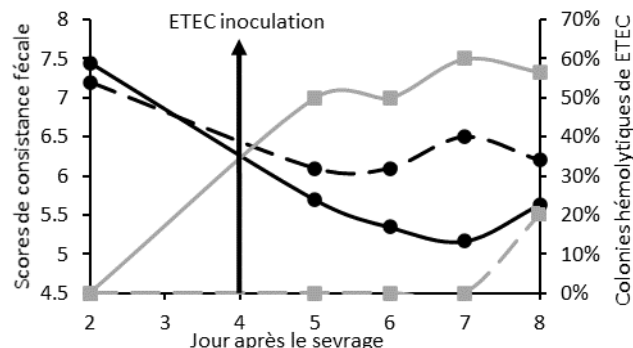
Les effets des aliments de transition et de l'aliment pré starter sur la santé digestive des porcelets après le sevrage ont été étudiés sur un sous-groupe de porcelets (n = 70) choisi selon le sexe (1:1 femelles et mâles entiers) et statut mangeur/non mangeur d'aliments pré starter. Ils ont été répartis dans sept traitements (Tableau 1). Le traitement 1 (témoin positif, avec la plus faible excrétion d'ETEC attendue) a reçu des antibiotiques (colistine, dans l'eau potable) après le sevrage. Tous les porcelets ont reçu le même aliment de sevrage. Les porcelets de chaque traitement étaient logés dans deux cases de cinq porcelets. Au 4<sup>ème</sup> jour après sevrage (noté J4 PS), tous les porcelets ont été inoculés oralement avec un F4<sup>+</sup>, LT<sup>+</sup> et STb<sup>+</sup> d'ETEC ( $\sim 2,5 \times 10^9$  CFU/porcelet). A J2 et entre J5 et J9 PS, des échantillons de fèces ont été prélevés afin d'évaluer les scores fécaux (échelle de score : 2-9, score  $\leq 4$  considéré comme diarrhéique) et la présence d'ETEC dans les fèces. Les fèces ont été étalées sur un gel Columbia Blood Agar et la proportion de colonies hémolytiques de type ETEC a été déterminée. Si la présence d'une colonie de ETEC-like était détectée, celle-ci était conservée afin d'en extraire l'ADN et de détecter la présence de toxines (LT, STa et STb) et les fimbriae (F4 et F18) à l'aide d'un protocole PCR multiplex. A J9 PS, des prélèvements de sang ont été réalisés. Les porcelets ont ensuite été euthanasiés et leurs intestins pesés. Les digestats collectés dans l'iléum et le colon ont été analysés afin de déterminer leur pH, la composition du microbiote et leurs concentrations en acides gras volatils.

Les résultats (incluant les valeurs extrêmes) ont été analysés dans GenStat® à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (mixte) et sont présentés sous forme de moyenne  $\pm$  erreur standard à la moyenne (SEM).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Une baisse significative de la consistance fécale a été observée après l'inoculation d'ETEC ( $P < 0,001$ ), tandis que la proportion de colonies hémolytiques de type ETEC a augmenté dans le groupe non traité aux colistine (Figure 1). Aucune des colonies hémolytiques observées n'était de type F4<sup>+</sup>, LT<sup>+</sup> et STb<sup>+</sup> avant l'inoculation, tandis que 82, 75, 72, 68 et 60% d'entre elles étaient de type F4<sup>+</sup>, LT<sup>+</sup> et STb<sup>+</sup>, respectivement de J5 à J9 après inoculation.

Une consommation d'aliment pré starter de  $296 \pm 18$  g/porcelet a été mesurée. Dans le groupe ALF-HF, les porcelets mangeurs étaient significativement plus lourds à J9 PS que les porcelets ne mangeant pas ( $10,4 \pm 0,2$  vs  $9,2 \pm 0,5$  kg ;  $P = 0,02$ ), ce qui n'était pas le cas au sevrage ( $8,0 \pm 0,2$  vs  $7,3 \pm 0,4$  kg ;  $P = 0,30$ ). La consommation d'aliment post sevrage était de  $313 \pm 7$  contre  $243 \pm 15$  g/porcelet ( $P = 0,23$ ).



**Figure 1** – Evolution après le sevrage de la consistance fécale (noir) et pourcentage de colonies hémolytiques de type ETEC (gris) de porcelets ayant reçu de la colistine (pointillés, n = 10) ou non (trait plein, n = 60)

Les principaux résultats concernant les critères physiologiques sont présentés dans le tableau 1. Dans le groupe ALF-HF, les porcelets mangeurs ont un poids d'intestin grêle supérieur à J9 PS que les porcelets ne mangeant pas, qu'il soit vide ( $513 \pm 23$  vs  $430 \pm 25$  g ;  $P = 0,24$ ) ou plein ( $716 \pm 31$  vs  $623 \pm 42$  g), mais sans différence significative quand les valeurs extrêmes sont prises en compte dans l'analyse des résultats. Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements sur le poids du colon, le pH des digestats de l'iléum et du colon.

**Tableau 1** – Poids de l'intestin plein (g) et pH des digestats des porcelets sacrifiés 9 jours après le sevrage

Description des régimes 10 porcelets/traitement	Int. grêle		Gros int.	
	Poids	pH	Poids	pH
1 CTL LF Mang. + AB <sup>1</sup>	671	7,1	294	6,0
2 CTL LF Mang.	720	7,1	330	6,2
3 ALF LF Mang.	747	7,0	319	5,8
4 ALF HF Mang.	716	7,0	328	5,9
5 ALF HF Non-mang.	623	7,1	273	6,0
6 SBP LF Mang.	668	6,9	290	6,0
7 COM LF Mang.	693	7,2	320	5,9
SEM regroupée	35	0,1	22	0,1
P-value	0,28	0,84	0,43	0,20

<sup>1</sup>AB = antibiotique distribué après le sevrage, Int. : intestin, mang : mangeur.

## CONCLUSION

La consommation d'aliment pré-starter stimule les performances de post-sevrage tandis que les compositions de l'aliment de transition des truies et de l'aliment pré-starter des porcelets ne semblent pas les influencer. D'autres résultats éclaireront les effets de la consommation d'aliment et des stratégies précoces d'alimentation sur la santé du tube digestif des porcelets et leur résilience envers ETEC.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Feyera T., Højgaard C.K., Vinther J., Bruun T.S., Theil P.K., 2017. Dietary supplement rich in fiber fed to late gestating sows during transition reduces rate of stillborn piglets. J. Anim. Sci., 95, 5430-5438.
- Huting A.M.S., Middelkoop A., Guan X., Molist F., 2021. Using nutritional strategies to shape the gastro-intestinal tracts of suckling and weaned piglets. Animals, 11, 402.

# Améliorer la consommation d'aliment sec sous la mère : leviers et conséquences

Manon ROUMEZI (1,2), Charlotte TEIXEIRA-COSTA (1), Gwenaël BOULBRIA (1), Arnaud LEBRET (1), Céline CHEVANCE (1),  
Pauline BERTON (1), Théo NICOLAZO (1), Valérie NORMAND (1), Franck BOUCHET (1), Mathieu BRISSONNIER (1),  
Justine JEUSSELIN (1)

(1) Porc.Spective, ZA de Gohélève, rue Joseph et Étienne Montgolfier, 56 920 Noyal-Pontivy, France

(2) Université de Tours – Faculté des Sciences et Techniques, Parc Grandmont, 37 200 Tours, France

[j.jeuesselin@porc.spective.fr](mailto:j.jeuesselin@porc.spective.fr)

## Improvement in dry feed consumption by suckling piglets: mechanisms and consequences

The transition from feeding on sow's milk to feeding exclusively on solid feed at weaning is a gradual process that starts during lactation. Stimulating the consumption of solid feed prior to weaning may improve piglet adaptation after weaning. The aim of this study was to provide some key recommendations to improve creep feed intake in sucklers. Twenty-one and 11 litters, weaned at 21 and 28 days of age (doa), respectively, were included in this trial. The litters were creep-fed in round conventional feeders from d5 after birth. Every day, two times a day until d14 and then three times a day until weaning, fresh creep feed was weighed and given to litters, and the number of piglets was recorded. The feed remaining in each feeder was weighed to quantify feed disappearance at the litter level. Finally, piglets were individually weighed on d2, at weaning (21 or 28 doa), on d42 and at the end of the post-weaning period. Statistical analyses (analysis of variance) were performed using R Studio. Differences were considered statistically significant at  $p < 0.05$ . Regardless of the age at weaning, feed disappearance increased as piglet age increased, especially from ca. 2 weeks of life. Depending on the feeder characteristics, mean creep-feed intake was 1294 g (feeder A) for weaning at 21 doa and 1616 g (feeder B) or 3227 g (feeder A) for weaning at 28 doa. Weaning weights of piglets with feeder A were significantly higher (+400 g, on average). In addition, the more piglets there were in the litter, the higher the dry feed disappearance for weaning at 28 doa. Finally, regardless of the age at weaning, the heavier the piglet on d2, the higher the feed disappearance.

## INTRODUCTION

Pour les porcelets, le sevrage représente un stress important. En effet, en maternité, le porcelet s'alimente majoritairement en tétant sa mère et doit rapidement s'adapter à une alimentation à sec après le sevrage. Bien que les résultats issus des études déjà publiées soient parfois contradictoires, il est supposé que plus un porcelet consomme d'aliment sec en maternité, plus il s'adaptera rapidement à son alimentation en post-sevrage. S'il ne semble pas y avoir de conséquence démontrée sur les performances de croissance après le sevrage dans la littérature, l'intérêt pour la réduction des maladies digestives en post-sevrage est souvent évoqué. L'objectif de cette étude est de proposer des recommandations de distribution d'aliment sec pour les porcelets au cours de la lactation pour faciliter la transition en post-sevrage.

## MATERIELS ET METHODES

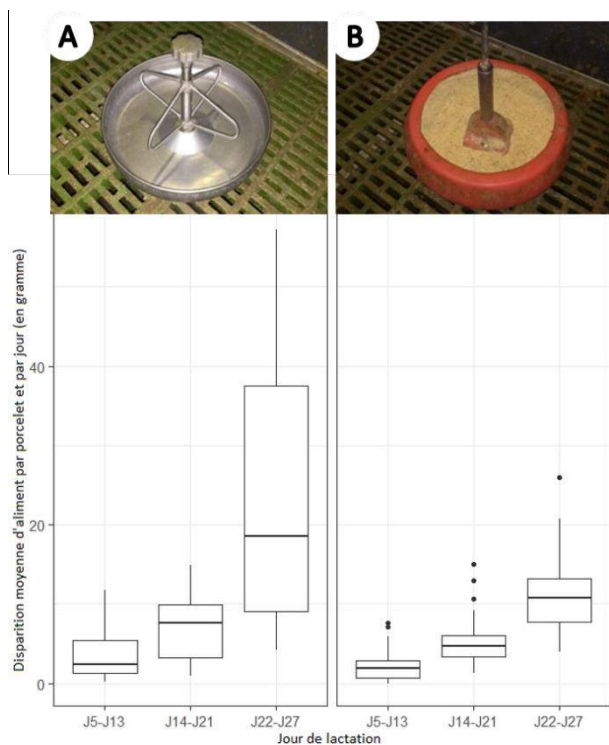
Vingt-et-une portées sevrées à 21 jours de vie et 11 portées sevrées à 28 jours de vie, issues de deux élevages situés en Bretagne, ont été incluses dans cette étude. La date de mise bas est notée J0. Dans les deux élevages, chaque porcelet a été identifié et pesé individuellement à J2 (après les adoptions), au sevrage (J21 ou J28), à J42 et à la mise en engraissement. Ces données ont permis de calculer un gain moyen quotidien (GMQ)

sur chaque période. Dans chaque élevage, un aliment starter sous forme de farine a été distribué deux fois par jour à partir de J5 jusqu'à J9, puis une transition avec un 1<sup>er</sup> âge a été réalisée de J9 à J11. Enfin, les porcelets sont passés de deux à trois repas à partir de J14. La quantité d'aliment distribuée à chaque repas a été pesée, ainsi que le refus avant le repas suivant, permettant de déterminer la quantité d'aliment ayant disparu. Cette quantité d'aliment correspond à l'aliment consommé par les porcelets, auquel s'ajoute l'aliment gaspillé (absence d'un système de collecte sous les caillebotis). Les portées de l'élevage avec sevrage à 21 jours ont toutes été nourries dans des augettes en inox (augettes A, rebord de 4 cm de haut, modèle commun aux deux élevages). Dans l'élevage sevrant à 28 jours, de façon aléatoire, les portées ont été nourries dans des augettes en inox (augettes A) ou en plastique (augettes B, rebord de 8,5 cm de haut).

Les résultats dans les deux élevages ont été analysés indépendamment. Pour chaque élevage, des analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées avec le logiciel R Studio pour comparer les quantités d'aliment ayant disparu par portée, les poids moyens par portée et les GMQ moyens par portée entre les différents groupes. Les groupes ont été déterminés en fonction du nombre de porcelets par portée (< 10 ; 11-13 ; ≥ 14), les différentes périodes de distribution de l'aliment (J5-J13 ; J14-J21 ; J22-J27) et le type d'augette (seulement pour l'élevage sevrant à 28 jours). Un résultat a été considéré statistiquement significatif lorsque  $P < 0,05$ .

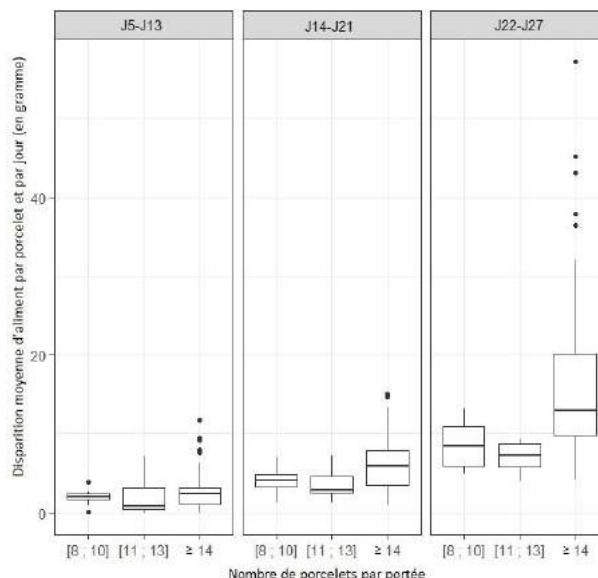
## RÉSULTATS

Quel que soit l'âge au sevrage ou le type d'augette, la disparition d'aliment sec augmentait avec l'âge des porcelets en maternité et cette augmentation était particulièrement importante à partir de 2 semaines de vie environ. En moyenne, la quantité d'aliment disparue des augettes A sur l'ensemble de la lactation était de  $1294 \pm 147$  g pour un sevrage à 21 jours et  $3227 \pm 1110$  g pour un sevrage à 28 jours. La quantité d'aliment disparue des augettes B à 28 jours était de  $1616 \pm 256$  g. Pour un sevrage à 28 jours de vie, le type d'augette influençait significativement la quantité d'aliment ayant disparu sur chaque période ( $P < 0,05$ , Figure 1). Cette différence était particulièrement marquée au cours de la dernière semaine de lactation (J22-J27). La différence observée ne s'explique sans doute pas seulement par un gaspillage plus important avec l'augette A. En effet, les poids au sevrage des porcelets issus des portées avec l'augette A étaient significativement plus élevés (+400 g en moyenne), alors que les poids à J2 étaient identiques pour les deux types d'augettes.



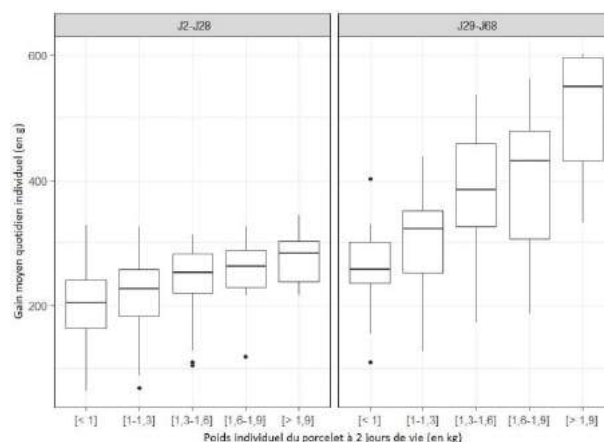
**Figure 1** – Disparition moyenne d'aliment par période en fonction du type d'augette (A ou B) dans l'élevage sevrant à 28 jours

Dans cet essai, nous avons observé que plus il y avait de porcelets dans la portée, plus la disparition d'aliment sec par porcelet était élevée. Par exemple, dans l'élevage sevrant à 28 jours, la consommation d'aliment par porcelet et par jour était de  $8,5 \pm 2,6$  g pour les portées de moins de 10 porcelets et de  $17,2 \pm 1,6$  g pour les portées de plus de 14 porcelets (Figure 2). Ces différences étaient significatives ( $P < 0,05$ ). Une hypothèse qui peut être avancée pour expliquer ce résultat est une plus faible disponibilité en lait par porcelet et donc une consommation individuelle d'aliment sec plus élevée dans les portées de plus de 14 porcelets. Ces différences n'étaient pas significatives dans l'élevage sevrant à 21 jours (peu de portées avec plus de 14 porcelets), cependant la même évolution a été observée.



**Figure 2** – Disparition moyenne d'aliment (en grammes) par période en fonction du nombre de porcelets présents dans la portée dans l'élevage sevrant à 28 jours

Quel que soit l'âge au sevrage, plus le poids moyen par portée d'un porcelet à J2 était élevé, plus la quantité d'aliment disparu était élevée ( $P < 0,05$ ). Le graphique ci-dessous (Figure 3) est issu des pesées dans l'élevage sevrant à 28 jours. Plus un porcelet était lourd à J2, plus sa croissance en maternité et en post-sevrage était significativement élevée ( $P < 0,05$ ), creusant un peu plus les écarts de poids en sortie de post-sevrage. Pour l'élevage en sevrage 21 jours, l'évolution était sensiblement la même mais le résultat de l'analyse statistique n'est pas significatif. Il y avait bien un lien entre la quantité d'aliment disparu par porcelet et le GMQ moyen en maternité (et le poids au sevrage), cependant nous n'avons pas retrouvé ce lien en post-sevrage. La consommation d'aliment sec par un porcelet en maternité ne semble pas impacter sa croissance en post-sevrage.



**Figure 3** – Gain moyen quotidien (GMQ) en maternité (J2-J28) et en post-sevrage (J29-J68) en fonction du poids du porcelet à J2 dans l'élevage sevrant à 28 jours

## CONCLUSION

Cette étude conforte des recommandations couramment admises. Favoriser la consommation d'aliment sec en maternité par les porcelets passe d'abord par le respect des fondamentaux zootechniques (accessibilité de l'augette, nombre de porcelets par portée).

# Effet de l'acide benzoïque protégé sur le profil microbien fécal des porcelets sevrés comme alternative à l'oxyde de zinc

Roberto BAREA (1), Mireille HUARD (1), Marisol CASTILLO (1), Antonio PALOMO-YAGÜE (2), Federico CORREA (3), Paolo TREVISI (3)

(1) Novus Europe NV, Leuvensesteenweg 643 Box 15, 1930 Zaventem, Belgique

(2) Université Complutense de Madrid, Avda. Puerta de Hierro s/n., 28040 Madrid, Espagne

(3) Department of Agricultural and Food Sciences, University of Bologna, 40127 Bologna, Italie

roberto.barea@novusint.com

## Effect of protected benzoic acid on the fecal microbial profile of weaned piglets as an alternative to zinc oxide

Organic acids, especially benzoic acid, have long been used for their broad antimicrobial activity and are known to promote gut health and increase performance in pigs. The aim of this study was to study the effect of a protected benzoic acid (PBA) as an alternative to zinc oxide (ZnO) in piglet diets on the intestinal microbiota profile. The trial was run on 4 commercial farms. Approximately 2,610 piglets were fed diets containing PBA or ZnO (each dosed at 2.5 kg/t) in the creep feed (from 7 days of age to 3-7 days after weaning, at 28 days) and in the starter diet (from 28-42 days). The piglets were divided into the blocks according to body weight and sex. At the end of the trial, 64 fecal samples (from 16 pens/farm, 8 per treatment) were collected for phylogenetic analysis of the microbial profile based on metagenomic methods. The fecal microbiota was characterized by higher alpha diversity in the PBA treatment (Shannon: 4.52 vs 4.10,  $P < 0.001$ ; InvSimpson: 36.1 vs 24.5,  $P < 0.01$ ). The microbial composition was significantly influenced by the treatment ( $P < 0.01$ ,  $R^2 = 0.03$ ). Piglets fed PBA showed a higher abundance of *Ruminococcus* (FDR = 0.02) and *Fibrobacter* (FDR = 0.04), known for their ability to ferment dietary fiber. In conclusion, supplementation of PBA modulated the gut microbial profile of weaned piglets by increasing alpha diversity and promoting the growth of beneficial bacteria that are related to polysaccharide metabolism and the production of short-chain fatty acids.

## INTRODUCTION

L'oxyde de zinc (ZnO) à des doses pharmacologiques (2,5 kg/tonne d'aliment) a été largement utilisé dans la phase post-sevrage comme activateur de croissance et pour réduire l'incidence des diarrhées. Cependant, un apport élevé de ZnO dans l'alimentation porte à l'accumulation de Zn dans l'environnement (Buff *et al.*, 2005) et des processus de résistance bactérienne aux antibiotiques (Vahjen *et al.*, 2015). Dans ce contexte, la Commission Européenne a décidé d'interdire l'utilisation de doses pharmacologiques de ZnO à partir de juin 2022. Les acides organiques ont de multiples effets bénéfiques sur les performances de croissance des porcs, en réduisant ou en éliminant les bactéries pathogènes habituellement sensibles à un pH bas (Yousaf *et al.*, 2016), bien que le facteur limitant de l'effet antibactérien des acides organiques soit la nécessité d'être libérés dans l'intestin. La technologie de protection dans une matrice de lipides hydrogénés, est utilisée pour augmenter la stabilité et contrôler la libération de composés actifs dans l'intestin des animaux (Bosi *et al.*, 2007). L'objectif de ce travail était d'étudier l'effet d'un acide benzoïque protégé (ABP) sur le profil microbien fécal des porcelets en remplacement du ZnO à dose pharmacologique.

## 1. MATERIEL ET METHODES

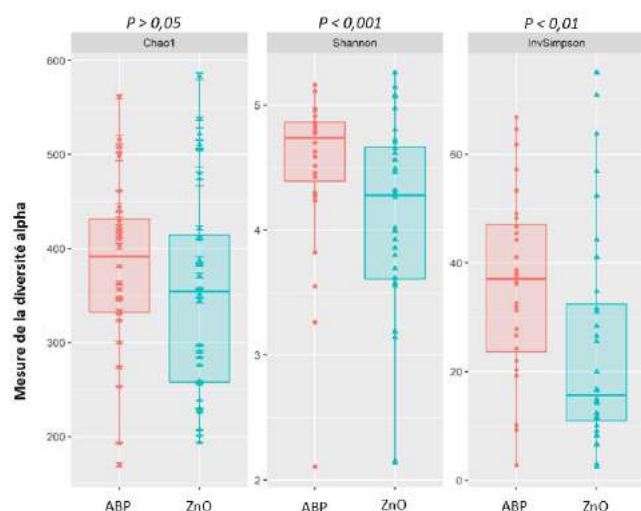
L'étude a été précédemment présentée par Barea *et al.* (2020) en ce qui concerne les résultats de performance et de santé de porcelets. Brevement, environ 2 610 porcelets, appartenant à 4 élevages commerciaux ont reçu des régimes contenant du ABP (PROVENIA™, Novus International Inc., St Charles, États-Unis) ou du ZnO (dosés chacun à 2,5 kg/tonne) dans l'aliment "initiateur lacté" (de 7 jours de vie à 3-7 jours après le sevrage, soit à 28 jours d'âge) et dans l'aliment 1er âge (de 28 à 42 jours d'âge). Les aliments étaient à niveau nutritionnel équivalent et aucun antibiotique n'a été ajouté. Les porcelets ont été répartis dans les blocs en fonction du poids vif et du sexe. A la fin de l'essai, un total de 64 échantillons fécaux (16 blocs/élevage, 8 par traitement) a été collecté pour l'analyse phylogénique du profil microbien basée sur méthodes métagénomiques. Les matières fécales fraîches ont été immédiatement collectés dans un tube stérile et immédiatement surgelées et conservées à -80°C jusqu'à l'analyse. L'ADN bactérien a été isolé et extrait avec un kit (MP Biomedicals, Santa Ana, États-Unis) en suivant les instructions du fabricant. Après vérification de la concentration et de la pureté de l'ADN par spectrophotométrie (Fisher Scientific, 13 Schwerte, Allemagne), les régions V3-V4 du gène de l'ARNr 16S (460 pb) ont été amplifiées selon la méthode de

Takahashi *et al.* (2014) et séquencées à l'aide de la plateforme Illumina MiSeq 300x2 pb (Illumina Inc., San Diego, États-Unis). Pour tester les différences entre les groupes selon la diversité alpha et l'abondance différentielle des unités taxonomiques, un modèle ANOVA multifactoriel (MANOVA) a été adapté, en tenant compte de la profondeur de séquençage, du traitement, de l'élevage et leur interaction en tant que facteurs. Pour la diversité alpha, les indices de Chao1, Shannon et InvSimpson ont été calculés. Les différences de composition taxonomique ont été testées à l'aide du test de Kruskal-Wallis. Les valeurs P ont été ajustées à l'aide de la méthode du taux de fausses découvertes ou False Discovery Rate (FDR). Une probabilité de P ou FDR < 0,05 est considérée comme statistiquement significative.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats pour la diversité alpha sont présentés dans la Figure 1. Par rapport au ZnO, le traitement ABP a montré une diversité microbienne plus élevée ; cette différence était statistiquement significative pour les indices de Shannon et de Simpson mais pas pour l'indice Chao1. Une plus grande diversité est considérée comme le marqueur d'un microbiote plus équilibré, plus résilient et plus mature (Yang *et al.*, 2017).

**Figure 1** – Diagramme en boîte de la diversité alpha selon les indices Chao1, Shannon et InvSimpson par traitement nutritionnel : oxyde du zinc (ZnO) ou acide benzoïque protégé (ABP)



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barea R., Castillo M., Morales J., Palomo-Yagüe A., 2020. Complément nutritionnel protégé comprenant de l'acide benzoïque : une alternative potentielle à l'oxyde de zinc dans l'alimentation des porcelets au sevrage. Journées Rech. Porcine, 52, 170–171.
- Bosi P., Sarli G., Casini L., De Filippi S., Trevisi P., Mazzoni M., Meriardi G., 2007. The influence of fat protection of calcium formate on growth and intestinal defence in Escherichia coli K88-challenged weanling pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 139, 170–185.
- Buff C.E., Bollinger D.W., Eilersieck M.R., Brommelsiek W.A., Veum T.L., 2005. Comparison of growth performance and zinc absorption, retention, and excretion in weanling pigs fed diets supplemented with zinc-polysaccharide or zinc oxide. J. Anim. Sci., 83, 2380–2386.
- Flint H.J., Bayer E.A., Rincon M.T., Lamed R., White B.A., 2008. Polysaccharide utilization by gut bacteria: potential for new insights from genomic analysis. Nat. Rev. Microbiol., 6, 121–131.
- Takahashi S., Tomita J., Nishioka K., Hisada T., Nishijima M., 2014. Development of a prokaryotic universal primer for simultaneous analysis of bacteria and archaea using next-generation sequencing. PLoS One 9, e105592.
- Vahjen W., Pietruszynska D., Starke I.C., Zentek J., 2015. High dietary zinc supplementation increases the occurrence of tetracycline and sulfonamide resistance genes in the intestine of weaned pigs. Gut Pathog., 7, 23–27.
- Yang H., Huang X., Fang S., He M., Zhao Y., Wu Z., Yang M., Zhang Z., Chen C., Huang L., 2017. Unraveling the fecal microbiota and metagenomic functional capacity associated with feed efficiency in pigs. Front. Microbiol., 8, 1555.
- Yousaf M., Goodarzi B., Vahjen W., Männer K., Hafeez A., Ur-Rehman H., Keller S., Peris S., Zentek J., 2016. Encapsulated benzoic acid supplementation in broiler diets influences gut bacterial composition and activity. Br. Poult. Sci., 58, 122-131.

Selon la composition taxonomique du microbiote fécal, les genres *Ruminococcus*, *Solobacterium*, *Selenomonas*, *Fusicatenibacter*, *Oribacterium*, *Marvinbryantia*, *Catenisphaera* and *Fibrobacter* étaient plus élevés (FDR < 0,05) dans le groupe ABP par rapport au ZnO (Tableau 1).

**Tableau 1** – Abondance relative (%) des fèces des porcelets ayant reçu un aliment supplémenté avec de l'oxyde du zinc (ZnO) ou de l'acide benzoïque protégé (ABP)

Taxa	ZnO	ABP	FDR <sup>1</sup>
<i>Ruminococcus</i>	2,04	4,34	0,02
<i>Solobacterium</i>	0,10	0,32	0,04
<i>Selenomonas</i>	0,15	0,44	0,01
<i>Fusicatenibacter</i>	0,02	0,07	0,01
<i>Oribacterium</i>	0,01	0,07	0,01
<i>Marvinbryantia</i>	0,01	0,05	0,04
<i>Catenisphaera</i>	0,02	0,06	0,03
<i>Fibrobacter</i>	0,01	0,05	0,04

<sup>1</sup>FDR : False Discovery Rate ou taux de fausses découvertes.

Une abondance accrue de *Fibrobacter* et de *Ruminococcus* a été positivement associée à l'efficacité alimentaire et à de meilleures performances de croissance, ainsi qu'à une amélioration de la fermentation des polysaccharides alimentaires et de la production d'acides gras à chaîne courte, qui sont connus pour exercer une action bénéfique pour l'hôte (Flint *et al.*, 2008, Yang *et al.*, 2017).

## CONCLUSION

La supplémentation en acide benzoïque protégé pourrait influencer positivement le profil microbien des porcelets sevrés par rapport à une dose pharmacologique de ZnO en augmentant la diversité alpha, considérée comme un marqueur d'un microbiote plus équilibré, plus résilient et plus mature. De plus, la supplémentation en ABP a favorisé la prolifération de taxons bactériens comme *Ruminococcus* et *Fibrobacter*, impliqués dans l'utilisation des fibres et l'efficacité alimentaire. Cette découverte associée à l'amélioration observée des performances de croissance et à la réduction de l'incidence de la diarrhée (Barea *et al.*, 2020) fournit un excellent outil nutritionnel pour le remplacement du ZnO.

# La beta-mannanase permet d'améliorer les performances zootechniques et la santé digestive du porcelet en post-sevrage en conditions de production

Fabien ALLEMAN (1), Paul BARNERON (2), Karl POULSEN (3)

(1) Elanco France SAS, Crisco Uno, Bâtiment C, 3-5 avenue de la Cristallerie, CS 80022, 92317 Sèvres CEDEX.

(2) MG2Mix, La Basse Haye, 35229 Chateaubourg.

(3) Elanco Animal Health, Plantin en Moretuslei 1A, 2018 Antwerp, Belgique

## Beta-mannanase improves zootechnical performance and digestive health in nursery pigs.

Hemicell™ HT ( $\beta$ -mannanase) is a patented feed enzyme authorized for most poultry species and pigs in Europe. When added to the feed it reduces the anti-nutritional and pro-inflammatory effects of  $\beta$ -mannans. Doing this contributes to improve intestinal health and animal performance potential and reduce the production costs. The objective of this study was to evaluate the efficacy of this enzyme in a 7 weeks nursery trial on a commercial farm with piglets weaned at 21 days of age. The trial was conducted in one farm over two consecutive weaning's with a total of 860 piglets in 24 replicate pens/treatment. Common two-phase nursery diets were used as Control and compared to similar diets with  $\beta$ -mannanase (Enzyme) that were reformulated to reduce feed cost. In phase 1, the formula changes included replacement of 2.0 % soy protein concentrate by 2.7 % soybean meal and in phase 2 a 63 kcal/kg net energy reduction was reached by replacing 1.2% rapeseed oil by wheat, wheat bran and soybean meal. The changes reduced feed cost by 5-6 euro/tonne in both phases. Standard production data including diarrhea scores were recorded and rectal fecal samples were collected from the second weaning and analyzed for expression of 5 biomarkers for intestinal integrity. Performance and health in the first weaning were better than normal for the farm, and almost identical performance was observed with FCR of 1.49 vs 1.48 and gain of 425 vs 422 g/day for Control and Enzyme respectively. In the second weaning, performance and health were typical for the farm. However, Enzyme treated pigs still performed similarly to the pigs in weaning one with FCR of 1.51 and daily gain of 404 g/day. No differences in health were observed during the trial and no pigs required veterinary treatment. Overall, Enzyme improved performance ( $p < 0.05$ ) with FCR of 1.54 and 1.50 and gain of 385 and 413 g/day for Control and Enzyme. The reduced expression of the biomarkers Calprotectin and IFN- $\gamma$  ( $p < 0.05$ ) was consistent with reduced inflammation from  $\beta$ -mannans.

## INTRODUCTION

Les  $\beta$ -mannanes sont des fibres de la famille des hémicelluloses présentes dans la plupart des matières premières utilisées en alimentation animale (Ferrel *et al.*, 2014). Elles sont connues pour leur capacité à induire chez le porcelet une réaction inflammatoire intestinale préjudiciable à leur intégrité intestinale et à leurs performances de croissance (Guillou *et al.*, 2020). L'utilisation d'une enzyme à activité  $\beta$ -mannanase est une solution qui a déjà fait ses preuves aux Etats Unis (Richert, 2013) ou en Europe du nord (Vangroenweghe *et al.*, 2021).

L'objectif de cette étude était de confirmer l'intérêt technique et économique de cette enzyme dans un contexte de formulation et d'élevage Français. L'enzyme a été utilisée en reformulation (sur les protéines « nobles » en 1<sup>er</sup> âge et sur l'énergie en deuxième âge) permettant ainsi de réduire les couts de fabrication d'aliment tout en assurant un même niveau de performances.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

L'essai a été réalisé de septembre à décembre 2020 dans un élevage de type naisseur-engraisseur d'Ille et Vilaine (35) sur

des porcelets sevrés âgés entre 21 à 70 jours. Le dispositif a été répété une fois sur deux bandes successives de 430 porcelets. Pour chacune des 2 bandes, les porcelets ont été répartis selon leur poids en 3 salles de 8 cases de 18 ou 19 porcelets chacune, soit 12 cases par traitement (aliment témoin vs aliment supplémenté en  $\beta$ -mannanase).

### 1.2. Formulation des aliments

Les deux aliments « témoins » 1<sup>er</sup> (21 à 42 jours) et 2<sup>ème</sup> âge (42 à 70 jours) était formulés respectivement avec des niveaux énergétiques de 10,8 et 10,1 MJ / kg, lysine digestible de 12.2 et 11.1 g / kg et 17,5% de protéines avec des matières premières classiques (blé, maïs, orge, son de blé, tourteau de soja 48, concentré protéique de soja, huile de colza, acides aminés, carbonate de calcium, phosphate bicalcique, prémix). Les deux aliments « enzymés » (1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge) étaient formulés selon les mêmes contraintes nutritionnelles que les témoins mais en ajoutant une  $\beta$ -mannanase (Hemicell™ HT Dry, Elanco Animal Health, Greenfield, IN, USA ; 300 g/tonne ; 48 000 UI/kg) et en substituant 2,7% de concentré protéique de soja par 2% de tourteau de soja 48 en 1<sup>er</sup> âge (gain de 5€ / tonne d'aliment), ainsi qu'en baissant l'énergie de 0,26 MJ EN/kg en 2<sup>ème</sup> âge (gain de 5,88€ / tonne d'aliment).



Deux groupes expérimentaux ont été constitués (témoin et enzymé). L'unité expérimentale considérée était la case. Le poids et la consommation d'aliment par cases ont été enregistrés au sevrage (21 jours) et à 70 jours. Le gain moyen quotidien (GMQ) ainsi que l'indice de consommation (IC) ont été calculés entre J21 et J70. Chaque jour, la mortalité ainsi que les scores fécaux (de 1 : fèces normales à 3 : fèces liquides) étaient enregistrés.

A J62 (bande n°2 uniquement), des prélèvements de fèces ont été réalisés (15 animaux par groupe) et les ARNm de 5 biomarqueurs de l'intégrité intestinale recherchés : occludine et zonuline (protéines des jonctions serrées), IFN-γ, TGF-β et calprotectine (marqueur de l'inflammation intestinale). Brièvement, les RNA totaux ont été extraits sur colonne commerciale (Genejet RNA isolation kit, Thermofisher, UK), les cDNA synthétisés grâce à un primer oligodT. Pour la q-PCR, un thermocycleur ABI 7300 et les primers décrits dans la littérature pour chaque biomarqueur. La quantification relative a été réalisée selon Pfaffl, 2001.

#### 1.4. Analyses statistiques

Les données ont été analysées au seuil α de 5% avec le logiciel R selon un modèle linéaire général du type :

$Y_i = \mu + R_i + B_j + \epsilon_{ij}$  avec  $\mu$  (Intercept) ;  $R_i$  (effet aliment) ;  $B_j$  (effet bande) ;  $\epsilon_{ij}$  (erreur)

La normalité et l'homoscédasticité ont été vérifiées avec les tests de Shapiro-Wilk et de Levene. En cas de non-respect des hypothèses initiales, un test de Kruskal Wallis a été réalisé (cas du GMQ 21-70 jours, des consommations par groupe et les IC).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Scores fécaux

Il n'y a pas eu de différence de scores fécaux entre les groupes témoin et supplémenté. Lors de la seconde bande, des épisodes diarrhéiques ont été observés de façon similaire dans les deux groupes. Il n'y a pas eu d'augmentation de mortalité associée à ces désagréments et aucun traitement antibiotique n'a été administré.

### 2.2. Performances des animaux

Lors de la première bande (B1, tableau 1), les GMQ ont été strictement identiques entre les groupes témoin et supplémentés en β-mannanase.

Lors de la seconde bande (B2, tableau 1), les performances des animaux ayant reçu l'aliment enzymé (GMQ et IC) ont été significativement améliorées. Par ailleurs, le GMQ des animaux témoin a fortement baissé en comparaison avec ceux observés lors de la bande 1, probablement en lien avec l'épisode diarrhéique observé lors de cette seconde bande (voir 2.1). Cette observation a été comparable sur le critère consommation et par conséquent sur les indices de

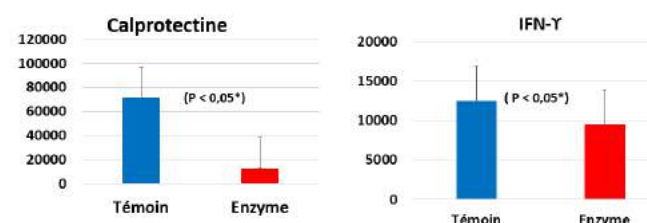
consommation (21-70j) : Lors de la première bande, les IC n'ont pas différé entre les groupes témoin et supplémenté (1,49 et 1,48 ; NS), puis ils ont décroché fortement en seconde bande en particulier dans le groupe témoin (1,56 vs 1,51 ; p < 0,05).

**Tableau 1** – performances entre 21-70 jours

	Témoin	Enzyme	p-value
GMQ B1 (g/j)	425	422	NS
Conso B1 (g/j)	631	625	NS
IC B1	1,49	1,48	NS
GMQ B2 (g/j)	345	404	p < 0,001
Conso B2 (g/j)	544	606	p < 0,05
IC B2	1,56	1,51	p < 0,05
GMQ global (g/j)	385	413	p < 0,05
Conso Global (g/j)	587	615	p < 0,05
IC Global	1,54	1,50	p < 0,05

Ces résultats confirment d'une part la pertinence des options de formulation choisies qui, dans une situation d'élevage normale permettent de diminuer les coûts de formulation sans impact sur les performances, et dans une situation sanitaire plus dégradée, de limiter les baisses de performances induites.

### 2.3. Expression des marqueurs de l'intégrité intestinale



\* Tests statistiques réalisés après transformation LOG des données

**Figure 1** – Expression fécale de la Calprotectine et de l'IFN γ

Les niveaux d'expression (ARNm) de la calprotectine et de l'IFN-γ, deux marqueurs d'un état inflammatoire de la sphère digestive ont significativement baissé dans le groupe avec enzyme (p < 0,05). Cette amélioration de l'intégrité intestinale est en relation avec l'inactivation des effets antinutritionnels des β-mannanes permise par l'enzyme. Aucune différence n'a été observée pour les trois autres marqueurs testés : occludine, zonuline et TGF-β.

## CONCLUSION

L'utilisation d'une β-mannanase en post sevrage a permis, en conditions sanitaires satisfaisantes (bande n°1) de maintenir les performances tout en réduisant les coûts de formulation. Dans la cadre de notre essai, où la situation sanitaire s'est dégradée dans les deux groupes (bande n°2) l'enzyme a permis de limiter la baisse de performances grâce à la neutralisation des effets pro inflammatoires des β-mannanes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ferrel, J., Anderson, D.M. and Hsiao, H.Y. 2014. Content of soluble non-starch polysaccharides, β-mannan and xylan in legume meals, non-legume meals, and cereal grains or cereal grain by-products. J. Anim. Sci, 92: Abstract 328.
- Guillou D., Alleman F., Lemoine N., 2021. La teneur en bêta-mannanes des aliments porcelets affecte la croissance et l'inflammation intestinale différenciellement en premier et deuxième âge. Journées Rech. Porcine, 53, 265-266.
- Pfaffl M.W., 2001. A new mathematical model for relative quantification in real-time-RT-PCR. Nucleic Acids Res., 29, 9.
- Richert B., 2013. Potential for mannanase and glucanase enzymes in swine feeding programs. Proc Conference « Swine nutrition conference », Indianapolis, USA, pp43.
- Vangroenweghe F., Poulsen K., Thas, O., 2021. Supplementation of a β-mannanase enzyme reduces post-weaning diarrhea and antibiotic use in piglets on an alternative diet with additional soybean meal. Porc. health manag, 7,8.

# Effet de la supplémentation d'une nouvelle muramidase sur les performances de croissance des porcelets en post-sevrage

Daniel PLANCHENAU (1), Estefania PEREZ-CALVO (2), Gilberto LITTA (3), Anne-Lise MARY (4), Oriol RIBO (5)

(1) DSM Nutritional Products France, 71 boulevard National, 92250 La Garenne-Colombes, France

(2) DSM Nutritional Products, Centre de Recherche en Nutrition et Santé Animale, 68305 Saint Louis, France

(3) DSM Nutritional Products, Via G. Di Vittorio, 20090 Segrate (MI), Italie

(4) DSM Nutritional Products A/S, Kirkebjerg Allé 88, 2605 Brøndby, Danemark

(5) DSM Nutritional Products, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst, Suisse

[daniel.planchenault@dsm.com](mailto:daniel.planchenault@dsm.com)

## Evaluation of a new muramidase supplement on the growth performance of weaned piglets

Exogenous enzymes are widely used in monogastric feed to increase the digestibility of raw material constituents, but little is done targeting the nutrient pool made up of intestinal bacterial cell wall debris. To evaluate effects of dietary supplementation with a new muramidase on the growth performance of weaned piglets, three trials were performed. In the three trials, weaned piglets (mean age and weight: 25 d and 8.1 kg) were homogeneously distributed in pens (n= 120, 40, 128, respectively; according to age and weight) into two treatment groups: a control group and a basal diet supplemented with 50,000 LSU(F)/kg feed. The diet, in mash form, was based on wheat, barley and soybean meal (with milk powder in starter diets) and was offered *ad libitum* for 42 days. Health status, abnormal behavior and occurrence of post-weaning diarrhea (from normal feces to severe diarrhea) were monitored throughout the experimental period. Feed intake and body weight per pen were measured, and the feed conversion ratio (FCR) and average daily gain were calculated. Analysis of variance (ANOVA) was performed on the aggregated data of the three trials. In all trials, health status of the piglets was very good, and even though diarrhea incidence was low, supplementation with muramidase significantly decreased fecal scores. Significantly higher average daily weight gain and lower FCR were observed with muramidase supplement, as shown by the clear effect during the grower phase (d15-42). Overall, the results allow us to conclude that muramidase supplementation at 50,000 LSU(F)/kg improves the growth performance of weaned piglets.

## INTRODUCTION

L'utilisation d'enzymes exogènes dans la ration des porcs est une pratique courante pour améliorer la digestibilité des constituants de l'aliment et améliorer ainsi les performances des animaux, voire en cascade moduler leur microbiote. Récemment, des effets positifs sur les performances zootechniques et le soutien de la fonctionnalité gastrointestinale des poulets ont été démontrés grâce à l'utilisation d'une nouvelle enzyme, la muramidase (EC 3.2.1.17) (Sais *et al.*, 2020). Contrairement aux enzymes exogènes courantes telles que les phytases ou les xylanases qui améliorent la digestibilité d'une fraction de la ration, cette muramidase a une action spécifique sur la fraction constituée par la biomasse microbienne intestinale. En effet, elle hydrolyse les débris formés par les peptidoglycanes des parois de bactéries mortes et n'a pas d'effet antimicrobien (Lichtenberg *et al.*, 2017).

L'objectif de cette étude est d'évaluer, à partir des données issues de trois essais, l'effet de la muramidase sur les performances zootechniques du porcelet sevré.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Origine des données

Trois essais d'évaluation des performances zootechniques sont menés dans trois stations expérimentales. Dans chaque essai, les porcelets, sevrés à 25 ± 2 jours, sont allotés selon leur âge et leur poids. Les porcelets reçoivent soit un régime témoin, soit un régime supplémenté avec 50 000 LSU(F)/kg de muramidase (Balancius™ - DSM Nutritional Products). Le nombre de cases dans chaque essai varient de 40 à 128. Les principales modalités de chacun des essais sont détaillées dans le tableau 1.

Dans chaque essai, les porcelets reçoivent un programme alimentaire composé d'un aliment premier âge pendant 2 semaines puis d'un aliment deuxième âge pendant 4 semaines. Les aliments premier et deuxième âge ont des valeurs nutritionnelles identiques (Energie métabolisable = 13,4 MJ/kg ; Protéine brute = 20 et 19% ; Lysine totale = 1,45 et 1,30%) entre les trois essais et ne contiennent ni antibiotique, ni oxyde de zinc à dose pharmacologique. Les aliments sont sous forme de farine et composés principalement de blé, d'orge et de tourteaux de soja ainsi que de lactosérum pour l'aliment premier âge.



## 1.2. Mesures

Dans chacun des essais, les porcelets sont pesés individuellement au sevrage (J1), à la fin du premier âge (J14) et à la fin du post-sevrage (J42). Aux mêmes moments, les consommations d'aliment par case sont relevées. Le gain moyen quotidien (GMQ), la consommation individuelle moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) sont calculés par case pour chacune des périodes et pour l'ensemble du post-sevrage. La santé des animaux est évaluée quotidiennement par une notation visuelle des fèces (Perez-Calvo *et al.*, 2019) selon une échelle de 0 à 3 (0 = normal ; 1 = fèces molles ; 2 = diarrhée modérée ; 3 = diarrhée sévère).

## 1.3. Analyses statistiques

L'ensemble des données zootechniques et de santé de chaque case, de chacun des trois essais, ont été regroupées en une seule et même base. Pour chaque critère considéré, une analyse de la variance est réalisée (JMP®, v15. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989-2021) en incluant la supplémentation ou non en muramidase comme effet principal. En l'absence d'effet de l'essai sur le poids initial, ce facteur a été considéré comme aléatoire et n'est pas inclus dans le modèle.

**Tableau 1 – Caractéristiques des différents essais**

Station expérimentale	Nb de répétitions par traitement	Nb de porcelets par case	Poids au sevrage (kg)	Croisement
Livestock Feedtests (Danemark)	60	10	8,7 ± 0,72	DanBred x Duroc
Université libre de Berlin (Allemagne)	20	2	7,5 ± 0,78	DanBred x Piétrain
Université libre de Berlin (Allemagne)	64	10	8,2 ± 1,17	DanBred x Piétrain

**Tableau 2 – Effet de la supplémentation en muramidase sur les performances zootechniques<sup>1</sup> obtenues dans les trois essais**

	Témoïn	Essai	ETR <sup>2</sup>	Effet du traitement <sup>2</sup>
<b>Poids initial (kg)</b>	8,15	8,15	0,34	0,997
<b>Poids final (kg)</b>	28,97	29,62	1,02	0,100
<b>Période de premier âge J1-J14</b>				
Consommation (kg/porcelet)	6,08	6,05	0,63	0,803
GMQ (g/j)	328	330	42	0,836
IC (g/g)	1,34	1,34	0,07	0,535
Note de fèces	0,48 <sup>a</sup>	0,35 <sup>b</sup>	0,42	<0,001
<b>Période de deuxième âge J15-J42</b>				
Consommation (kg/porcelet)	27,13	27,41	1,61	0,427
GMQ (g/j)	578 <sup>b</sup>	602 <sup>a</sup>	31	0,007
IC (g/g)	1,68 <sup>a</sup>	1,63 <sup>b</sup>	0,04	<0,001
Note de fèces	0,12 <sup>a</sup>	0,09 <sup>b</sup>	0,30	0,001
<b>Ensemble du post-sevrage (J1-J42)</b>				
Consommation (kg/porcelet)	33,15	33,39	1,92	0,595
GMQ (g/j)	495 <sup>b</sup>	511 <sup>a</sup>	21	0,027
IC (g/g)	1,60 <sup>a</sup>	1,56 <sup>b</sup>	0,03	<0,001
Note de fèces	0,25 <sup>a</sup>	0,19 <sup>b</sup>	0,34	<0,001

<sup>1</sup>GMQ : gain moyen quotidien, IC : indice de consommation. <sup>2</sup>ETR : écart-type résiduel ; Modèle ANOVA avec le traitement en effet fixe

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

La compilation des données issues des trois essais montre que pendant la période de premier âge (J1-J14), bien que l'incidence de diarrhée soit faible, l'ajout de muramidase améliore significativement le score fécal sans effet significatif sur les performances de croissance. En revanche, pendant la période de deuxième âge (J15-J42), la supplémentation en muramidase améliore significativement la croissance de plus de 4% et l'efficacité alimentaire de 3% tout en conservant l'effet positif sur la qualité des déjections. Ainsi, sur l'ensemble de la période post-sevrage, les scores fécaux sont significativement meilleurs pour le lot muramidase. Le GMQ est amélioré de 16 g et l'IC également de 0,04 point. Ces résultats confirment les premiers éléments publiés de Schliffka *et al.* (2019).

## CONCLUSION

Dans les conditions de l'étude, à partir des données combinées de trois essais, il est possible de conclure que la supplémentation des aliments en muramidase à 50 000 LSU(F)/kg améliore significativement la croissance et l'efficacité alimentaire des porcelets sur l'ensemble du post-sevrage tout en améliorant la consistance des fèces. Ces premiers éléments d'efficacité d'une nouvelle enzyme ciblant les peptidoglycanes issus des parois de bactéries mortes ouvrent de nouvelles perspectives dans la modulation de la fonctionnalité gastro-intestinale des porcelets après-sevrage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Lichtenberg J., Perez Calvo E., Madsen K., Østergaard Lund T., Kramer Birkved F., van Cauwenberghe S., Mourier M., Wulf-Andersena L., Jansman A.J.M., Lopez-Ulibarri R., 2017. Safety evaluation of a novel muramidase for feed application. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 89, 57-69.
- Perez-Calvo E., Wicaksono A.N., Canet E., Daulton E., Ens W., Hoeller U., Verlhac V., Celi P., Covington J.A., 2019. The measurement of volatile organic compounds in faeces of piglets as a tool to assess gastrointestinal functionality. *Biosyst. Eng.*, 184, 122-129.
- Sais M., Barroeta A.C., López-Colom P., Nofrarias M., Majó N., Lopez-Ulibarri R., Pérez Calvo E., Martín-Orúe S.M., 2020. Evaluation of dietary supplementation of a novel microbial muramidase on gastrointestinal functionality and growth performance in broiler chickens. *Poult. Sci.*, 90, 235-245.
- Schliffka W., Heng-Xiao Z., Perez-Calvo E., van Cauwenberghe S., Walsh M.C., Lopez-Ulibarri R., 2019. Safety and efficacy evaluation of a novel dietary muramidase for swine. *Heliyon*, 5, 1-9.

# Un mélange microencapsulé d'acides organiques et de composés de nature identique améliore la digestibilité des nutriments et les performances des porcs en croissance, réduisant les émissions de mauvaises odeurs

Benedetta TUGNOLI (1), Roberto MANINI (1), Andrea PIVA (1,2), Ester GRILLI (2,3)

(1) Vetagro S.p.A., via Porro 2 - 42124 Reggio Emilia (Italie)

(2) Université de Bologna, DIMEVET, via Tolara di Sopra 50 - 40064 Ozzano Emilia, BO (Italie)

(3) Vetagro, Inc., 17 E. Monroe St., Suite #179, 60604 Chicago (IL), USA

*benedetta.tugnoli@vetagro.com*

## Microencapsulated organic acids and nature-identical compounds improve nutrient digestibility and live performance of growing pigs, reducing malodor emissions

The study evaluated effects of a microencapsulated blend of organic acids and nature-identical compounds, fed to growing pigs in two trials: a feeding trial and a metabolic trial. For the feeding trial, a total of 30 pigs ( $27.5 \pm 0.6$  kg) were assigned to two diets (three pigs/pen,  $n = 5$ ): a baseline diet without (control) or with the product at 500 mg/kg (AP group). After 6 weeks, growth performance was recorded and nutrient fecal digestibility determined. For the metabolic trial, a total of 10 pigs ( $36 \pm 1$  kg of BW) were assigned to the same dietary treatments: a control group fed a baseline diet and an AP group fed a baseline diet + the product at 500 mg/kg. Pigs were housed individually in metabolic cages. After 5 days of adaptation, feces and urine were sampled the next 3 days and analyzed for malodor gases, such as ammonia ( $\text{NH}_3$ ) and hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Data were analyzed with T-test and differences considered significant at  $P < 0.05$ . Compared to the control group, the AP group had higher growth performance and fecal digestibility for both dry matter and dietary crude protein. The AP group had lower  $\text{NH}_3$  concentrations in both fecal and fecal + urine samples but lower  $\text{H}_2\text{S}$  emissions only in fecal samples. In conclusion, supplementation with the microencapsulated blend of organic acids and nature-identical compounds improved growth performance and nutrient digestibility in growing pigs, reducing malodor gas emissions.

## INTRODUCTION

Les acides organiques (AO) et les plantes sont largement utilisés comme additifs alimentaires pour augmenter les performances de croissance des porcs, en raison de leurs propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires qui permettent une amélioration générale de la santé et de la fonctionnalité intestinale. Nous avons montré qu'un mélange microencapsulé d'acides organiques et de composés de nature identiques (NIC) peut exercer un effet direct sur la muqueuse intestinale des porcs en réduisant le stress inflammatoire et en renforçant les propriétés barrières, deux facteurs clés pour un bon fonctionnement intestinal, de la santé et par conséquent de la croissance des porcs (Grilli *et al.*, 2015). Récemment, l'impact environnemental de la production porcine et animale a suscité de plus en plus d'intérêt. Des stratégies nutritionnelles ou des additifs alimentaires qui peuvent améliorer la croissance tout en minimisant les risques environnementaux sont fortement nécessaires. Le but de cette étude était d'étudier les effets d'un mélange AO et NIC sur les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et les émissions de mauvaises odeurs chez les porcs en croissance.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Deux expériences ont été menées : un essai d'alimentation et un essai métabolique. Dans les deux essais, le produit testé était

AviPlus®S qui est un mélange d'acide citrique, d'acide sorbique, de thymol et de vanilline autorisés comme additif zootechnique 4d3 (Vetagro S.p.A., Reggio Emilia, Italie). Pour l'essai d'alimentation, un total de 30 porcs (Landrace x Yorkshire) x Duroc ( $27,5 \pm 0,6$  kg de poids vif (PV) initial) ont été affectés à deux régimes (trois porcs/enclos,  $n = 5$  enclos) : un régime de base témoin (groupe CTR) ou supplémenté avec le produit à 500 mg/kg (groupe AP). Le régime de base était un régime maïs-soja, de type commercial non médicamenteux, formulé pour satisfaire ou dépasser les exigences des porcs en croissance recommandées par le NRC (2012). La nourriture et l'eau étaient fournies *ad libitum*. L'étude a duré 6 semaines, avec un poids corporel individuel mesuré au début et à la fin de l'essai et une ingestion alimentaire mesurée quotidiennement par enclos. A l'issue de l'essai, la digestibilité fécale apparente pour la matière sèche (MS) et la protéine brute (CP) a été déterminée en utilisant l'oxyde chromique (0,2%) comme marqueur indigestible mélangé à l'alimentation selon Fenton et Fenton (1979). Après avoir donné le régime de chrome pendant un jour, des échantillons d'excréments frais ont été collectés pendant deux jours dans chaque enclos, mélangés et regroupés avant analyse. Pour l'essai métabolique, un total de 10 porcs (Landrace x Yorkshire) x Duroc ( $36 \pm 1$  kg PV) ont été affectés aux mêmes traitements alimentaires CTR ou groupe AP. Les porcs ont été logés individuellement dans des cages métaboliques. Après 5 jours d'adaptation, des échantillons de fèces et d'urine ont été collectés en totalité sur les 3 jours

suivants. L'eau était accessible *ad libitum* tandis que l'alimentation était restreinte (à 4 % du poids corporel). Des échantillons de matières fécales et de matières fécales mélangées à l'urine ont été analysés à la recherche de molécules causant des mauvaises odeurs telles que l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et le sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ) à l'aide d'une technique de détection de gaz (Gastec Corp., Kanagawa, Japon). Dans l'essai d'alimentation, l'unité expérimentale était l'enclos, à l'exception du poids corporel mesuré par porc. Dans l'essai métabolique, l'unité expérimentale était le porc. Les données ont été analysées avec un test T, avec des différences considérées comme significatives à  $P < 0,05$  (GraphPad Software, Inc, San Diego, CA).

## 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

**Tableau 1** – Effet de l'alimentation d'un mélange AO et NIC sur les performances de croissance et la digestibilité des nutriments chez les porcs en croissance (essai d'alimentation)<sup>1</sup>

Mesures	CTR	AP	SE	P
PV initial, kg	27,1	28,0	0,6	0,81
PV final, kg	58,6	63,7	0,9	< 0,01
GMQ, g/j	751	844	16	< 0,01
CMJ, g/j	1660	1693	8	< 0,01
G:F	0,451	0,498	0,010	< 0,01
Digestibilité de la MS, %	81,87	82,31	0,03	< 0,01
Digestibilité de la PB, %	78,70	79,36	0,06	< 0,01

<sup>1</sup>CTR = contrôle ; AP = produit à 500 mg/kg ; SE = erreur standard ; PV = poids vif ; GMQ = gain moyen quotidien ; CMJ = consommation alimentaire quotidienne moyenne ; G:F = ratio gain sur aliment (efficacité alimentaire) ; MS = matière sèche ; PB = protéine brute.

**Tableau 2** – Effet de l'alimentation d'un mélange AO et NIC sur les émissions de mauvaises odeurs chez les porcs en croissance (essai métabolique)<sup>1</sup>

Mesures (ppm)	CTR	AP	SE	P
Matière fécale				
NH <sub>3</sub>	1,65	0,50	0,20	0,01
H <sub>2</sub> S	92,5	59,0	8,3	0,04
Matière fécale et urine				
NH <sub>3</sub>	6,8	3,5	0,8	0,04
H <sub>2</sub> S	81	64	7	0,50

<sup>1</sup>CTR = contrôle ; AP = produit à 500 mg/kg ; SE = erreur standard ; NH<sub>3</sub> = ammoniac ; H<sub>2</sub>S = sulfure d'hydrogène.

Le tableau 1 montre les performances de croissance et les résultats de digestibilité des éléments nutritifs de l'essai d'alimentation. Par rapport au groupe témoin, le traitement a amélioré les performances de croissance (PV final, GMQ et efficacité alimentaire) et à la fin de l'essai les porcs recevant le produit pesaient en moyenne 5 kg de plus que les animaux

témoins. De plus, il a augmenté la digestibilité fécale à la fois pour la MS et la PB alimentaire. Dans l'essai d'alimentation, le mélange microencapsulé AO et NIC a ainsi été efficace pour promouvoir les performances des porcs en croissance. Ces résultats peuvent s'expliquer par la capacité de ce mélange microencapsulé AO et NIC à affecter positivement la muqueuse intestinale des porcs, en renforçant les propriétés barrières et en réduisant le stress inflammatoire (Grilli *et al.*, 2015). L'effet favorisant la croissance était en outre soutenu par une digestibilité accrue à la fois de la matière sèche et des protéines brutes, déjà observée avec le produit à la fois chez les porcs sevrés et en croissance-finition (Cho *et al.*, 2014 ; Oh *et al.*, 2019). Le mécanisme d'action exact n'est pas encore clair mais une stimulation par AO et NIC de la sécrétion d'enzymes digestives et de la capacité d'absorption peut être suggérée, considérant leur rôle multifonctionnel le long du tractus gastro-intestinal du porc (Rossi *et al.*, 2020 ; Tugnoli *et al.*, 2020).

Les données sur les émissions de mauvaises odeurs de l'essai métabolique sont présentées dans le tableau 2. Le traitement a réduit les concentrations de NH<sub>3</sub> dans les échantillons fécaux et fécaux + urine, tandis que les émissions de H<sub>2</sub>S n'ont été réduites que dans les échantillons fécaux. L'essai métabolique a ainsi montré que le mélange microencapsulé AO et NIC peut également réduire les émissions de mauvaises odeurs, comme l'indiquent une plus faible excretion de NH<sub>3</sub> et – dans une moindre mesure – de H<sub>2</sub>S, deux des gaz polluants les plus importants de la production porcine. La réduction de l'ammoniac excrété est strictement liée à la plus grande digestibilité des protéines alimentaires observée dans le groupe traité. Ces résultats suggèrent que le mélange microencapsulé AO et NIC peut améliorer non seulement la digestion et l'absorption des protéines, mais également le métabolisme global des protéines, minimisant la perte de N sous forme de NH<sub>3</sub> et la perte d'énergie qui en résulte au cours du cycle de l'urée. Cette énergie serait plutôt utilisée pour la croissance corporelle, comme l'indiqueraient les résultats de performance. L'effet du traitement sur les niveaux de H<sub>2</sub>S est moins clair et des investigations supplémentaires sont nécessaires pour mieux discuter de l'impact du régime alimentaire sur les émissions de H<sub>2</sub>S en général.

## CONCLUSION

Pour conclure, le mélange microencapsulé AO et NIC utilisé dans cette étude a été efficace pour améliorer les performances de croissance et la digestibilité des nutriments chez les porcs, tout en réduisant les émissions de mauvaises odeurs. Par conséquent, il pourrait être proposé comme un outil prometteur pour l'environnement pour soutenir la croissance des porcs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cho J.H., Song M.H., Kim I.H., 2014. Effect of microencapsulated blends of organic acids and essential oils supplementation on growth performance and nutrient digestibility in finishing pigs. *Rev. Colomb. Cienc. Pec.*, 27, 264-272.
- Fenton T.W., Fenton M., 1979. An improved method for chromic oxide determination in feed and feces. *Can. J. Anim. Sci.*, 59, 631-634.
- Grilli E., Tugnoli B., Passey J.L., Stahl C.H., Piva A., Moeser A.J., 2015. Impact of dietary organic acids and botanicals on intestinal integrity and inflammation in weaned pigs. *BMC Vet. Res.*, 11, 96.
- National Research Council (NRC), 2012. Nutrient requirement of pigs. 11th ed. National Research Council, Academy Press, Washington, DC, USA.
- Oh H.J., Kim I.H., Song M.H., Kwak W.G., Yun W., Lee J.H., Lee C.H., Oh S.Y., Liu S., An J.S., Kim H.B., Cho J.H., 2019. Effects of microencapsulated complex of organic acids and essential oils on growth performance, nutrient retention, blood profiles, fecal microflora, and lean meat percentage in weaning to finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 99, 41-49.
- Rossi B., Toschi A., Piva A., Grilli E., 2020. Single components of botanicals and nature-identical compounds as a non-antibiotic strategy to ameliorate health status and improve performance in poultry and pigs. *Nut. Res. Rev.*, 33, 218-234.
- Tugnoli B., Giovagnoni G., Piva A., Grilli E., 2020. From acidifiers to intestinal health enhancers: how organic acids can improve growth efficiency of pigs. *Animals(Basel)*, 10, 134.

# Potentiel d'un additif alimentaire phytogénique comme alternative naturelle au ZnO dans l'alimentation des porcelets sevrés

Anja KEINER, Sandra CHAMUSCO, Roberto MONTANHINI NETO, Tobias AUMILLER

*Delacon Biotechnik GmbH, Langwiesen 24, 4209 Engerwitzdorf, Autriche*

*anja.keiner@delacon.com*

## Potential of a specific phytogenic feed additive as a natural alternative to ZnO

Weaning is a stressful period for young piglets. Frequently, post-weaning diarrhea (PWD) and decreased growth performance can be observed, causing considerable economic losses. To date, zinc oxide (ZnO) has been used to address these challenges. After the decision to ban pharmacological doses of ZnO in the European Union, alternative solutions are of great interest. This 35-day study was conducted to investigate the potential of a specific phytogenic feed additive (PFA) to improve fecal consistency and growth performance in weaned piglets. A total of 288 piglets aged 23-28 days were distributed among three treatments. Animals were fed a maize, soybean meal, barley and wheat-based diet that was not supplemented (NC) or supplemented with ZnO at a pharmacological level (2500 mg/kg) for 14 days after weaning or with a PFA at 1000 mg/kg feed. Responses were measured through growth performance, fecal scoring, and mortality. Animals supplemented with PFA showed numerical and positive but non-significant improvements in overall body weight gain (+2.1%), feed intake (+4.1%), and feed-to-gain ratio in compared to those of NC animals (+0.8%). The inclusion of ZnO numerically improved overall body weight gain (+1.3%) and feed intake (+2.6%) compared to those of the NC group but numerically increased the corresponding overall feed-to-gain ratio (+0.3%). Fecal scores of PFA and ZnO groups were improved significantly compared to that of the NC group but did not differ from each other. The results suggest that supplementing this specific PFA to piglet diets during the post-weaning period could improve resilience against PWD. Therefore, it could be considered as a potential natural alternative to pharmacological ZnO levels in post-weaning piglets.

## INTRODUCTION

Le sevrage est une période stressante pour les jeunes porcelets. Fréquemment, une diarrhée post-sevrage (DPS) et une diminution des performances de croissance peuvent être observées, causant des pertes économiques considérables. Jusqu'à présent, l'oxyde de zinc (ZnO) a été utilisé pour faire face à ces défis. Après la décision d'interdire les doses pharmacologiques de ZnO dans l'UE, des solutions alternatives deviennent nécessaires. Une étude de 35 jours a été menée pour évaluer le potentiel d'un additif alimentaire phytogénique (AAP) spécifique sur les performances et la consistance fécale chez les porcelets sevrés.

### 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

#### 1.1. Schéma expérimental

Au total, 288 porcelets âgés au sevrage de 23 à 28 jours ont été répartis en trois traitements pour un total de 36 cases (8 animaux par case). Les animaux ont été nourris pendant 14 jours après le sevrage avec un régime à base de maïs, de tourteau de soja, d'orge et de blé. Les aliments étaient soit sans aucune supplémentation (contrôle négatif, CN), soit ont été supplémentés de 1 000 ppm d'AAP d'aliments (Fresta® Protect,

à base d'huiles essentielles, de mucilage et de flavonoïdes) ou de ZnO au niveau thérapeutique (2 500 ppm). L'AAP d'aliments a été supplémenté pendant toute la période de l'essai, tandis que les porcelets du groupe ZnO n'ont reçu du ZnO que du jour 1 au jour 14 de l'essai, suivi d'un régime sans supplémentation jusqu'à la fin de la période expérimentale.

La consommation moyenne journalière (CMJ), le gain de poids quotidien (GMQ) et l'indice de conversion (IC) sur la période 0-35 jours post-sevrage ont été pris comme critères d'évaluation. Le poids vif a été mesuré individuellement et la consommation mesurée à l'échelle de la case. De plus, la consistance fécale et la mortalité ont été suivies. La consistance fécale a été enregistré quotidiennement selon le schéma suivant : 1 – ferme et moulée ; 2 – molle et moulée ; 3 – molle non moulée ; 4 – liquide. Elle a été ensuite transformée en pourcentage d'échantillons dans chaque catégorie.

#### 1.2. Analyses statistiques

Les effets du traitement alimentaire sur les performances zootechniques (poids vif, GMQ, CMJ, IC, consistance fécale et mortalité) ont été analysés par la procédure MIXED en tenant compte du traitement comme variable fixe et du poids corporel de départ en covariable, en utilisant SAS version 9.4 (SAS

Institute Inc, Cary, États-Unis). L'unité expérimentale était la case. Les probabilités de  $P \leq 0,05$  ont été considérées statistiquement significatives.

## 2. RÉSULTATS-DISCUSSION

### 2.1. Performances de croissance

La supplémentation des porcelets sevrés avec du AAP ou du ZnO a amélioré numériquement mais de façon non significative les paramètres de performance de croissance par rapport aux animaux du groupe témoin ( $P > 0,05$ ). À la fin de l'essai, le poids corporel a été amélioré numériquement de 2,1% pour l'AAP et de 1,3% pour le ZnO par rapport au témoin. Le GMQ a été amélioré numériquement de 3,7% avec l'AAP et 2,2% avec le ZnO ( $P > 0,05$ ) et la CMJ moyenne de 4,1% pour l'AAP et 2,6% pour le ZnO ( $P > 0,05$ ) par rapport au témoin. En conséquence, aucune différence d'IC n'a été observée pour les groupes AAP et ZnO par rapport au témoin (Tableau 1).

**Tableau 1** – Performances de croissance des porcelets ayant reçu un aliment témoin (CN) ou supplémenté d'un additif alimentaire phyto-génique (AAP) ou ZnO

	CN	AAP	ZnO	etr <sup>2</sup>	P- valeur
PV initial, kg <sup>1</sup>	6,4	6,4	6,1	0,14	1,00
PV final, kg	15,3	15,6	15,5	0,33	0,79
GMQ, g/j <sup>1</sup>	252	262	258	9	0,78
CMJ, g/j <sup>1</sup>	407	424	418	11	0,57
IC <sup>1</sup>	1,62	1,63	1,62	0,30	0,93

<sup>1</sup>PV : poids vif ; GMQ : gain moyen quotidien ; CMJ : consommation moyenne journalière ; IC : indice de conversion. <sup>2</sup>Ecart-type résiduel

### 2.2. État de santé

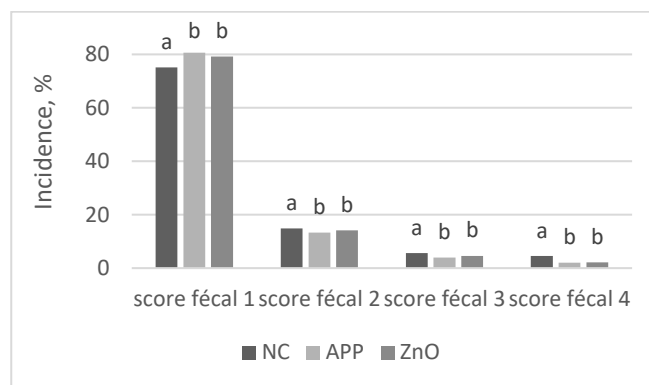
#### 2.2.1. Mortalité

En général, l'état de santé au cours de la période d'essai était excellent et aucun médicament n'était nécessaire. La mortalité dans les groupes AAP et ZnO était faible, avec 0% et 2,1%, respectivement. En revanche, le groupe CN a montré une mortalité de 7,3% non significativement différente ( $P > 0,05$ ).

#### 2.2.2. La consistance fécale

La consistance fécale a été suivie selon un schéma de 1 (ferme et moulée) à 4 (liquide). Les scores fécaux des porcelets supplémentés avec AAP ou avec ZnO ont été significativement améliorés par rapport aux porcelets du groupe témoin (Figure 1). Dans 75,1% des cas, les observations des animaux témoins ont été classées dans le score 1. Ce nombre était

significativement plus élevé pour les porcelets supplémentés soit en AAP (80,7%) soit en ZnO (79,2%) ( $P < 0,05$ ). Pour les scores fécaux 2, 3 et 4, les animaux supplémentés en AAP et ZnO ont montré des incidences significativement plus faibles que les animaux témoins (score 2 : 14,9 vs 13,3 pour AAP et 14,1 ZnO ; score 3 : 5,6 vs 4,0 pour AAP et 4,6 ZnO ; score 4 : 4,5 vs 2,0 pour AAP et 2,1 pour ZnO). Ces résultats démontrent une consistance fécale améliorée en complétant les porcelets avec du AAP ou du ZnO après le sevrage. Les scores fécaux des groupes AAP et ZnO ne différaient pas les uns des autres ( $P > 0,05$ ).



**Figure 1** – Incidence de la diarrhée des porcelets ayant reçu un aliment témoin (NC) ou supplémenté d'un additif alimentaire phyto-génique (AAP) ou de ZnO

<sup>a-b</sup> Moyennes d'une même ligne présentant des différences significatives ( $P < 0,05$ )

## CONCLUSION

Les substances actives des plantes sont utilisées depuis des siècles pour leurs effets bénéfiques sur la santé. Plusieurs études ont prouvé leur capacité à augmenter la résilience intestinale et à améliorer les performances des porcelets en post-sevrage (Cho *et al.*, 2006 ; Reyes-Camacho *et al.*, 2021). Avec la réduction de l'utilisation d'antibiotiques et l'interdiction de ZnO en Europe, les stratégies d'alimentation alternatives se développent pour soutenir les porcelets pendant les périodes difficiles.

Les résultats de cette étude suggèrent que la supplémentation avec des AAP spécifiques des porcelets pendant la période post-sevrage pourrait améliorer la résilience contre la DPS. Par conséquent, il pourrait être considéré comme une potentielle alternative naturelle aux niveaux pharmacologiques de ZnO chez les porcelets en post-sevrage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cho J.H., Chen Y.J., Min B.J., Kim J.H., Kwon O.S., Shon K.S., Kim I.H., Kim S.J., Asamer A. 2006. Effects of essential oils supplementation on growth performance, IgG concentration and fecal noxious gas concentration of weaned pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sc.*, 19, 80-85.
- Reyes-Camacho D., Pérez, J.F., Vinyeta E., Aumiller T., Van der Klis J.D., Solà-Oriol D. 2021. Prenatal exposure to innately preferred D-limonene and trans-anethole does not overcome innate aversion to eucalyptol, affecting growth performance of weanling piglets. *Animals*, 11, 2062.

# Efficacité d'une zéaralénone hydrolase sur les performances de porcelets recevant un aliment contaminé par zéaralénone

Juan-Ignacio ARTAVIA (1), Paula KOVALSKY (1), Sabine MASCHING (1), Laure ROUXEL (2)

(1) DSM Austria, Erber Campus 1, 3131 Getzersdorf, Autriche

(2) DSM Nutritional Products France, 71 boulevard National, 92250 La Garenne-Colombes

laure.rouxel@dsm.com

## Efficacy of a zearalenone hydrolase on the performance of weaning piglets fed diets contaminated with zearalenone

Contamination of feed with zearalenone can negatively influence the health of farm animals and thus lead to a decrease in production efficiency. Due to its structural similarity to estrogens, zearalenone binds to estrogen receptors, thereby interfering with the reproductive system of swine. Swine naturally convert zearalenone mainly to  $\alpha$ -zearalenol, which can exhibit up to 60 times as much estrogenicity as the parental metabolite. Therefore, natural metabolization of zearalenone to  $\alpha$ -zearalenol cannot be considered as detoxification. A purified recombinant enzyme (zearalenone hydrolase, ENZ) was selected for its ability to degrade zearalenone, resulting in a non-toxic and non-estrogenic metabolite (hydrolyzed zearalenone), thus alleviating negative effects caused by this mycotoxin in the animal. In the present study, 36 post-weaning piglets were allocated to nine pens of four piglets each (two males and two females). For the 42-day duration of the trial, all animals had free access to feed and water. A level of dietary zearalenone contamination of 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$  was used in the positive control and in the trial groups. Efficacy of the enzyme was evaluated by monitoring zearalenone and hydrolysed zearalenone in feces of the piglets. Zearalenone hydrolase was shown to biotransform zearalenone (from 355 to 200  $\text{ng}/\text{g}$  feces) to hydrolysed zearalenone (from 0 to 137  $\text{ng}/\text{g}$  feces) in the gastrointestinal tract of the piglets.

## INTRODUCTION

De par sa similarité structurelle avec les œstrogènes, la zéaralénone (ZEN) peut se lier aux récepteurs d'œstrogènes et ainsi interférer avec le système reproducteur des truies et des porcs (Fink-Gremmels et Malekinejad, 2007). Certes, les animaux transforment naturellement la zéaralénone en  $\alpha$ -zéaralénol principalement, mais ce métabolite peut présenter une oestrogénicité jusqu'à 60 fois supérieure à celle du métabolite initial. Par conséquent, la métabolisation naturelle de la zéaralénone en  $\alpha$ -zéaralénol ne peut donc pas être considérée comme une détoxification.

Dans ce contexte, une enzyme recombinante purifiée (zéaralénone hydrolase, ENZ) a été sélectionnée pour sa capacité à dégrader la zéaralénone en un métabolite non toxique et non œstrogène (Zéaralénone hydrolysée) (Fruhauf *et al.*, 2019).

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Stratégie expérimentale

Un essai a été conduit afin d'évaluer l'efficacité de l'enzyme recombinante purifiée de type zéaralénone hydrolase (ENZ, ZENzyme®) sur la détoxification de la zéaralénone chez les porcelets sevrés nourris avec des aliments contaminés par la

zéaralénone. Les concentrations en cette mycotoxine et en son métabolite hydrolysé ont été mesurées dans les fèces des animaux à la fin de l'essai et ont servi de biomarqueurs pour évaluer la détoxification de la zéaralénone chez l'animal.

### 1.2. Dispositif expérimental

Dans le cadre de cet essai, 36 porcelets en post-sevrage (âge : 6 semaines - poids initial : 9,21 kg ( $\pm$  0,02 kg)) ont été répartis dans neuf cases de quatre porcelets chacun (deux mâles et deux femelles). Tous les animaux ont été identifiés et leur poids individuel enregistré, à la mise en place et à la fin du suivi. Pendant les 42 jours de l'essai, tous les animaux ont été nourris *ad libitum* et ont eu un accès libre à l'eau.

Les animaux des groupes Témoin positif et Essai ont reçu un aliment présentant un niveau de contamination alimentaire en zéaralénone de 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Seuil haut de risque en aliment Porcelet = 250  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pour la zéaralénone). La contamination a été effectuée par le biais de toxine issue de culture, afin d'assurer que le niveau de contamination est homogène dans tous les groupes et sur toute la période d'essai. Les aliments ont été analysés pour valider l'absence d'autres mycotoxines.

La zéaralénone hydrolase ENZ a été intégrée à l'aliment du groupe Essai à une concentration de 10 unités enzymatiques par kg d'aliment.

Le protocole expérimental est présenté dans le tableau 1.

**Tableau 1 – Protocole expérimental**

Traitement	Nombre d'animaux	Zéaralénone ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Zéaralénone hydrolase (U/kg d'aliment)
Témoin négatif	12	--	--
Témoin positif	12	200	--
Essai	12	200	10

### 1.3. Mesures

L'efficacité de l'enzyme recombinante purifiée a été évaluée en mesurant les concentrations en zéaralénone et en zéaralénone hydrolysée (ng/g) par HPLC-MS/MS dans les fèces des animaux au 42<sup>ème</sup> jour de l'essai.

Les paramètres zootechniques, poids vif (début et fin de suivi), gain de poids moyen quotidien, ingéré quotidien et indice de consommation, ont également été suivis.

### 1.4. Analyses des résultats

Les teneurs en zéaralénone et son métabolite ont été traitées par comparaison non paramétrique des moyennes puis test U de Mann-Whitney, avec pour unité expérimentale le porcelet.

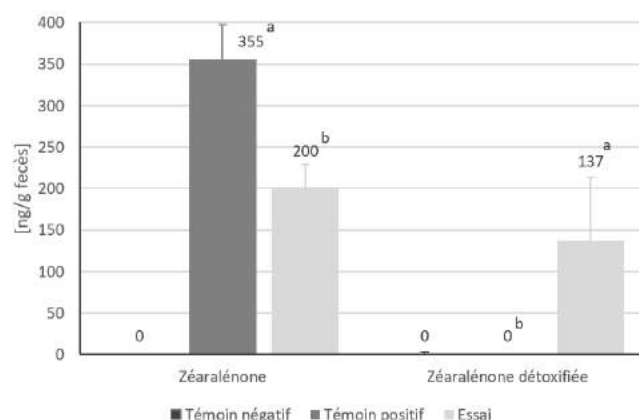
Les paramètres de performance ont été traités par test de Kruskal-Wallis, avec pour unité expérimentale la case.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 3.4.3.).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Au niveau des paramètres zootechniques (Tableau 2), aucune différence significative n'a été constatée entre les groupes Témoin négatif et Témoin positif : la présence de zéaralénone dans l'alimentation n'a pas eu d'effet sur les performances, ce qui était attendu. Les animaux du lot Essai présentent néanmoins une tendance à un meilleur indice de consommation, associée à une augmentation du poids vif final et du GMQ, à niveau d'ingéré équivalent. Une explication possible est que la zéaralénone étant effectivement détoxifiée par l'enzyme en métabolite non toxique/non œstrogénique, la voie de détoxification naturelle de l'animal n'est plus activée, la réponse inflammatoire en est affectée et les nutriments ainsi épargnés peuvent être utilisés pour la croissance.

Pour ce qui concerne l'efficacité de l'enzyme, les résultats ont mis en évidence que les porcelets du groupe Témoin positif présentent des taux élevés en zéaralénone dans les fèces à J42 (Figure 1). La concentration en zéaralénone dans les fèces du groupe Essai est significativement inférieure ( $p < 0,05$ ) à celle du Témoin positif, avec une augmentation parallèle de la concentration en zéaralénone hydrolysée détoxifiée.



**Figure 1 – Zéaralénone et sa forme détoxifiée dans les fèces à la fin de l'essai (J42)**

Les lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ).

## CONCLUSION

Cet essai montre que les paramètres de concentrations en zéaralénone et en son métabolite hydrolysé dans les fèces des animaux constituent des biomarqueurs pertinents pour le suivi de la détoxification de la zéaralénone.

L'utilisation de l'enzyme recombinante purifiée mise en oeuvre au cours de cet essai (zéaralénone hydrolase) a permis de valider l'efficacité de cet enzyme pour la détoxification de la zéaralénone en un métabolite non toxique.

**Tableau 2 – Résumé des mesures zootechniques**

	Témoin négatif	Ecart-type	Témoin positif	Ecart-type	Essai	Ecart-type	p-value
Poids vif initial (kg)	9,21	0,02	9,21	0,02	9,21	0,02	0,712
Poids vif final (kg)	34,85	1,05	34,95	1,05	35,60	1,33	0,670
GMQ (g/j)	611	25	613	25	628	32	0,670
Ingéré moyen (g/j)	1092	20	1099	10	1102	16	0,837
IC	1,79	0,04	1,79	0,06	1,76	0,06	0,587

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Fink-Gremmels J. and Malekinejad H., 2007. Clinical effects and biochemical mechanisms associated with exposure to the mycoestrogen zearalenone. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 137, 326-341.
- Fruhauf S. et al., 2019. Biotransformation of the mycotoxin zearalenone to its metabolites Hydrolyzed Zearalenone (HZEN) and Decarboxylated Hydrolyzed Zearalenone (DHZEN) diminishes its estrogenicity in vitro and in vivo. *Toxins*, 11 (8), 481.

# Comparaison des effets d'une supplémentation phytogénique et de l'oxyde de zinc sur les performances et la santé digestive des porcelets en post-sevrage

Anne-Cécile DELAHAYE (1), Gaëtan Vetea PLICHART (1), María RODRIGUEZ (2), Joaquín MORALES (2)

(1) BIODEVAS Laboratoires, 21 rue des Chardons, ZA de l'Epine, 72460 Savigné-l'Évêque, France

(2) PIGCHAMP PRO EUROPA, Calle Dámaso Alonso 14, 40006 Segovia, Espagne

acdelahaye@biodevas.fr

## Comparison of effects of a phytogenic supplementation and zinc oxide on performance and digestive health of weaned piglets

The purpose of this trial was to evaluate effects of dietary supplementation of plants extracts on the performance and digestive health of a group of piglets in post-weaning and compare them to those of zinc oxide supplementation and a control group. A total of 378 piglets, divided into three groups of nine pens of 14 piglets each, were monitored for 6 weeks from weaning, at 28 days of age (mean = 6.9 kg  $\pm$  0.25 kg). From 28-42 days of age, they were fed the same pre-starter feed, without any supplementation (group T), with 2 500 ppm of zinc oxide (group ZnO) or with 2 kg/t of phytogenic supplement (group E). Then, from 43-70 days of age, all groups were fed the same starter feed without any supplementation. During the 28-42 day period, piglets fed the phytogenic supplement had significantly better performances (e.g. BW, ADG, FCR, GFR) than those without any supplementation. Comparison to piglets in group ZnO, those in group E tended to perform better: +290 g of BW ( $P=0.085$ ), + 20.8 g/day of ADG ( $P=0.082$ ) and -0.15 point of FCR ( $P=0.064$ ). Over the entire post-weaning period, differences between the three groups, although still numerically better for groups ZnO and E, were no longer statistically significant. Regarding feces scoring, ZnO and E supplementation helped to reduce the occurrence ( $P=0.049$ ) and severity ( $P=0.041$ ) of diarrhea during the entire trial.

## INTRODUCTION

Le sevrage est une période particulièrement cruciale pour les porcelets qui doivent faire face à de nombreux changements : séparation de la mère, bâtiment, alimentation, congénères... particulièrement stressants pour les porcelets (Campbell et al., 2013).

Cette période, en plein milieu d'un « trou » immunitaire (Rooke et al., 2003), favorise la survenue de troubles digestifs et des baisses de performances (Gresse et al., 2017). Avec la réduction des antibiotiques et la suppression du recours à l'oxyde de zinc à dose pharmacologique, de nouvelles approches doivent être trouvées afin de répondre aux objectifs des plans Eco Antibio 2 et One Health tout en optimisant les performances et en maintenant un statut sanitaire sain. L'étude présentée vise donc à évaluer les effets d'une supplémentation phytogénique d'extraits de plantes sur les performances et la santé digestive de porcelets sevrés en comparaison avec l'oxyde de zinc.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

L'essai a été réalisé dans une ferme commerciale en Espagne sous la supervision de PigChamp Pro Europa. Trois cent soixante-dix-huit porcelets de génétique PIC sevrés à 28 jours et issus du même lot de sevrage, ont été répartis en trois groupes

expérimentaux de neuf répétitions de 14 animaux de façon homogène en termes de poids et de sexe (mâles entiers et femelles). Les trois modalités ont été réparties uniformément et aléatoirement dans les trois salles de post-sevrage identiques. L'essai est mené pendant six semaines. Chaque case, d'une surface de 4,44m<sup>2</sup> en caillebotis complet plastique, contient un abreuvoir et un nourrisseur. L'abreuvement et l'alimentation sont distribués *ad libitum* et l'ambiance est gérée en ventilation globale mono-climat (consigne de 28°C au début avec un diminution de 1°C/semaine jusqu'à 24°C). Les deux premières semaines, les porcelets reçoivent un aliment 1<sup>er</sup> âge présenté sous forme de vermicelle, puis un aliment 2<sup>ème</sup> âge granulé jusqu'à la fin de l'essai. Les deux aliments couvrent ou excèdent les besoins nutritionnels des recommandations FEDNA (2013). Les principales caractéristiques nutritionnelles des aliments sont reprises dans le tableau 1.

**Tableau 1** – Composition analytique (g/kg) des aliments 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge utilisés dans l'expérience

Aliment	1 <sup>er</sup> âge	2 <sup>ème</sup> âge
Matière sèche, %	90,0	87,7
Protéine brute, %	18,8%	18,1%
Lysine digestible, %	1,45	1,30
Énergie nette (kcal/kg)	2 500	2 450

Les trois modalités ont reçu le même aliment 1<sup>er</sup> âge, sans supplémentation pour le lot témoin négatif (T), supplémenté



avec 3 kg/T d'oxyde de zinc (soit 2 500ppm de Zn) pour le témoin positif (ZnO), le dernier lot (E) étant supplémenté à 2 kg/T de SINEA (Biodevas Laboratoires, Savigné-l'Évêque, France) constitué d'extraits de plantes biologiques (dont *Origanum*, *Eugenia*...) visant à préserver l'intégrité intestinale des porcelets et à stimuler la croissance.

## 1.2. Mesures et analyses statistiques

Les porcelets ont été pesés individuellement le jour du sevrage, à la transition alimentaire 1<sup>er</sup> / 2<sup>ème</sup> âge (42 jours d'âge) et à la fin de l'essai à 70 jours d'âge (JA). Les consommations d'aliment par case ont été relevées lors de ces pesées. Quotidiennement, la consistance des déjections observées dans les cases était classifiée comme déjections moulées, déjections molles ou déjections liquides. En parallèle, les mortalités et le recours à des traitements vétérinaires ont été enregistrés.

Les statistiques ont été réalisées avec le logiciel SAS (Version 9.0 ; SAS Inst. Inc., Cary, NC). Les tests réalisés pour les données quantitatives sont une ANOVA suivi d'un test de Tukey si elles suivent une loi Normale sinon, le test de Kruskal-Wallis est appliqué. Pour la mortalité et les notations de déjections, un test de Chi<sup>2</sup> est effectué. Les différences sont considérées significatives au seuil de 5% et tendancielle au seuil de 10%.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Performances zootechniques

**Tableau 2 – Performances zootechniques**

	T	ZnO	E	T*ZnO*E <sup>1</sup>	ZnO*E <sup>1</sup>
1 <sup>er</sup> âge					
Poids à 28 JA, kg	6,92	6,89	6,87	NS	NS
Poids à 42 JA, kg	8,70 <sup>b</sup>	9,51 <sup>a</sup>	9,80 <sup>a</sup>	<0,0001	0,0854
GMQ <sup>2</sup> ,g/j	127,4 <sup>b</sup>	187,1 <sup>a</sup>	207,9 <sup>a</sup>	<0,0001	0,0826
IC <sup>3</sup> , kg/kg	1,76 <sup>b</sup>	1,37 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>	0,0004 <sup>4</sup>	0,0638
EA <sup>5</sup> ,kg/kg	0,555 <sup>c</sup>	0,740 <sup>b</sup>	0,825 <sup>a</sup>	<0,0001	0,0266
CMJ <sup>6</sup> , g/j	230,0	253,1	252,5	0,0882	NS
Total post-sevrage					
Poids à 70 JA, kg	19,32	20,07	20,06	NS	NS
IC, kg/kg	1,48	1,44	1,43	NS	NS

Des lettres différentes indiquent une différence significative au seuil de 5%.

<sup>1</sup>P-value test de Tuckey après une ANOVA. <sup>2</sup>Gain Moyen Quotidien. <sup>3</sup>Indice de consommation. <sup>4</sup>Test de Kruskal-Wallis. <sup>5</sup>Efficacité alimentaire.

<sup>6</sup>Consommation Moyenne Journalière.

Le tableau 2 présente les performances obtenues lors de l'essai. Les porcelets des lots ZnO et E présentent des performances significativement supérieures au témoin négatif sur la phase de 1<sup>er</sup> âge en termes de poids à 42 jours d'âge, de gain moyen quotidien (GMQ), d'indice de consommation (IC) et d'efficacité de conversion alimentaire. La consommation moyenne par jour tend également à être supérieure ( $P=0,08$ ). Le lot E tend à avoir des performances supérieures au lot ZnO pour l'EA et le GMQ.

A 70 jours d'âge, les différences entre le lot T et les lots E et ZnO ne sont pas significatives.

### 2.2. Santé digestive

La proportion d'animaux présentant des déjections liquides est significativement différente entre les 3 lots ( $P=0,04$ ) avec 44% pour le lot T, 11% pour le lot ZnO et 0% pour le lot E sur l'ensemble de la période de post-sevrage.

Seuls deux porcelets sont morts lors de l'essai (lot T), ne permettant aucune conclusion sur ce paramètre.

Concernant le recours aux traitements vétérinaires (Tableau 3), les lots ZnO et E sont significativement moins médicamentés que le lot témoin, quelle qu'en soit la raison, sur la phase 28-42 jours d'âge. Sur l'ensemble de la période de post-sevrage, la proportion d'animaux recevant un traitement individuel est significativement différente selon le lot, ceux du groupe ZnO sont moins traités que ceux du lot témoin, ceux du lot E étant intermédiaires.

**Tableau 3 – % de porcelets recevant un traitement vétérinaire**

		Motif digestif	Tous motifs
1 <sup>er</sup> âge 28-42 jours d'âge	Lot T	7,14% <sup>a</sup>	7,94% <sup>a</sup>
	Lot ZnO	0,00% <sup>b</sup>	0,79% <sup>b</sup>
	Lot E	1,59% <sup>b</sup>	1,59% <sup>b</sup>
	P-value	0,0019	0,0007
Total post-sevrage 28-70 jours d'âge	Lot T	8,73% <sup>a</sup>	11,9% <sup>a</sup>
	Lot ZnO	0,79% <sup>b</sup>	0,79% <sup>c</sup>
	Lot E	2,38% <sup>ab</sup>	3,17% <sup>b</sup>
	P-value	0,0029	0,0002

Des lettres différentes indiquent une différence significative au seuil de 5%.

## CONCLUSION

Ces résultats indiquent comparativement au lot témoin un effet favorable du mélange d'extraits naturels phyto-géniques testé sur les performances de croissance et d'efficacité alimentaire des porcelets sevrés en période de premier âge. Cela a été permis par l'absence de troubles digestifs majeurs et la réduction du recours aux traitements vétérinaires, indicateurs d'une meilleure santé digestive. Comparé à l'oxyde de zinc, l'extrait phyto-génique fait aussi bien voire tend même à améliorer certains critères de performances zootechniques, faisant de lui une alternative intéressante sans risque sur l'environnement, les hommes ou les animaux.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Campbell, J.M., Crenshaw, J.D., Polo J., 2013. The biological stress of early weaned piglets. J. Anim. Sci. Biotechnol., 4, 2–5.
- Gresse, R., Chaucheyras-Durand F., Fleury, M.A., Van de Wiele, T., Forano, E., Blanquet-Diot S., 2017. Gut Microbiota Dysbiosis in Postweaning Piglets: Understanding the Keys to Health. Trends Microbiol., 25, 851–873.
- Rooke J.A., Carranca C., Bland I.M., Sinclair A.G., Ewen M., Bland V.C., Edwards S.A., 2003. Relationships between passive absorption of immunoglobulin G by the piglet and plasma concentrations of immunoglobulin G at weaning. Livest. Prod. Sci., 81, 223-234.

# Des apports contrastés en calcium sont associés à un métabolome plasmatique distinct chez les porcelets

Angel René ALFONSO-AVILA (1,2), Benedict YANIBADA (2), Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (2)

(1) Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD), 120-A chemin du Roy, Deschambault, GOA 1S0, Canada

(2) Université Laval, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Département des Sciences Animales 2425 rue de l'Agriculture, Québec, G1V 0A6, Canada

angel-rene.alfonso-avila@crsad.qc.ca

## Contrasting calcium intakes are associated with distinct plasma metabolome in piglets

Reviewed calcium (Ca) recommendations suggest that Ca excess impair performance and bone mineral content (BMC) in piglets. This experiment was conducted to evaluate impacts of Ca reduction (Low Ca) after weaning compared to NRC (2012) recommendations and a reduced phosphorus (P) strategy (Low P). The results presented consist of the second feeding phase (8 to 12 days after weaning) of the experiment. The treatments were 1) Low Ca (Phase 2, 0.51% Ca and 0.47% ileal standardised digestible P (STTD P), 2) NRC (Phase 2, 0.85% Ca and 0.42% STTD P) and 3) Low P (Phase 2, 0.65% Ca and 0.38% STTD P). Piglets (n = 953) were distributed into pens (by sex and initial body weight;  $6.0 \pm 0.028$  kg). At the end of phase 2, blood was collected, and dual X-ray bone densitometry was performed using 8 piglets per treatment. Untargeted LC-MS metabolomic analysis was performed on plasma of the piglets (n = 8 per treatment). Data were analysed using the SAS MIXED procedure. At day 12 after weaning, BW was similar, whereas magnesium (Mg), globulin and BMC were increased ( $P \leq 0.01$ ) with the Low Ca diet. Ratios of Ca:P and Ca:VitaminD<sub>3</sub> were decreased ( $P = 0.01$ ) by Low Ca. Metabolome analysis showed that Low Ca dietary conditions induce immune and metabolic stress (increased plasma globulin, vitamin D<sub>3</sub>, Mg, tyrosine, dopamine, and p-cresol), but also enhance metabolite concentrations (organic osmolytes) that allow to cope challenged conditions.

## INTRODUCTION

Une alimentation précise en phosphore (P) des porcs est un des piliers du développement durable dans les régions à forte densité d'élevage. Ceci exige l'estimation précise des teneurs de P des aliments, la prise en compte des facteurs de modulation dont l'apport de calcium (Ca) et une détermination précise des besoins. Les travaux récents pour préciser les apports de calcium indiquent qu'un excès de Ca est préjudiciable aux performances de croissance et à la minéralisation osseuse (Lagos *et al.*, 2019). En parallèle, l'effet tampon élevé du carbonate de Ca amène certains à suggérer que le niveau de Ca des régimes de démarrage devrait être limité pendant une courte période (Huting *et al.*, 2021). L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact de différents apports de Ca et P sur les performances, la minéralisation osseuse et différents paramètres sanguins du métabolisme général et phosphocalcique chez le porcelet en post-sevrage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Expérimentation animale

Neuf-cent-cinquante-trois porcelets (276/275 Génétique Fast x PIC 800) sevrés à 21 jours avec un poids moyen de  $6,0 \pm 0,028$  kg et distribués en 13 blocs ont reçu un des trois traitements

alimentaires en quatre phases d'alimentation. La durée totale de l'expérience fut de 41 jours, et les données présentées concernant la phase 2 (8 à 12 jours après le sevrage). Les teneurs spécifiques en Ca et P digestible (Pdig) des phases 1 et 2, respectivement, pour le lot Bas Ca (Ca : 0,51, 0,60 % ; Pdig : 0,5, 0,45 %), pour le traitement NRC (NRC 2012) (Ca : 0,85, 0,80 % ; Pdig : 0,45, 0,41 %) et le lot Bas P (Ca : 0,65, 0,65 % ; Pdig : 0,38, 0,39 %), ce dernier ressemblant davantage aux stratégies européennes. Tous les traitements ont reçu 2000 FTU de phytase pendant les deux premières phases d'alimentation. Des échantillons de sang ont été prélevés au jour 12 et des radiographies par ostéodensitométries à double rayons X (DXA, Hologic Discovery W) ont été réalisées sur les mêmes porcelets. Les données ont été analysées par la procédure MIXED de SAS avec le test de Tukey pour comparer les traitements (l'animal est l'unité expérimental).

### 1.2. Plasma

Les concentrations plasmatiques en Ca, P, Mg, et globuline ont été déterminés par un analyseur chimique portable (VetScan VS2, Abaxis). Les concentrations en vitamine D<sub>3</sub> ont été mesurées à l'aide d'un kit ELISA spécifique.

### 1.3. Métabolome

Une analyse métabolomique par approche ouverte a été

réalisée par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS) sur les échantillons de plasma de 8 porcelets sur des groupes contrastés en apport en Ca (Bas Ca vs. NRC) au jour 12 après le sevrage. Les échantillons ont été préparés suivant la méthode décrite par Yanibada *et al.* (2020) et les données du métabolome ont été analysées sous Galaxy W4M. Des analyses statistiques multivariées OPLS-DA ont été réalisées. La détermination des variables discriminant les groupes est fondée sur le score des variables importantes pour la prédiction (VIP ; seuil : VIP > 1).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les performances de croissance n'ont pas été modifiées par les

**Tableau 1** – Effet des traitements alimentaires sur les concentrations plasmatiques de calcium (Ca), phosphore (P), magnésium (Mg), vitamine D<sub>3</sub>, globuline, performances et sur la minéralisation osseuse (CMO) 12 jours après sevrage

	Bas Ca	NRC	Bas P	e.t.m. <sup>1</sup>	P-value
Ca, mmol/L	1,35	1,39	1,34	0,028	0,49
P, mmol/L	3,18	2,92	2,96	0,179	0,54
Mg, mmol/L	0,94 <sup>a</sup>	0,85 <sup>ab</sup>	0,76 <sup>b</sup>	0,030	0,003
Vitamine D <sub>3</sub> , ng/mL	6,87	4,05	6,33	1,3	0,29
Ca : P	0,830 <sup>b</sup>	0,985 <sup>a</sup>	0,955 <sup>ab</sup>	0,148	0,02
Ca : Vitamine D <sub>3</sub>	0,150 <sup>b</sup>	0,218 <sup>a</sup>	0,199 <sup>a</sup>	0,037	0,02
Globuline, g/L	16,8 <sup>a</sup>	10,6 <sup>b</sup>	10,1 <sup>b</sup>	0,575	0,01
Poids corporel, kg	8,21	8,35	8,03	1,178	0,83
CMO, g/g de poids vif	0,020 <sup>a</sup>	0,019 <sup>a</sup>	0,018 <sup>b</sup>	0,0002	0,001

<sup>1</sup> e.t.m. erreur type de la moyenne ; lettres différentes par ligne indiquent P < 0,05. Comparaison de moyenne par test de Tukey.

**Tableau 2** – Métabolites plasmatiques discriminant les deux groupes expérimentaux

Nom	VIP <sup>1</sup>	Facteur de changement (NRC/Bas Ca)	Variation
Choline	1,8	1,29	↗
Acide citrique	2,2	0,74	↘
P-crésol	1,4	1,25	↗
Dopamine	1,3	1,01	↗
Homostachydrine	1,5	1,34	↗
L-Carnitine	1,5	1,35	↗
Pipericine	1,9	2,06	↗
Tyrosine	1,6	1,07	↗
Uridine	2,3	0,92	↘
Valine bêtaïne	1,4	1,27	↗

<sup>1</sup>VIP : Variable importante en prédiction. <sup>2</sup>P-value variables discriminantes.

La ration Bas Ca a réduit la teneur plasmatique en citrate et en uridine (Tableau 2). Le citrate régulerait la distribution du flux de carbone dans la biosynthèse de l'uridine, ce qui affecte le métabolisme énergétique (Chen *et al.*, 2010). La tyrosine, la

traitements alimentaires tout comme les teneurs plasmatiques en Ca et P (Tableau 1). Une augmentation du Mg plasmatique a été observée avec le traitement Bas Ca (P = 0,003). Comme dans le cas d'un hyperparathyroïdie secondaire causée par une hypocalcémie (Fang *et al.* 2016), il est probable que le Mg soit libéré par la résorption osseuse ostéoclastique. Les ratios Ca :P et Ca :Vit D<sub>3</sub> étaient plus faibles chez les porcs du lot Bas Ca (P = 0,02) indiquant des régulations (e.g. de type intestinale, rénale et/ou osseuse) de maintien de la calcémie. Le contenu minéral osseux était plus faible chez les Bas P que chez le Bas Ca et le NRC (P = 0,001) suggérant qu'il manquait possiblement de P. L'aliment Bas Ca a augmenté la teneur en globuline du plasma, une réponse liée à l'activité antigénique accrue et à un stress métabolique plus important.

dopamine et le p-crésol ont été augmentés chez les Bas Ca, présentant une relation entre les voies métaboliques identifiées et associées au stress. L'augmentation du p-crésol suggère une modulation bactérienne, ce qui résulte en une exposition génotoxique majeure (Al Hinai *et al.*, 2019). La ration Bas Ca a induit une réponse de compensation par l'augmentation de la choline, la L-carnitine, l'homostachydrine et la valine bêtaïne. Ces solutés sont des osmolytes organiques qui servent de cryoprotecteurs compatibles, métaboliques et antagonistes en cas stress (Yancey, 2005). La pipericine, une amine avec des potentiels rôles fonctionnels antioxydants est augmentée dans les conditions Bas Ca (Meghwal *et al.*, 2021).

## CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont montré que les apports en Ca n'ont pas affecté les performances des porcelets. La caractérisation des métabolites comme approche alternative d'évaluation lors de l'optimisation des apports en Ca a permis d'identifier des biomarqueurs potentiels impliquant l'immunité et le stress métabolique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al Hinai E.A., Kullamethee P., Rowland I.R., Swann J., Walton G.E., Commane D.M., 2019. Modelling the role of microbial p-cresol in colorectal genotoxicity. *Gut Microbes*, 10, 398-411.
- Chen Y., Li S., Xiong J., Li Z., Bai J., Zhang L., Ye Q., Ouyang P., Ying H., 2010. The mechanisms of citrate on regulating the distribution of carbon flux in the biosynthesis of uridine 5'-monophosphate by *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 86(1), 75-81.
- Fang L., Tang B., Hou D., Meng M., Xiong M., Yang J., 2016. Effect of parathyroid hormone on serum magnesium levels: the neglected relationship in hemodialysis patients with secondary hyperparathyroidism. *Ren. Fail.* 38(1), 50-56.
- Huting A., Middelkoop A., Guan X., Molist F., 2021. Using nutritional strategies to shape the gastro-intestinal tracts of suckling and weaned piglets. *Animals*, 11(2), 402.
- Lagos L.V., Walk C.L., Murphy, M.R., Stein H.H., 2019. Effects of dietary digestible calcium on growth performance and bone ash concentration in 50-to 85-kg growing pigs fed diets with different concentrations of digestible phosphorus. *Anim. Feed Sci. Technol.* 247, 262-272.
- Meghwal M., Devu S., Singh H., Goswami T.K., 2021. Piperine and curcumin. In : *A Centum of Valuable Plant Bioactives* (pp. 589-612). Academic Press, London, United Kingdom.
- Yancey P.H., 2005. Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. *J. Exp. Biol.* 208(15), 2819-2830.
- Yanibada B., Hohenester U., Pétéra M., Canlet C., Durand S., Jourdan F., Boudra H., 2020. Inhibition of enteric methanogenesis in dairy cows induces changes in plasma metabolome highlighting metabolic shifts and potential markers of emission. *Sci. Rep.*, 10(1), 1-14.

# Evaluation de deux stratégies nutritionnelles en porcelet de 8 à 25kg : baisse de protéines et augmentation de la lysine digestible et ses effets sur les performances techniques, le score fécal et les nécroses des oreilles

Peter SCHERES (1), Luc LEVROUW (2), Annelies OOMS (2), Vincent COUTURE (3), William LAMBERT (3), Nicolaas VERHOEK (4), Gerard RAEDTS (1)

(1) VITELIA VOEDERS B.V., 27 Petersstraat 27, Oirlo, Pays-Bas

(2) DSM NUTRITIONAL PRODUCTS, 4 Dorpsstraat 4, Deinze, Belgique

(3) METEX NØØVISTAGO, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

(4) ORFFA Additives B.V., 7032 Minervum, Breda, Pays-Bas

[William.lambert@metex-noovistago.com](mailto:William.lambert@metex-noovistago.com)

## Evaluation of two nutritional strategies for piglets weighing 8-25 kg: decrease in dietary crude protein and increase in standardized ileal digestible lysine and its effects on performance, faecal score and ear necrosis

The objective was to test impacts of a reduction in dietary crude protein (CP) or an increase in the level of standardized ileal digestible lysine (SID Lys) on performance, faecal score and ear necrosis in piglets weighing 8-25 kg. Three hundred and ninety-six TN x Tempo piglets were divided into three treatments (3 x 12 pens of 11 piglets each): the control (in prestarter [0-7 days post-weaning]: CP = 15.6%, SID Lys = 0.98%; in starter [7-42 days post-weaning]: CP = 17.3%, SID Lys = 1.07%), a treatment with reduced CP (CP = 14.6% and 16.3% in prestarter and starter, respectively) and a treatment with increased SID Lys (CP = 16.6%, SID Lys = 1.12% and CP = 17.3%, SID Lys = 1.14% in prestarter and starter, respectively). Body weight and feed intake were measured per pen at d0, d7 and d42. At the end of the prestarter phase, all treatments had similar performance. At the end of the trial, the reduction in dietary CP had no significant effect on performance or ear necrosis. In contrast, increasing the level of SID Lys significantly improved body weight (+ 1.8 kg, from 24.7 to 26.5kg), the feed conversion rate (-0.11 pts, from 1.63 to 1.52) and reduced ear necrosis (from 1.30 to 0.56 pts). These results demonstrate that reducing CP with a controlled amino acid profile maintains performance and that increasing SID Lys improves performance and reduces ear necrosis.

## INTRODUCTION

De nombreux essais zootechniques ont auparavant démontré l'intérêt de la baisse du taux protéique de l'aliment sur la santé digestive du porcelet et une méta-analyse a été réalisée afin de quantifier l'impact de cette stratégie sur les indicateurs de santé (Luise *et al.*, 2021). Dans un contexte de réduction de l'utilisation d'antibiotiques et d'oxyde de zinc, la baisse de protéines est utilisée comme un outil de pilotage de la santé intestinale mais cela ne doit pas se faire aux dépens des performances de croissance. L'utilisation de combinaisons d'acides aminés (AA) libres permet d'éviter les carences et les déséquilibres entre AA et de maintenir les performances de croissance des porcelets. Cependant, peu d'essais ont testé la baisse du taux protéique jusqu'à des niveaux très bas, requérant l'utilisation de nouveaux AA récemment disponibles comme l'isoleucine (Ile) et la leucine (Leu ; Gloaguen *et al.*, 2014 ; Jansman *et al.*, 2022). Encore moins d'essais ont testé cette stratégie dans des conditions pratiques en mesurant à la fois les performances techniques, le score fécal et les nécroses des oreilles. Enfin, dans un contexte de très bas taux protéique à bas niveau de Lysine (Lys) digestible iléale standardisée (DIS) et également en lien avec le progrès génétique, il est intéressant de ré-étudier l'impact d'une augmentation de Lys DIS sur ces mêmes critères.

Cet essai visait à étudier l'impact d'une stratégie nutritionnelle BP (Bas Protéine, réduction du taux protéique) et HL (Haut Lysine, augmentation de la Lys DIS) sur la performance, le score fécal et les nécroses des oreilles du porcelet.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

L'essai a été conduit en deux phases post-sevrage (PS) : une phase de 1<sup>er</sup> âge de 7 jours (J0 à J7 PS) et une phase de 2<sup>ème</sup> âge de 35 jours (J7 à J42 PS). Trois cent quatre-vingt-seize porcelets de génétique TN x Tempo ont été suivis au cours de cet essai. A J0, le poids moyen des porcelets était d'environ 8 kg. Ils ont été vaccinés vis-à-vis de *Streptococcus suis*, du circovirus et du virus du Syndrome Dysgénique Respiratoire Porcin (SDRP). La surface par animale était de 0,40m<sup>2</sup> par porcelet et les porcelets étaient élevés sur caillebotis. Ils étaient nourris et abreuvés *ad libitum*. Les porcelets ont été répartis selon trois traitements avec 12 cases de 11 porcelets par traitement. Le poids des porcs et l'ingéré alimentaire ont été mesurés par case à J0, J7 et J42 PS. Le score fécal a été évalué de 1 (fèces normales) à 3 (fèces très liquides) et le score de nécroses des oreilles de 0 (pas de nécrose) à 3 (au moins trois porcelets présentant des nécroses par case).

## 1.2. Composition des aliments

Les trois stratégies nutritionnelles étaient composées d'un témoin, d'une stratégie de réduction de protéine (BP) et d'une stratégie d'augmentation de la Lys DIS (HL, Tableau 1). Dans la stratégie BP, le soja a été remplacé par des céréales et des AA. Dans la stratégie HL, la Lys DIS a été augmentée en formulant pour ne pas augmenter les niveaux de Matières Azotées Totales (MAT) de plus d'un point de pourcentage. Dans les deux stratégies, les niveaux d'AA en ratio de la Lys DIS ont été maintenus au besoin par l'utilisation d'AA de synthèse.

**Tableau 1** – Composition en ingrédients et en nutriments formulés des aliments 1<sup>er</sup> âge et 2<sup>ème</sup> âge.

Traitements <sup>1</sup>	Aliments 1er âge			Aliments 2ème âge		
	Ctrl	BP	HL	Ctrl	BP	HL
<b>Ingrédients, %</b>						
Blé	19,5	15,5	18,7	29,7	27,7	29,7
Orge	50	55	50	35	35	35
Mais	0	0	0	2,6	7,0	7,0
Avoine	3,0	4,0	3,0	0	0	0
Tourteau de soja	9,5	7,3	9,6	13,6	11	13,3
L-AA usuels <sup>2</sup>	0,85	1,14	1,24	1,31	1,59	1,70
L-Ile		0,10	0,09		0,05	0,06
L-Leu		0,18	0,08		0,10	0,10
L-His HCl		0,07	0,08		0,05	0,05
<b>Nutriments formulés</b>						
MAT <sup>3</sup> , %	15,6	14,6	16,6	17,3	16,3	17,3
EN <sup>4</sup> , MJ/kg	10	10	10	9,9	9,9	9,9
Lys DIS <sup>5</sup> , %	0,98	0,98	1,12	1,07	1,07	1,14
<b>Ratios à la Lys, %</b>						
Met.+Cyst.	59	59	59	59	59	59
Thréonine	67	67	67	65	65	65
Tryptophane	22	21	21	23	21	21
Valine	67	66	66	66	68	66
Isoleucine	52	55	54	54	54	54
Leucine	97	101	101	98	101	101
Histidine	33	34	35	35	36	35

<sup>1</sup>Ctrl = Contrôle Positif ; BP = Bas taux protéique ; HL = Haut niveau de Lys DIS. <sup>2</sup>DL-Met, L-Lys, L-Thr, L-Trp, L-Val. <sup>3</sup>MAT = Matières Azotées Totales. <sup>4</sup>EN = Energie Nette. <sup>5</sup>Lys DIS = Lysine Digestible Illéale Standardisée.

## 1.3. Analyse statistique

L'unité expérimentale est la case de 11 porcelets. Les données de performances ont été analysées avec un modèle linéaire général (traitement en effet fixe et poids à J0 en co-variable) et les scores fécaux et de nécroses des oreilles avec un test de Kruskal-Wallis. Le logiciel Minitab v20 a été utilisé. Les différences statistiques sont significatives à  $P < 0,05$ .

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

A la fin du 1er âge, les stratégies n'ont montré aucun effet significatif sur les performances ni sur les scores fécaux (données non présentées). A la fin de l'essai, la stratégie BP n'a pas affecté significativement les performances (Tableau 2). Ces résultats confirment les essais de Gloaguen *et al.* (2014) et de Jansman *et al.* (2022). De même, la baisse de MAT n'a pas eu d'impact significatif sur le score de nécrose des oreilles, contrairement aux précédents travaux de van der Meer *et al.* (2017). A la différence du présent essai, van der Meer *et al.* (2017) avaient choisi de réduire les niveaux de Lys DIS à des niveaux sous-limitants, pour accompagner la réduction des niveaux de MAT. Ceci peut au moins partiellement expliquer l'augmentation de comportements agressifs, un mécanisme parmi d'autres (virus, bactéries, déséquilibre immunitaire...) à l'origine des nécroses.

A l'inverse, l'augmentation du niveau de Lys DIS (stratégie HL), plus proche du besoin des animaux, a eu tendance à réduire le score de nécrose des oreilles de 57% ( $P = 0.061$ ) et a amélioré significativement le poids à J42 (+1,8 kg ; de 24,7 à 26,5 kg) et l'indice (-0,11 pts ; de 1,63 à 1,52) et ce, sans augmenter significativement le score fécal (Tableau 2).

**Tableau 2** – Performances et scores fécaux et de nécrose des oreilles sur l'ensemble de la période d'essai.

Critère	Traitements <sup>1</sup>			Statistiques	
	Ctrl	BP	HL	ETM <sup>5</sup>	P <sup>6</sup>
Poids J0, kg	8,0	7,9	8,0	0,62	0,87
Poids J42, kg	24,7 <sup>a</sup>	24,8 <sup>ab</sup>	26,5 <sup>b</sup>	2,12	0,013
GMQ <sup>2</sup> , g/j	392 <sup>a</sup>	403 <sup>ab</sup>	435 <sup>b</sup>	44,1	0,03
CMJ <sup>3</sup> , g/j	636	629	643	43,2	0,794
IC <sup>4</sup>	1,63 <sup>a</sup>	1,57 <sup>ab</sup>	1,52 <sup>b</sup>	0,11	0,001
Score fécal	1,30	1,30	1,38	0,63	0,337
Score de nécrose des oreilles	1,30 <sup>x</sup>	1,15 <sup>x</sup>	0,56 <sup>y</sup>	1,63	0,061

<sup>1</sup>Ctrl = Contrôle Positif ; BP = Bas taux protéique ; HL = Haut niveau de Lys DIS. <sup>2</sup>GMQ = Gain Moyen Quotidien. <sup>3</sup>CMJ = Consommation Moyenne Journalière. <sup>4</sup>IC = Indice de Consommation. <sup>5</sup>Ecart-type à la moyenne. <sup>6</sup>P-value de l'analyse de variance ; un test de Tukey permet d'identifier les traitements différents. Les valeurs non indexées de la même lettre différent ( $P < 0,05$  pour a, b ;  $P < 0,10$  pour x, y).

## CONCLUSION

Ces résultats démontrent que réduire la MAT n'affecte pas les performances des porcelets si les AA limitants (Leu, Ile, His) sont contrôlés. En revanche, l'augmentation de la Lys DIS améliore les performances (GMQ et IC), réduit la fréquence des nécroses d'oreilles sans augmenter les diarrhées. Ces premiers résultats sur l'influence des niveaux alimentaires de protéines et d'AA sur les nécroses des oreilles des porcelets sont à étoffer, notamment par la combinaison des deux stratégies.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gloaguen M., Le Floc'h N., Corrent E., Primot Y., Van Milgen J., 2014. The use of free amino acids allows formulating very low crude protein diets for piglets. *J. Anim. Sci.*, 92, 637-644.
- Jansman A., Lambert W., Simongiovanni A., Chalvon-Demersay T., van Diepen H., 2022. Maintenir les performances des porcelets avec des aliments à bas taux protéiques en période post-sevrage. *Journées Rech. Porcine*, 54, 189-190.
- Luise D., Bosi P., Corrent E., Simongiovanni A., Lambert W., Trevisi P., Chalvon-Demersay T., 2021. Effets de la baisse de protéine sur la santé intestinale du porcelet : une méta-analyse. *Journées Rech. Porcine*, 53, 393-398.
- Van Der Meer Y., Gerrits W. J. J., Jansman A. J. M., Kemp B., Bolhuis L., 2017. A link between damaging behaviour in pigs, sanitary conditions, and dietary protein and amino acid supply. *PLoS ONE*, 12(5), [e0174688]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174688>.

# Baisse de la protéine à deux niveaux de lysine : effet sur les performances zootechniques et sanitaires de porcelets post-sevrage

Tristan BREHELIN (1), Cécile ROUGIER (1), Stéphanie LECUELLE (2), Aude SIMONGIOVANNI (2)

(1) TECHNNA FRANCE NUTRITION, 41 route de St-Etienne-de-Montluc - BP 10 - 44220 Couëron, France

(2) METEX NØØVISTAGO, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

[tristan\\_brehelin@technna.fr](mailto:tristan_brehelin@technna.fr)

## Reducing the dietary protein level at two levels of lysine: effect on the performance and fecal score of post-weaning piglets

The objective of the trial was to evaluate effects of a reduction in dietary crude protein (CP) in two contexts of digestible lysine levels (SIDLys) on the growth performance and fecal score of post-weaning (PW) piglets. At weaning, 180 piglets were allocated to six dietary treatments (six pens of five piglets per treatment). A factorial design aimed at testing three levels of CP with two levels of SIDLys: "LowLys" (1.23% SIDLys in prestarter, 1.05% SIDLys in starter) vs "HighLys" (1.33% SIDLys in prestarter, 1.15% SIDLys in starter). The CP levels were determined to keep the SIDLys:CP ratio stable for the two Lys levels: 6.5%, 6.9% and 7.3% SIDLys:CP in prestarter, and 6.3%, 6.6% and 7.1% SIDLys:CP in starter. Piglets were weighed individually at the start, at feed change, and at the end. The average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and feed conversion ratio (FCR) were calculated per pen for the prestarter, starter and complete periods. The SIDLys×CP interaction was not significant for any parameter. The decrease in dietary CP reduced the fecal score from 5.2 to 3.8 ( $P > 0.05$ ). For the complete PW phase, increasing SIDLys yielded a significant gain of 37 g/d in ADG ( $P = 0.001$ ) and -0.07 in FCR ( $P < 0.001$ ), resulting in +1.7 kg live weight at 48 d PW ( $P = 0.001$ ). Dietary CP reduction had no effect on ADG, ADFI or final weight. Concerning FCR, the first 1-point reduction in CP showed no effect, while the second 1-point reduction in CP worsened FCR (+0.07;  $P = 0.008$ ). These results highlight that reducing dietary CP effectively reduces post-weaning diarrhea while maintaining piglet performance until a level close to 7% SIDLys:CP, regardless of the SIDLys level chosen.

## INTRODUCTION

Le contexte européen actuel de réduction de l'utilisation des antibiotiques et de l'oxyde de zinc pousse les acteurs de la filière à trouver des solutions alternatives afin d'assurer une bonne santé digestive des porcelets après le sevrage. La réduction de la teneur en protéines brutes (PB) de l'aliment est reconnue comme une solution efficace pour améliorer la santé digestive et réduire les diarrhées post-sevrage (Luise *et al.*, 2021). L'objectif de l'essai est de tester l'impact d'une baisse de PB dans deux contextes de niveaux de lysine digestible iléale standardisée (LysDIS) sur les performances zootechniques et sanitaires de porcelets en post-sevrage (PS).

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et aliments

Le jour du sevrage (21j d'âge), 180 porcelets Piétrain × (Large White × Landrace) sont répartis entre six traitements alimentaires (six cases de cinq porcelets par traitement). La mise en lot se fait en fonction de la portée d'origine et du poids au sevrage. Les porcelets reçoivent un aliment 1<sup>er</sup> âge de 0 à 21j PS et 2<sup>ème</sup> âge de 21 à 48j PS. Un schéma factoriel permet de tester trois niveaux de PB à deux niveaux de LysDIS (Tableau 1). Les niveaux de PB sont établis afin de maintenir stable le rapport LysDIS/PB au sein de chaque phase alimentaire pour les deux niveaux de LysDIS. Les aliments ne contiennent pas d'antibiotiques, sont iso-énergétiques pour l'énergie nette et

formulés avec un profil en acides aminés (AA) équilibré. Les porcelets ont un libre accès à l'aliment et à l'eau.

### 1.2. Variables mesurées et calculées

Les porcelets sont pesés individuellement au sevrage (j0), à j21 et à j48. Le gain moyen quotidien (GMQ) est calculé sur les périodes entre deux pesées. La consommation alimentaire est mesurée par case pour calculer la consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) sur les mêmes périodes que le GMQ. Le score fécal est évalué avec une échelle de 0 (fèces normales) à 4 (fèces très liquides). Le nombre de jours avec un score fécal >0 (NJD) est calculé par case.

### 1.3. Analyses statistiques

Le logiciel R (version 1.2.1335) est utilisé pour les analyses statistiques. Le NJD est soumis à un test non paramétrique de Kruskal Wallis avec en effets principaux le niveau de LysDIS et le niveau de PB. Les données par case (CMJ, GMQ, IC) et individuelles (poids) sont soumises à une analyse de variance avec le niveau de LysDIS, le niveau de PB et leur interaction en effets principaux et le poids initial en co-variable. Les effets mère et cage sont ajoutés en facteurs aléatoires pour les données individuelles. Pour les critères CMJ, GMQ et IC, les phases de 1<sup>er</sup> âge, de 2<sup>ème</sup> âge et de période PS complète sont analysées. En cas d'effet significatif ( $P < 0,05$ ), un test de Tukey est réalisé afin d'identifier les traitements différents.

**Tableau 1** – Composition et caractéristiques nutritionnelles des régimes utilisés

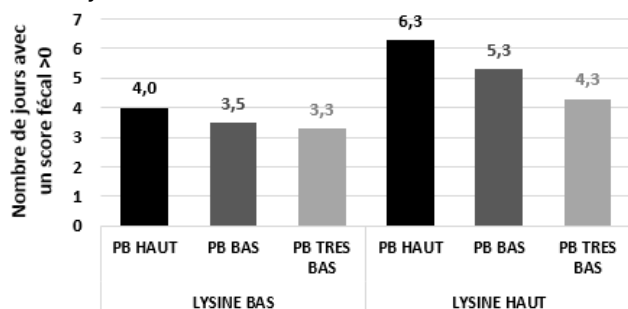
Phase	1 <sup>er</sup> âge						2 <sup>ème</sup> âge					
	BAS			HAUT			BAS			HAUT		
Lys DIS <sup>1</sup> , %												
PB <sup>2</sup> , %	HAUT	BAS	TRES BAS	HAUT	BAS	TRES BAS	HAUT	BAS	TRES BAS	HAUT	BAS	TRES BAS
<b>Ingrédients principaux, %</b>												
Céréales <sup>3</sup>	61,7	63,7	66,1	58,9	61,0	63,3	66,7	70,3	73,2	63,2	65,6	70,2
Tourteau de soja	7,0	7,0	6,0	7,0	7,0	7,0	14,5	11,0	6,1	19,1	15,3	9,9
Conc. prot. soja <sup>4</sup>	6,3	3,8	2,0	9,1	6,6	4,1	-	-	-	-	-	-
Autre	24,0	24,2	24,2	23,9	24,0	23,9	17,8	17,4	18,9	16,7	17,8	18,1
L-AA usuels <sup>5</sup>	0,98	1,23	1,49	1,06	1,31	1,56	0,98	1,23	1,53	1,00	1,27	1,60
L-Ile, L-Leu et/ou L-His	-	0,06	0,20	-	0,06	0,18	-	0,06	0,24	-	0,05	0,22
<b>Caractéristiques nutritionnelles – Valeurs attendues</b>												
Energie nette, MJ/kg	11,3	11,3	11,3	11,2	11,3	11,3	9,9	9,9	9,9	9,8	9,9	9,9
Lys DIS <sup>1</sup> , %	1,23	1,23	1,23	1,33	1,33	1,33	1,05	1,05	1,05	1,15	1,15	1,15
PB <sup>2</sup> , %	18,8	17,7	16,8	20,2	19,2	18,2	16,7	15,8	14,8	18,4	17,3	16,2
Lys DIS <sup>1</sup> /PB <sup>2</sup> , %	6,5	6,9	7,3	6,6	6,9	7,3	6,3	6,6	7,1	6,3	6,6	7,1
<b>Profil acides aminés (% Lysine) – Valeurs analysées x coefficients théoriques de digestibilité</b>												
Thréonine	69	68	69	69	69	68	67	66	65	67	66	66
Méthionine + Cystine	54	53	54	54	53	53	54	55	53	55	54	54
Tryptophane	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	21	21
Valine	70	69	69	69	69	69	68	70	67	70	68	68
Isoleucine	56	53	53	56	54	58	54	53	51	57	53	52
Leucine	114	107	101	113	106	110	107	100	97	109	100	98
Histidine	32	32	32	32	32	32	33	32	31	33	31	31

<sup>1</sup>Lys DIS = lysine digestible iléale standardisée. <sup>2</sup>PB = protéines brutes. <sup>3</sup>1<sup>er</sup> âge 20% orge et le reste de blé, 2<sup>ème</sup> âge 25% orge, 15% maïs et le reste de blé.

<sup>4</sup>Concentré protéique de soja. <sup>5</sup>L-Lys HCl, DL-Met, L-Thr, L-Trp et L-Val.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1.1. Performances sanitaires



**Figure 1** – Nombre de jours avec un score fécal >0 en fonction des niveaux alimentaires de protéines brutes (PB) et lysine

Les résultats pour les six traitements sont présentés dans la figure 1. La baisse de LysDIS réduit le score fécal de 5,3 à 3,6 ( $P = 0,048$ ) et la baisse de PB le réduit de 5,2 à 3,8 ( $P > 0,05$ ).

**Tableau 2** – Effets principaux des niveaux alimentaires de protéines brutes (PB) et lysine digestible iléale standardisée (Lys DIS) sur les performances de croissance des porcelets en post-sevrage (j0 à j48)

	Lys DIS		Protéines Brutes			ETR	$P^1$	
	BAS	HAUT	HAUT	BAS	TRES BAS		Lys DIS	PB
Poids initial j0 post-sevrage, kg	6,4	6,3	6,4	6,4	6,3	1,0	0,862	0,979
Poids final j48 post-sevrage, kg	28,3 <sup>b</sup>	30,0 <sup>a</sup>	29,0	29,7	28,8	1,4	0,001	0,259
Consommation moyenne journalière, g/j	696	718	693	717	709	45	0,129	0,690
Gain moyen quotidien, g/j	458 <sup>b</sup>	495 <sup>a</sup>	478	486	467	29	0,001	0,253
Indice de consommation	1,52 <sup>b</sup>	1,45 <sup>a</sup>	1,45 <sup>y</sup>	1,48 <sup>y</sup>	1,52 <sup>x</sup>	0,04	<0,001	0,008

<sup>1</sup> $P$ -value de l'analyse de variance ; effets principaux : niveau de Lys DIS, niveau de protéines brutes (PB) et leur interaction (significative pour aucun des critères) ; un test de Tukey permet d'identifier les traitements différents. Les valeurs non indexées de la même lettre diffèrent ( $P < 0,05$ ). ETR : écart-type résiduel.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Luise D., Bosi P., Corrent E., Simongiovanni A., Lambert W., Trevisi P., Chalvon-Demersay T., 2021. Effets de la baisse de protéine sur la santé intestinale du porcelet : une méta-analyse. Journées Rech. Porcine, 53, 393-398.
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

# Effets du type de fibre et d'une réduction de la teneur en protéine sur différents paramètres de santé intestinale chez les porcelets sevrés

Manuela MARUJO (1) et Laure DARRAS (2)

(1) Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences., Via de Acesso Professor, P. D. Castelane, 14884-900, Jaboticabal, Brésil

(2) JRS RETTENMAIER FRANCE, 20 quater rue Schnapper, 78100 Saint Germain En Laye, France

Laure.darras@rettenmaier.eu

## Effect of fibre types and reduced dietary level of protein on performances and intestinal health parameters of weanling pigs

This trial evaluated effects of different purified fibres in piglet diets combined with a reduced protein level on intestinal health. A total of 42 piglets weaned at 26 days of age were fed six treatments: CD: control diet without protein reduction; RD: CD with a 4% reduction in crude protein; DF1, DF2, DF3 and DF4: RD with addition of 2.0% of lignocellulose, cellulose, pectin or guar gum, respectively. The pH of small intestine and cecum content; weights of digestive organs; concentrations of short-chain fatty acids (SCFA) and lactic acid in the cecum and ileum content; gut morphology, microbiology and immunity; lesion scores; and apoptosis and mitotic cells in intestinal fractions of pigs slaughtered at 36 days of age were evaluated. The DF2 diet provided the best ( $P < 0.05$ ) ratio of villus height: crypt depth (1.37), which did not differ from that of the DF1 diet (1.32), but did differ from those of the other diets (1.03-1.13). In the duodenum, fewer cells were in apoptosis ( $P < 0.05$ ) with the addition of cellulose than with the CD and DF3 diets. Piglets fed the CD and DF3 diets had the most mitotic cells ( $P < 0.05$ ). Intestinal lesion scores were lower ( $P < 0.05$ ) in piglets fed cellulose (10.00) and lignocellulose (10.29) than those fed pectin (17.83). The lowest ( $P < 0.05$ ) injury score in the ileum was observed in piglets fed cellulose (4.56), and the number of mitotic cells improved in piglets fed cellulose (73.33) and lignocellulose (76.48). In conclusion, reducing the protein level did not influence intestinal health. Including types of insoluble purified fibre, especially cellulose, in diets with a reduced protein level benefits the intestinal morphology of piglets, such as a better ratio of villus height: crypt depth, lower scores of intestinal lesions and apoptosis.

## INTRODUCTION

Les fibres influencent la santé intestinale en changeant les caractéristiques physico-chimiques de l'intestin par leur action sur le transit, la viscosité du digesta et la rétention en eau. Elles interagissent avec le microbiote et la muqueuse, influencent directement l'anatomie, la fonction et développement du tractus gastro-intestinal (Montagne *et al.*, 2003). Leurs principaux avantages sont la modulation des populations microbiennes dans le tube digestif et l'influence du système immunitaire (Pettigrew, 2008). Des teneurs élevées en protéines brutes peuvent favoriser les diarrhées, en raison de la formation de métabolites issus des fermentations de protéines non digérées (Bertschinger *et al.*, 1979). L'objectif de cet essai est d'évaluer l'effet d'une réduction protéique et de l'ajout de quatre fibres purifiées sur des porcelets sevrés : deux insolubles (lignocellulose et cellulose) et deux solubles (pectine et gomme guar), sur des caractéristiques morphologiques et immunitaires.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux, installations, alimentation

Dans cet essai, 42 porcelets sevrés d'un âge de 26 jours et un poids initial moyen de  $6,22 \pm 1,04$  kg ont été répartis en six traitements, sept répétitions par traitement et un animal par enclos, représentant l'unité expérimentale. Le tableau 1 détaille

la composition des aliments témoin (AT, 20% de protéine brute, PB) ; réduit en protéine (AR, 16% de PB); et enrichis par 2% de fibres purifiées AL (lignocellulose ARBOCEL®), AC (cellulose ARBOCEL®), AP (pectine), AG (gomme guar). Les acides aminés (Lysine, Méthionine, Thréonine, Tryptophane, Valine, Isoleucine) ont été équilibrés sur la base de la protéine idéale de Rostagno *et al.* (2011).

Tableau 1 – composition des régimes expérimentaux

Composants (%)	AT	AR/AL/AC/AP/AG
Maïs	61,11	63,34
Lactosérum	14,00	14,00
Concentré de soja	13,30	6,25
Tourteau de soja	5,50	4,08
CMV	3,05	3,15
Huile de soja	1,25	2,20
Acides aminés	1,24	2,32
Fibre	0,50	2,00
Sel, antioxydants	0,05	0,05
Sucre	0,00	2,60
Valeurs analysées en laboratoires (%)		
Fibres solubles	1,10	0,93/1,11/0,94/2,11/2,31
Fibres insolubles	12,95	12,75/14,04/14,66/13,03/12,91

### 1.2. Abattage, prélèvements, analyses statistiques

Les porcelets ont été pesés et abattus à l'âge de 36 jours. Dans cet article, nous présenterons uniquement les résultats morphologiques et les lésions intestinales. Des scores ont été



utilisés pour comparer les lésions intestinales. Pour la mitose et apoptose, les détections de la protéine de prolifération cellulaire (PCNA) et de la mort cellulaire apoptotique (Caspase) ont été effectuées dans les différentes fractions intestinales. Les analyses ont été effectuées en utilisant la procédure PROC MIXED du logiciel SAS 9.3. car elle inclut à la fois les effets fixes du traitement et les effets aléatoires en bloc.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Un ratio plus élevé ( $P < 0,05$ ) entre la hauteur des villosités et la profondeur des cryptes (HV/PC) a été observé pour les régimes AC et AR, ne différant pas du régime AL, tandis qu'un plus petit rapport ( $P < 0,05$ ) a été observé pour régime AT et AG (tableau 2). Selon Montagne *et al.* (2003), la relation entre la hauteur des villosités et la profondeur des cryptes permet d'estimer la capacité digestive de l'épithélium intestinal. Une diminution de ce ratio aurait un effet délétère sur la digestion et l'absorption. Un type de fibre capable d'augmenter le rapport HV/PC peut également améliorer la capacité hydrolytique et d'absorption de l'intestin grêle; jouant ainsi un rôle important dans la réduction des diarrhées (Dobbins et Binder, 1981). Dans cette étude, moins de cellules en apoptose et mitose ont été dénombrées dans le duodénum et l'iléon des porcelets ayant reçu la cellulose, probablement en raison du taux d'incorporation plus faible, rendu possible par sa pureté (99% de cellulose brute), causant moins de dommages à l'épithélium. Un fait prouvé par Cassidy *et al.* (1984) signalant moins de

prolifération cellulaire dans le jéjunum de rats nourris avec de la cellulose, résultant en moins de dommages sur la muqueuse épithéliale. Les animaux qui ont consommé le régime AT présentent un faible ratio HV/PC et plus de lésions intestinales, résultats qui peuvent expliquer le taux de renouvellement cellulaire plus élevé, car une diminution du ratio HV/PC dans l'intestin grêle est associée à une augmentation du taux de prolifération et de mort cellulaire, entraînant un renouvellement cellulaire plus rapide (Montagne *et al.*, 2003). Les porcelets des groupes AR et AP présentent également les scores les plus élevés de lésions, cela peut être dû à la pureté inférieure de cette fibre (40 % de fibres solubles) et à la plus haute viscosité du digesta qui contribue à l'apoptose dans l'épithélium et favorise par conséquent la prolifération cellulaire dans les cryptes (Gee *et al.*, 1996 ; Pluske *et al.*, 2001). L'effet des fibres sur la morphologie épithéliale et le renouvellement cellulaire est variable et dépend des caractéristiques physico-chimiques, de leur niveau d'inclusion, de la durée d'ingestion et de l'âge (Montagne *et al.*, 2003).

## CONCLUSION

La réduction protéique n'influence pas la morphologie du tractus digestif. L'inclusion de fibres pures insolubles, principalement de cellulose et lignocellulose, est bénéfique à la morphologie de l'épithélium intestinal des porcelets, tels qu'un meilleur ratio hauteur villosités/profondeur des cryptes, moins de lésions intestinales et de cellules en apoptose.

**Tableau 2 – Impacts du traitement sur les caractéristiques histologiques et cellulaires intestinales des porcelets**

	Régimes expérimentaux								P
	AT	AR	AL	AC	AP	AG	ES	ET	
<b>Histologie</b>									
HV, $\mu\text{m}$	239,9	228,6	249,4	258,2	222,0	212,6	18,4	48,7	0,275
PC, $\mu\text{m}$	206,4	210,7	190,5	193,7	203,1	210,5	9,6	30,8	0,294
HV/PC	1,1 <sup>c</sup>	1,1 <sup>bc</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	1,4 <sup>a</sup>	1,1 <sup>bc</sup>	1,0 <sup>c</sup>	0,1	0,2	0,001
<b>Scores<sup>2</sup></b>									
Duodénum	16,1 <sup>ab</sup>	14,0 <sup>ab</sup>	10,3 <sup>b</sup>	10,0 <sup>b</sup>	17,8 <sup>a</sup>	15,2 <sup>ab</sup>	1,7	5,3	0,012
Jéjunum	9,9	10,0	7,9	7,3	10,3	10,3	0,9	2,6	0,087
Iléon	8,1 <sup>a</sup>	8,0 <sup>a</sup>	6,0 <sup>ab</sup>	4,6 <sup>b</sup>	8,0 <sup>a</sup>	7,7 <sup>ab</sup>	0,7	2,7	0,01
<b>Apoptose</b>									
Duodénum	51,6 <sup>a</sup>	46,8 <sup>ab</sup>	34,9 <sup>ab</sup>	32,1 <sup>b</sup>	39,5 <sup>ab</sup>	36,1 <sup>ab</sup>	4,0	12,1	0,01
Jéjunum	38,8	39,2	33,5	31,4	36,7	39,9	3,0	36,3	0,288
Iléon	37,8	33,7	35,9	32,4	42,4	40,7	4,4	12,7	0,429
<b>Mitose</b>									
Duodénum	92,8 <sup>a</sup>	90,2 <sup>ab</sup>	83,7 <sup>ab</sup>	75,1 <sup>b</sup>	95,3 <sup>a</sup>	88,7 <sup>ab</sup>	3,9	16,5	0,011
Jéjunum	88,2	95,0	85,8	91,9	95,5	98,1	5,2	14,9	0,076
Iléon	99,1 <sup>a</sup>	89,1 <sup>a</sup>	76,5 <sup>b</sup>	73,7 <sup>b</sup>	88,9 <sup>a</sup>	89,8 <sup>a</sup>	2,7	11,8	0,001

<sup>2</sup>Multiplication du degré de gravité par l'étendue de la lésion. Degré : 1 - blessures légères ; 2 - modérées 3 - graves. Etendue : 0 - absent ; 1 - faible (< 25% de la section affectée); 2 - modéré (26-50%) 3 - grand (> 50%). Le score final correspond à la somme des notes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertschinger H. U., Eggenberger E., Jucker H., Pflirter H. P., 1979. Evaluation of low nutrient, high fiber diets for the prevention of porcine Escherichia coli enterotoxaemia. *Veterinary microbiology*, 3, 281–290.
- Cassidy M., Fitzpatrick L. R., Vahouny G. V., 1984. Effect of fiber in the postweaning diet on nutritional and intestinal morphological indices in the rats. In: Second Washington symposium of dietary fiber. P 229.
- Dobbins J. W., Binder H. J., 1981. Pathophysiology of diarrhea: alterations in fluid. *Journal of clinical gastroenterology*, 10, 605–626.
- Gee J., Lee-Finglas W., Wertley G., Johnson I., 1996. Fermentable carbohydrates elevate plasma enteroglucagon but high viscosity is also necessary to stimulate small bowel mucosal cell proliferation in rats. *Journal of nutrition*, 126, 373–379.
- Montagne L., Pluske J. R., Hampson D. J., 2003. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal feed science and technology*, 108, 95- 117.
- Pettigrew J. E., 2008. Ingredientes alimentares que melhoram a saúde. *Revista porkworld*, 46, 278-283.
- Pluske J. R., Kim J. C., McDonald D. E., Pethick D. W., Hampson D. J., 2001. Non-starch polysaccharides in diets of young weaned piglets. In Varley M. A., Wiseman J. (Eds.) *The weaner pig: nutrition and management*, 81-112. CABI Publishing, Wallingford, UK.

# Maintenir les performances des porcelets avec des aliments à bas taux protéique en période post-sevrage

Alfons JANSMAN (1), William LAMBERT (2), Aude SIMONGIOVANNI (2), Tristan CHALVON-DEMERSAY (2),  
Hans VAN DIEPEN (1)

(1) Wageningen Livestock Research, De Elst 1, 6708 WD Wageningen, Pays-Bas

(2) METEX NØØVISTAGO, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

[alfons.jansman@wur.nl](mailto:alfons.jansman@wur.nl)

## Maintaining performance of post-weaning piglets with low-protein diets

In the current context of antibiotics and zinc oxide usage reduction, the feed industry is looking for alternative strategies to support gut health of post-weaning piglets. Reducing the dietary crude protein (CP) content is a recognized solution but it has not to be done at the expense of growth performance. The aim of the study was to evaluate effects of lowering dietary CP content on the growth performance of post-weaning (PW) piglets. Three dietary treatments (I, II and III) with eight replicates (1 replicate/pen with eight piglets) were evaluated over an experimental period of 34 days. The dietary CP level was reduced from 17.0% to 15.5% to 14.0%, while maintaining the amino acid (AA) composition according to the ideal AA profile. The SID Lys level was maintained at 1.10%, leading to a SID Lys:CP ratio of 6.5%, 7.1% and 7.9% for treatments I, II and III, respectively. Feed intake (FI), body weight gain (BWG) and feed conversion ratio (FCR) were measured as response criteria. Equations from the meta-analysis of Luise *et al.* (2021) were used to estimate potential effects of dietary CP reduction on gut health. Over the entire experimental period, FI was not influenced by the experimental treatments. For BWG and FCR, there was no difference between treatments I and II. For treatment III, these parameters were significantly worse than those of the two other treatments (both  $P < 0.001$ ). Estimates of gut health parameters indicated a significant decrease in ingested indigestible proteins after lowering dietary CP. Intestinal ammonia concentration and TLR-4 expression were reduced by 7% and 16%, respectively, from treatment I to II and by 14% and 33%, respectively, from treatment I to III. It was concluded that lowering the dietary CP content in PW piglet feed effectively reduces gut disorders while maintaining piglet performance up to a level close to 7.0% SID Lys:CP as long as the optimal dietary AA profile for all essential AA is applied.

## INTRODUCTION

Le contexte européen actuel de réduction de l'utilisation des antibiotiques et de l'oxyde de zinc pousse les acteurs de la filière à trouver des solutions alternatives afin d'assurer une bonne santé digestive des porcelets après le sevrage. La réduction de la teneur en protéines brutes (PB) de l'aliment est reconnue comme une solution efficace pour améliorer la santé digestive et réduire les diarrhées post-sevrage (PS) (Luise *et al.*, 2021) mais cela ne doit pas se faire aux dépens des performances de croissance. L'utilisation conjointe d'acides aminés (AA) libres permet d'éviter les carences et les déséquilibres entre AA et de maintenir les performances de croissance des porcelets. Cependant, peu d'essais ont testé une réduction de PB à des niveaux très bas, requérant l'utilisation de nouveaux AA récemment disponibles comme l'isoleucine (Ile), la leucine (Leu) et l'histidine (His) (Gloaguen *et al.*, 2014). L'objectif de cet essai est de tester l'impact d'une baisse de PB sur les performances zootechniques de porcelets en PS.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et aliments

Le jour du sevrage (28 jours d'âge), 192 porcelets mâles Topigs Norsvin 70 (verrat Norwegian Landrace x truies pure bred York-

Z) sont mis en lot en fonction de leur poids au sevrage et de leur état de santé puis répartis entre trois traitements alimentaires (3 × 8 cases de 8 porcelets) différant par leur niveau de PB (17,0%, 15,5% et 14,0%). Les aliments sont iso-lysine digestible iléale standardisée (Lys DIS = 1,10%), iso-énergétiques pour l'énergie nette (EN = 10,5 MJ/kg) et formulés avec un profil en AA équilibré (Tableau 1). Le traitement II est supplémenté avec les nouveaux AA disponibles L-Ile, L-Leu et L-His HCl ; le traitement III est un aliment expérimental, formulé sans tourteau de soja et supplémenté avec de la L-Phe, non disponible commercialement pour la nutrition animale. Les aliments ne contiennent pas d'antibiotiques. Les porcelets sont nourris à volonté et ont un libre accès à l'eau.

### 1.2. Variables mesurées et calculées

Les porcelets sont pesés individuellement au sevrage (j0) et à la fin de la période expérimentale (j34). Le gain moyen quotidien (GMQ) est calculé sur la période complète (j0 à j34). La consommation d'aliment est mesurée par case pour calculer la consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) sur la même période que le GMQ. Les équations de Luise *et al.* (2021) sont utilisées afin de calculer le potentiel effet sur les critères de santé intestinale : protéines indigestibles ingérées, concentration en ammoniac intestinal et expression de TLR-4, un marqueur de l'inflammation.

**Tableau 1** – Composition et caractéristiques nutritionnelles des régimes utilisés

	Traitements		
	I	II	III
<b>Ingrédients principaux, %</b>			
Céréales <sup>1</sup>	73,1	79,3	85,1
Tourteau de soja	15,8	6,7	-
Protéines de pomme de terre	1,6	3,2	3,2
Huile de soja	1,6	1,3	1,0
Autre	6,8	7,9	8,1
L-AA usuels <sup>2</sup>	1,11	1,43	1,95
L-Ile, L-Leu et L-His	-	0,17	0,53
L-Phe	-	-	0,14
<b>Caractéristiques nutritionnelles</b>			
Energie nette, MJ/kg	10,5	10,5	10,5
Lysine DIS <sup>3</sup> , %	1,10	1,10	1,10
PB <sup>4</sup> , %	17,0	15,5	14,0
Lysine DIS/PB, %	6,5	7,1	7,9
Balance électrolytique, mEq/kg	180	180	180
<b>Profil acides aminés DIS (% Lysine)</b>			
Thréonine	65	65	65
Méthionine + Cystine	60	60	60
Tryptophane	22	22	22
Valine	70	70	70
Isoleucine	55	53	53
Leucine	107	100	100
Histidine	32	32	32
Phénylalanine + Tyrosine	115	103	95

<sup>1</sup>28,7% maïs, 27,5% blé et le reste d'orge ; <sup>2</sup>L-Lys HCl, DL-Met, L-Thr, L-Trp et L-Val ; <sup>3</sup>DIS = digestible idéal standardisé ; <sup>4</sup>PB = protéines brutes.

### 1.3. Analyses statistiques

Les données par case (CMJ, GMQ, IC) sont soumises à une analyse de variance (ANOVA ; Minitab 19) avec le niveau de PB et le bloc (classe de poids) en facteurs principaux. En cas d'effet significatif ( $P < 0,05$ ), un test de Tukey est réalisé afin d'identifier les traitements différents.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Sur la période complète de PS, la réduction de PB jusqu'à un niveau de Lys DIS/PB à 7,1% n'a eu aucun impact significatif sur les performances de croissance des porcelets (Tableau 2). Ces résultats confirment ceux de Gloaguen *et al.* (2014). Le traitement III montre en revanche un GMQ et un IC dégradés conduisant à une réduction du poids vif final à j34 de 2,4 kg. Ces résultats nous indiquent qu'il est possible de réduire la PB sans impacter les performances jusqu'à un niveau de Lys DIS/PB proche de 7% à condition de bien contrôler les niveaux d'AA. Le calcul de l'ingéré de protéines non digestibles montre une réduction significative avec la baisse de PB alimentaire (Tableau 2).

La part non digestible des PB alimentaires est connue pour favoriser la croissance de bactéries pathogènes responsables de désordres intestinaux (Heo *et al.*, 2013). Réduire la PB dans l'aliment est une stratégie efficace à mettre en place afin de réduire les désordres intestinaux des porcelets.

D'après les calculs basés sur Luise *et al.* (2021), le traitement II permet de réduire la concentration intestinale en ammoniac et l'expression de TLR-4 de 7 et 16% respectivement par rapport au traitement I. Le TLR-4 est un marqueur de l'inflammation responsable de la production de cytokines inflammatoires. L'hypothèse avancée par Luise *et al.* (2021) est que la baisse du niveau de PB alimentaire réduit la fermentation intestinale des protéines non digestibles et conduit à une réduction de la concentration intestinale en métabolites potentiellement dangereux (ammoniac, amines biogènes, ...) ce qui contribue à réduire l'inflammation de la muqueuse intestinale.

**Tableau 2** – Effet des régimes alimentaires sur les performances zootechniques et la santé intestinale des porcelets en post-sevrage (j0-j34)

	Traitements			ETR <sup>2</sup>	P <sup>1</sup>
	I	II	III		
<b>Performances zootechniques</b>					
Poids j0, kg	8,0	7,9	7,9	0,07	0,236
Poids j34, kg	26,8 <sup>a</sup>	26,1 <sup>a</sup>	24,4 <sup>b</sup>	0,49	0,001
CMJ <sup>3</sup> , g/j	754	740	726	19,1	0,355
GMQ <sup>4</sup> , g/j	554 <sup>a</sup>	537 <sup>a</sup>	485 <sup>b</sup>	13,6	<0,001
IC <sup>5</sup>	1,36 <sup>a</sup>	1,38 <sup>a</sup>	1,49 <sup>b</sup>	0,013	<0,001
<b>Critères de santé intestinale<sup>6</sup></b>					
PII <sup>7</sup> , g/d	14,3 <sup>a</sup>	13,3 <sup>b</sup>	11,5 <sup>c</sup>	0,34	<0,001
NH <sub>3</sub> intestinal, % du régime I	100	92,8	85,7	-	-
Expression de TLR-4 <sup>8</sup> , % du régime I	100	83,6	67,2	-	-

<sup>1</sup>P-value de l'analyse de variance ; effets principaux : niveau de protéines brutes (PB) et bloc (classe de poids) ; un test de Tukey permet d'identifier les traitements différents. Les valeurs non indexées de la même lettre différent ( $P < 0,05$ ) ; <sup>2</sup>ETR : écart-type résiduel ; <sup>3</sup>CMJ = consommation moyenne journalière ; <sup>4</sup>GMQ = gain moyen quotidien ; <sup>5</sup>IC = indice de consommation ; <sup>6</sup>calcul à partir des équations de la méta-analyse de Luise *et al.* (2021) ; <sup>7</sup>PII = protéines indigestibles ingérées ; <sup>8</sup>TLR-4 = Toll-Like receptor 4

## CONCLUSION

Ces résultats indiquent qu'il est possible de réduire la PB jusqu'à un niveau proche de 7% Lys DIS/PB sans affecter les performances de croissance des porcelets dans la mesure où le profil en AA est contrôlé. Dans le contexte actuel de réduction de l'utilisation d'antibiotiques et d'oxyde de zinc, la baisse de protéines est un outil de pilotage de la santé intestinale. Réduire la PB au-delà de 7% Lys DIS/PB représente un risque pour les performances mais présente un intérêt certain dans un contexte sanitaire difficile.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Luise D., Bosi P., Corrent E., Simongiovanni A., Lambert W., Trevisi P., Chalvon-Demersay T., 2021. Effets de la baisse de protéine sur la santé intestinale du porcelet : une méta-analyse. Journées Rech. Porcine, 53, 393-398.
- Gloaguen M., Le Floch N., Corrent E., Primot Y., van Milgen J., 2014. The use of free amino acids allows formulating very low crude protein diets for piglets. J. Anim. Sci., 92, 637-644.
- Heo J.M., Opapeju F.O., Pluske J.R., Kim J.C., Hampson D.J., Nyachoti C.M., 2013. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 97, 207-237.

# PORC'INN : un nouveau dispositif d'expérimentation pour le suivi des performances individuelles des porcelets sevrés

Maxime TRAINÉAU, Justine DANÉL, Maria VILARIÑO

ARVALIS - Institut du végétal, 2 Poulaine, 41100 Villerable, France

m.traineau@arvalis.fr

## PORC'INN: new experimental device for monitoring individual performances of weaned piglets

Monitoring feed intake and individual growth is essential to explore certain questions about weaned piglets. Monitoring of individual performances can also be related to other physiological, behavioral or toxicological criteria of interest for a global study. Previously, such monitoring was possible only in individual cages; however, regulatory changes regarding housing conditions for animals used in experiments led to major changes in equipment. The ARVALIS experimental station in Villerable, France, decided to modernize its facilities and install a new system more respectful of animal welfare and more effective at monitoring individual feed intake in group-housed piglets. In a regulated room, eight automatons are distributed among four collective pens with a capacity of 20 piglets each. These machines measure feed intake with a precision of 1 g, as well as the duration of each meal and the number of visits. The objective of the experiment was to evaluate the power of the device by comparing performances of weaned piglets fed four diets, in a 2 × 3 factorial design (2 cereal profiles, 2 levels of digestible lysine and animal sex). All diets were isometric in energy, protein and digestible amino acids (except lysine). This article details the device and its ability to highlight statistical differences among different diets for the criteria measured. The differences in performance observed given the factors evaluated confirm that this device can identify a statistically significant difference of 7% in feed consumption and 3.6% in FCR over the duration of an experiment.

## INTRODUCTION

Afin de répondre aux contraintes réglementaires concernant l'expérimentation animale, tout en améliorant le bien-être des animaux et les conditions de travail des techniciens, la station expérimentale de Villerable d'ARVALIS - Institut du végétal a modernisé ses installations porcines et innové dans ses outils expérimentaux. L'ancien dispositif pour la mesure des performances individuelles chez le porcelet en cage individuelle a été remplacé par des loges collectives, ce qui nécessitait de développer un système permettant la mesure individuelle de consommation d'aliment.

Pour cela, ARVALIS a travaillé avec l'équipementier ASSERVA, qui avait auparavant développé avec l'IFIP des automates proches des besoins définis. L'objectif était de concevoir des modifications sur ces automates afin de suivre les consommations des porcelets avec de pesées précises à 1,0 g à chaque accès, et non par volumétrie. Après un travail important de conception et d'ajustements matériels et informatiques, la salle est équipée de huit automates, deux par loge de 20 porcelets et utilisables sur une période de croissance allant de 8 à 30 kg.

Cette étude a été menée afin d'évaluer la capacité des équipements PORC'INN à mettre en évidence des différences sur les performances de porcelets. Pour cela, un essai a été réalisé avec des aliments dont l'impact attendu était plus ou moins important. Trois facteurs ont été étudiés, le profil aliment en matières premières (MP), le niveau de lysine digestible (Lysd) et le sexe.

Deux profils aliment MP ont été formulés, l'un dit « sécurisé » (S) contenant de l'orge et l'autre dit « non sécurisé » (NonS) sans orge et avec tourteau de colza. En effet, il est de coutume

d'affirmer que pour « sécuriser » les aliments porcelets, il est préférable que ceux-ci contiennent un minimum d'orge (10 à 35% dans les aliments 2<sup>ème</sup> âge). Des travaux précédents (Skiba *et al.*, 2007) n'ont pas permis de montrer les effets favorables attribués à l'orge, mais ont néanmoins avancé l'hypothèse que le ratio énergie/protéine dans les contenus iléaux, plus élevé pour les aliments à base d'orge que ceux à base de blé, pouvaient avoir un intérêt sur la santé digestive des porcelets.

Pour chaque type de profil MP, deux niveaux de Lysd différents ont été évalués, soit le niveau recommandé (Lysd100) soit réduit de 10% (Lysd90). L'objectif de cette réduction, qui est plutôt faible et peu discriminante (Millet *et al.*, 2017), était d'ajouter une contrainte supplémentaire au régime NonS, mais aussi de tester la mise en évidence d'un faible écart de performances. L'effet sexe, avec des animaux mélangés dans la même loge, a également été étudié avec son impact connu sur les performances des porcelets en post-sevrage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

L'essai a été réalisé à la station expérimentale d'ARVALIS - Institut du végétal de Villerable (41). Les animaux utilisés sont des porcs mâles castrés et femelles de type génétique Youna (1/4 chinois 1/4 Landrace 1/2 Large White) x (Piétrain x Large White). Placés dans un bâtiment ventilé et régulé en température, les porcelets sont répartis dans quatre loges collectives (20 porcelets par loge) équipées chacune de deux automates. À leur arrivée, les porcelets sont pesés individuellement et répartis dans les loges avec un poids moyen identique et une répartition moitié moitié de mâles et femelles par loge. Les animaux sont équipés d'une boucle RFID permettant une identification unique lors de chaque accès à

l'auge. Le dispositif expérimental est constitué de quatre aliments expérimentaux avec 20 répétitions d'un porcelet par aliment dans un modèle à trois facteurs croisés : le facteur profil aliment MP avec soit un aliment sécurisé (S) ou un aliment non sécurisé (NonS), et une réduction de 10 % de Lysd (Lysd90) ou non (Lysd100) et les deux sexes. Les aliments ont été formulés pour être iso énergie, iso protéines et iso acides aminés (aa), sauf pour la lysine (Tableau 1). L'essai s'est déroulé sur quatre semaines et les animaux ont été pesés individuellement chaque semaine.

**Tableau 1** – Composition centésimale (%) de l'aliment et valeur nutritionnelles (% ou kcal/kg)

MP, %	S		NonS	
	Lysd100	Lysd90	Lysd100	Lysd90
Blé	22,0	22,0	50,2	51,9
Orge	45,5	45,5	16,7	15
T. Soja 48	24,9	25,2	19,8	19,8
T. Colza	1,0	1,0	7,0	7,0
Huile	1,1	1,1	0,6	0,6
AMV <sup>1</sup>	4,4	5,2	5,8	5,6
Caractéristiques nutritionnelles, % ou kcal/kg MS				
Protéines	19,6	19,6	19,6	19,6
ENG4	2300	2300	2300	2300
Lys d	1,22	1,11	1,23	1,12
CB	3,9	3,9	4,2	4,1

MP : matière première ; T : Tourteau ; S : sécurisé ; NonS : non sécurisé ; dLys100 : niveau recommandé de lysine digestible ; dLys90 : niveau de lysine à 10 % de moins que recommandé ; <sup>1</sup>AMV : aliment minéral et vitaminé, comprenant les minéraux, le prémix et les acides aminés de synthèse (méthionine, thréonine, lysine ajusté à l'aliment) ; ENG4 ; Lysd : lysine digestible ; CB : cellulose brute.

Les analyses sont réalisées avec le logiciel de traitements statistiques XLSTAT 2021 2.2. Une ANOVA de type III est utilisée avec comme effets le type d'aliment, le niveau de Lysd, le sexe et les interactions. Un test de Tukey est réalisé pour les comparaisons par paire en post-analyse.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Afin de contrôler les données issues des automates, chaque semaine les quantités d'aliment distribuées et refusées sont pesées manuellement afin d'estimer pour chaque loge les quantités globales consommées et de comparer cette estimation avec les données enregistrées par les automates. Pour les quatre semaines d'essai et pour les huit automates, les différences varient entre 0,5 et 2,5%.

Le tableau 2 montre les résultats moyens issus de quatre semaines d'essai pour des porcelets de 11 à 26 kg mâles et femelles mélangés. Aucune interaction significative entre les trois facteurs n'a été observée, ce qui permet de présenter les résultats regroupés.

Le premier effet notable et connu est l'effet du sexe sur la consommation moyenne journalière d'aliment (CMJ), le gain

moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC). Ce dispositif met bien en évidence une différence statistique d'environ 7% de la CMJ, de 8,9% de GMQ et de 3,6% d'IC, entre mâles et femelles.

L'aliment S permet une amélioration de 6,8% d'IC par rapport à l'aliment NonS, quel que soit le niveau de Lysd, les deux sexes confondus.

La réduction de 10% de lysine digestible n'a pas affecté de manière significative les performances, dans les conditions de mesures de cet essai, dont les différences numériques sont seulement de 1,5 à 2%.

Ce dispositif permet également de mesurer le nombre moyen de repas par jour ainsi que le temps moyen de chaque repas. La nature des aliments, ainsi que le sexe des animaux, ne semblent pas avoir d'influence sur le comportement alimentaire des porcelets. La seule évolution est une diminution du temps moyen d'un repas avec le temps.

**Tableau 2** – Performances des porcelets en fonction du sexe, du niveau de lysine digestible et du type d'aliment

Effet		CMJ (g/j)	GMQ (g/j)	IC
Effet sexe	Mâle	884	587	1,512
	Femelle	823	535	1,569
	Significativité	**	**	*
Effet Lysine	Lysd100	860	566	1,516
	Lysd90	848	556	1,565
	Significativité	NS	NS	NS
Effet aliment	S	904	612	1,486
	Non S	804	509	1,595
	Significativité	***	***	***
ETR		144	101	0,17

CMJ : consommation moyenne journalière ; GMQ : gain moyen quotidien ; IC : indice de consommation ; Lysd100 : niveau recommandé de lysine digestible ; Lysd90 : niveau de lysine à 10 % de moins que recommandé ; S : sécurisé ; NonS : non sécurisé ; NS : P > 0,05 ; \* : P < 0,05 ; \*\* : P < 0,01 ; \*\*\* : P < 0,001 ; ETR : Ecart-Type résiduel

## CONCLUSION

Le dispositif mis en place au sein de la station expérimentale d'ARVALIS est aujourd'hui opérationnel et permet de suivre la consommation alimentaire des porcelets entre 8 et 30 kg placés dans des loges collectives, de manière au moins aussi précise que le dispositif précédent en loges individuelles et pesée manuelle de l'aliment. Le dispositif PORC'INN permet par ailleurs des mesures de consommation de différentes durées (repas, heure, jour, semaine) et l'analyse du comportement alimentaire.

Les écarts constatés sur les performances selon les différents facteurs permettent de confirmer qu'il est possible, avec ce dispositif, de mettre en évidence une différence statistique de 7% sur la consommation d'aliment et de 3,6% sur l'IC, sur toute la durée de l'essai. Des différences inférieures à 2% n'ont pas été discriminantes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Millet S., Aluwé M., Le Gall E., Corrent E., Lambert W., De Sutter J., Ampa B., De Campenjeere S., 2017. Le besoin en lysine digestible iléale standardisée des porcelets de 8 à 24 kg. Journées Rech. Porcine, 49, 121-122.
- Skiba F., Callu P., Lalles J-P., Thibault J-N, Seve B., 2007. Digestibilités comparées de l'orge et du blé chez le porcelet en post-sevrage. Journées Rech. Porcine, 39, 153-156.

# Effet des apports énergétiques en fin de finition sur les performances du porc nourri en soupe selon son sexe

Arnaud SAMSON (1), Emmanuel JANVIER (2), Claire LAUNAY (1), Eric SCHETELAT (3)

(1) ADM, Rue de l'Eglise, 02402 Château-Thierry, France

(2) ADM, Route de Talhouët, 56250 Saint-Nolff, France

(3) Wisium, 6 Rue d'Ouessant, 35760 Saint-Grégoire, France

Arnaud.Samson@adm.com

## Effect of increasing the energy level in the finishing period on the growth performance of pigs restrictively fed, as a function of their sex

The objective of this trial was to assess effects of the energy level of the feed offered in the late finishing period to pigs fed restricted with a liquid feeding system, as a function of their sex. A total of 168 pigs aged 68 days and housed in pens of six pigs each were allocated to four experimental groups compared in a 2 x 2 factorial design : sex (female or castrated male) x feeding strategy (2-phase or 3-phase). Up to 90 kg body weight (BW), all pigs were fed the same diets: a first diet from 32-60 kg BW followed by a "Finisher 1" diet fed up to 90 kg BW (9.85 MJ NE/kg, 0.80% SID Lys). From 90 kg BW to slaughter, the "2-phase" pigs were still fed with the "Finisher 1" diet while the "3-phase" pigs received the "Finisher 2" diet, richer in energy (10.10 MJ NE/kg, 0.80% SID Lys). The same feeding plan was applied to the entire population. The interaction between the two factors studied was not significant for any of the parameters. The females grew faster from day 111 to slaughter (+3.2%,  $P \leq 0.05$ ) and the mean lean meat content of their carcasses was higher than that of the castrated males (62.0% vs 61.0%, respectively,  $P \leq 0.05$ ). Growth rates calculated during the finishing period (day 111-slaughter) of the pigs fed the 3-phase strategy tended to be greater than those fed the 2-phase strategy (+2.5%,  $P \leq 0.10$ ). Consequently, increasing the energy content of the diet fed in the late finishing period tended to improve the feed efficiency from day 111-slaughter (-2.3%,  $P \leq 0.10$ ) and over the entire fattening period (day 68-slaughter). The dietary treatment did not influence carcass grading ( $P > 0.10$ ).

## INTRODUCTION

En France, la majorité des porcs charcutiers est alimentée selon une alimentation biphasée. Cette conduite alimentaire consiste à distribuer au cours de l'engraissement deux aliments successifs présentant des valeurs nutritionnelles différentes et s'approchant des besoins des animaux. Elle permet donc une réduction des rejets tout en maintenant les performances zootechniques des animaux. La multiplication des phases lors de la période d'engraissement pourrait permettre de s'approcher un peu plus des besoins des animaux. Les apports protéiques ont été investigués lors des travaux portant sur la stratégie « multiphase », l'objectif étant la réduction des rejets azotés (Lagadec *et al.*, 2016). Toutefois, les besoins énergétiques du porc charcutier sont susceptibles d'augmenter dans le temps, le besoin énergétique d'entretien du porc étant proportionnel à son poids métabolique (Noblet *et al.*, 2016). Dans un contexte d'alimentation rationnée, l'énergie pourrait donc devenir limitante en fin de période d'engraissement dans un contexte d'alimentation biphasée. Dans cette étude, nous avons donc évalué selon le sexe les effets de l'augmentation des apports énergétiques en fin de finition sur les performances de croissance du porc charcutier nourri en soupe, donc rationné.

## 1. MATERIEL ET METHODES

L'essai s'est déroulé au Centre de Recherches Zootechniques Appliquées d'ADM (Montfaucon, Aisne). Au total, 168 (50% mâles castrés, 50% femelles) porcs croisés (Large White x Landrace) x Piétrain, âgés de 68 jours et pesant 32,6 kg en

moyenne ont été impliqués dans cette étude. Les animaux ont été logés en cases collectives de six individus (soit 28 cases au total) et répartis au sein de quatre groupes expérimentaux comparés dans un dispositif factoriel : sexe (femelle ou mâle castré) x stratégie nutritionnelle (biphasée ou triphasée). Jusqu'à 90 kg de poids vif (PV), tous les porcs étaient alimentés avec les mêmes régimes : un aliment « Croissance » jusqu'à 60 kg de PV (9,65 MJ EN/kg, 0,85% Lys DIS) puis un aliment « Finition 1 » jusqu'à 90 kg de PV (9,85 MJ EN/kg, 14,5% CP, 0,80% Lys DIS). Jusqu'à l'abattage, les porcs alimentés selon la stratégie Biphasée continuaient de recevoir l'aliment « Finition 1 » alors que les animaux du groupe Triphasée recevaient un aliment « Finition 2 » plus riche en énergie (10,10 MJ EN/kg) mais présentant des apports en protéine et acides aminés digestibles identiques. Les aliments présentés en miettes ont été distribués par l'intermédiaire d'une machine à soupe, la dilution retenue étant de 2,8 L d'eau par kg d'aliment. Le même plan de rationnement était appliqué à tous les animaux : 40 g d'aliment/kg PV au début de l'essai, une progression de +27 g/j et un plafond de rationnement de 2,60 kg/j.

Les porcs ont été pesés à 68 j d'âge pour la mise en lots, puis à 111 j et le jour du départ à l'abattoir à un poids objectif de 120 kg. Plusieurs départs à l'abattoir ont été organisés afin d'atteindre ce poids, l'âge à l'abattage pouvant ainsi varier d'un groupe expérimental à l'autre. Les porcs étaient également pesés le jour effectif des changements d'aliments afin de valider que leurs poids étaient en adéquation avec les poids cibles de 60 et 90 kg. Les quantités d'aliments distribuées ont été enregistrées automatiquement par la machine à soupe. Ces

données de poids et de consommation ont permis de calculer le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) à l'échelle de la case. L'identification individuelle par bouclage à l'oreille a permis de récupérer les résultats individuels de classement des carcasses. Les données collectives ont ensuite été analysées avec le logiciel RStudio (v1.3.1093). Le modèle statistique incluait les effets fixes de la stratégie d'alimentation, du sexe, du PV à j68 ainsi que leurs interactions. Pour les données de carcasse, le même modèle a été utilisé mais auquel était ajouté l'effet aléatoire de la case.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'interaction entre les deux facteurs étudiés était non significative pour l'ensemble des performances (Tableau 1). En moyenne, les porcs pesaient 60,8 kg lors du premier changement d'aliment. Pour les porcs du groupe Triphase, le passage de l'aliment « Finition 1 » à « Finition 2 » a eu lieu à un âge de 129 jours et un poids moyen de 90,3 kg.

Conformément à ce que nous attendions, les consommations moyennes journalières enregistrées sur la globalité de la période d'engraissement (j68-Abattage) ne différaient pas significativement d'un groupe à l'autre, en moyenne 2261 g/j.

L'application de la stratégie Triphase a eu tendance à améliorer les GMQ (+2,5%,  $P \leq 0,10$ ) et les IC (-2,3%,  $P \leq 0,10$ ) sur la période de finition (j111-Abattage) et donc également sur la période d'engraissement globale (j68-Abattage). L'IC énergétique calculé sur la période de finition ne différait pas significativement entre les deux stratégies (en moyenne 26,1 MJ d'EN/kg de croît). Il est intéressant de noter que l'augmentation des apports énergétiques ne s'est pas soldée par une dégradation du classement de carcasses, alors même que les poids de carcasses étaient supérieurs pour les porcs du groupe Triphase ( $P \leq 0,05$ ). Ces données confirment donc l'intérêt d'augmenter les apports énergétiques en fin de finition chez le porc charcutier rationné et ce, indépendamment du sexe. L'amélioration des performances de croissance, la non-dégradation de l'indice de consommation énergétique et du classement de carcasses suggèrent que la stratégie Triphase permet de se rapprocher du besoin énergétique des porcs. On

rappelle que le besoin énergétique journalier du porc augmente au cours de la période d'engraissement (Noblet *et al.*, 2016). Le dépôt protéique étant un processus coûteux en énergie, il pourrait être intéressant d'évaluer l'effet de la modulation des apports énergétiques selon les apports protéiques. Dans un contexte où les apports en protéine et en acides aminés seraient inférieurs à ceux considérés dans notre étude, les besoins énergétiques des porcs pourraient être ainsi réduits.

Entre j111 et l'abattage, les femelles présentaient de meilleurs GMQ (+3,2%,  $P \leq 0,05$ ) et IC (-3,0%,  $P \leq 0,05$ ) comparativement aux mâles castrés. L'âge à l'abattage n'était pas significativement affecté par les deux facteurs étudiés. Le taux de muscle des pièces (TMP) des carcasses des mâles castrés était inférieur à celui des femelles (61,0 vs 62,0 respectivement,  $P \leq 0,05$ ). Néanmoins, l'effet du sexe sur les performances de croissance ne ressortait pas significatif sur la globalité de la période d'engraissement. Ces résultats sont donc en adéquation avec les données de Quiniou *et al.* (2013) qui rapportaient l'absence d'écart de performances entre les deux sexes sur la période d'engraissement lorsque l'aliment était présenté sous forme de miettes, et ce malgré des carcasses plus grasses pour le mâle castré.

## CONCLUSION

Les données de cet essai confirment les bénéfices liés à l'augmentation des apports énergétiques en fin de période d'engraissement. Quel que soit le sexe, la stratégie Triphase adoptée dans cette étude a permis d'optimiser la croissance des animaux et ce, sans conséquence négative sur l'efficacité alimentaire ou le classement des carcasses. Il est indispensable de veiller à la couverture des besoins énergétiques chez les porcs modernes afin de valoriser au mieux des aliments bien pourvus en acides aminés. Avec les génétiques actuelles et dans un contexte où les animaux sont rationnés, les performances des mâles castrés étaient comparables à celles réalisées par les femelles. Il est intéressant de noter que la hiérarchie en termes de performances entre les deux sexes semble évoluer au cours de la période d'engraissement.

**Tableau 1** – Performances de croissance<sup>1</sup> selon la stratégie alimentaire et le sexe (moyenne et écart-type)

Facteur	Stratégie		Sexe		Statistiques <sup>2</sup>	
	Biphase	Triphase	Femelle	Mâle Castré	ETR	Effets
Poids vif à 68 j, kg	32,5 ± 3,3	32,6 ± 3,3	32,6 ± 3,3	32,5 ± 3,3	0,8	Str*
Poids vif à 111 j, kg	69,5 ± 5,7	70,0 ± 4,7	69,4 ± 5,4	70,1 ± 5,0	1,3	
Poids vif à l'abattage, kg	120,1 ± 3,9	122,1 ± 2,8	121,6 ± 4,0	120,7 ± 2,7	2,6	
Age à l'abattage, j	162,9 ± 4,2	163,3 ± 4,1	163,1 ± 4,5	163,1 ± 3,8	2,9	
CMJ j68-Abattage, g/j	2259 ± 67	2263 ± 59	2263 ± 59	2258 ± 66	21	
GMQ j68-j111, g/j	861 ± 59	869 ± 40	856 ± 53	874 ± 46	30	
GMQ j111-Abattage, g/j	973 ± 53	997 ± 40	1001 ± 42	970 ± 45	22	
GMQ j68-Abattage, g/j	923 ± 28	940 ± 24	936 ± 26	927 ± 26	19	
IC j68-j111, g/g	2,17 ± 0,07	2,15 ± 0,11	2,19 ± 0,08	2,14 ± 0,11	0,08	
IC j111-Abattage, g/g	2,65 ± 0,16	2,59 ± 0,10	2,59 ± 0,11	2,67 ± 0,14	0,09	
IC j68-Abattage, g/g	2,46 ± 0,10	2,41 ± 0,08	2,42 ± 0,06	2,44 ± 0,12	0,06	Str <sup>+</sup>
Poids de carcasse, kg	93,2 ± 2,5	95,0 ± 2,0	94,4 ± 2,5	93,8 ± 2,0	1,7	Str*
TMP, %	61,5 ± 0,6	61,5 ± 0,9	62,0 ± 0,7	61,0 ± 0,7	0,7	S*

<sup>1</sup>CMJ : consommation moyenne journalière ; GMQ : gain moyen quotidien ; IC : indice de consommation. TMP : taux de muscle des pièces <sup>2</sup>Modèle incluant les effets fixes de la Stratégie (Str), du Sexe (S), du PV des porcs à j68 et de leurs interactions. \* :  $P \leq 0,10$ , \* :  $P \leq 0,05$ , \*\* :  $P \leq 0,01$ . ETR : Écart-type résiduel.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Lagadec S., Roy H., Landrain P., Hassouna M., Lecuelle S., 2016. Effet d'une alimentation multiphase à bas taux protéique sur les performances, les rejets et les émissions gazeuses chez le porc à l'engraissement. Journées Rech. Porcine, 48, 165-170.
- Noblet J., Dourmad J.Y., Van Milgen J., 2016. Etat des lieux et perspective sur la nutrition du porc. Journées Rech. Porcine, 48, 85-96.
- Quiniou N., Mener T., Montagnon F., 2013. Effet de l'incorporation de l'aliment sous forme de farine ou de miette dans la soupe sur les performances du porc en croissance et ses caractéristiques de carcasse. Journées Rech. Porcine, 45, 205-206.

# La digestibilité du phosphore et celle du calcium sont améliorées par l'apport de phytases, et évoluent au cours de la phase de croissance du porc charcutier

Marion BOURNAZEL, Noémie LEMOINE, Elodie TERSIGUEL, David GUILLOU

miXscience, Campus Avril, CS 17228, 2 avenue de Ker Lann, 35172 Bruz, France

david.guillou@mixscience.eu

Avec la collaboration de Sophie CADIEU et du personnel de l'usine d'aliments et de la station Porcs d'EURONUTRITION

## Different phytase products improve phosphorus and calcium digestibilities, which change over time during pig's growing phase

Low digestibility of phosphorus (P) in plant feedstuffs and regulatory limits on P excretion explain the generalised use of microbial phytase in pig diets. A trial was performed to compare effects of 5 phytase products on dry matter (DM), calcium (Ca) and P digestibility in growing pigs. A total 36 castrated males (69 d old) were assigned to 1 out of 6 diets for a period of 37 days: a negative control (NC) or phytase A, B, C, D or E added to NC. Total tract apparent digestibility (TTAD) of DM, Ca and P were determined from faeces collected individually for 3 periods of 3 days, starting on days 6, 20 and 34. All phytases increased TTAD of Ca and P significantly compared to NC, but absolute value of TTAD decreased over time ( $P < 0.001$ ), with only a small effect on phytase ranking. Overall, highest P-ATTD was reached with product E, compared to products A, B and C, product D being intermediate. Despite decreased ATTD over time, digestible -P and -Ca intake increased with pig age, then tended to plateau, likely indicating that a requirement for absorbed minerals was met. Measuring ATTD allowed the effect of phytase products to be compared and gave insights into Ca and P requirements.

## INTRODUCTION

La faible digestibilité du phosphore (P) des matières premières végétales et la limitation des rejets ont justifié l'emploi généralisé de phytases microbiennes dans les aliments des porcs (Simons *et al.*, 1990). Le nombre de produits autorisés et disponibles sur le marché augmentant, les efforts de recherche se portent désormais sur leur comparaison à des doses variables (Gonçalves *et al.*, 2016) ou à l'approfondissement des modes d'action des différentes enzymes (Selle et Ravindran, 2008). Le mode d'action initial proposé pour la phytase étant l'augmentation de la digestibilité du P phytique, un essai de mesure de la digestibilité totale apparente (CUDA) de la matière sèche (MS), du P et du calcium (Ca) a été conduit, comparant cinq préparations commerciales de phytases.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et logement

Trente-six porcs mâles castrés issus du troupeau de la station Euronutrition (génétique : Libra\* × Maxter, Hypor France), âgés de 69 jours et pesant initialement 29,6 ( $\pm 1,6$ ) kg, étaient logés dans une salle spécialisée pour les essais de digestibilité. Les cases sont conçues pour loger deux porcs charcutiers, disposant chacun d'un nourrisseur et d'un abreuvoir individuels. Ces cases peuvent être individualisées pendant la durée nécessaire à la

collecte des fèces. Sous le caillebotis, une grille amovible permet de récolter les fèces sous chaque animal, sans les urines.

### 1.2. Aliments et alimentation

Six aliments ont été comparés. Un régime témoin (T-) a été composé à base de blé (50%), maïs (12%), orge (9%), son de blé (9%), tourteau de soja (7%) et de colza (7%). Ce régime contenait 9,70 MJ d'énergie nette, 0,85% lysine digestible iléale standardisée, 0,19% P digestible, 0,30% P phytique et 0,80% calcium. Le T- incluait un antifongique sur support de sépiolite. Sur cette base, un prémélange de phytase sur support remoulage, était incorporé à 1% en substitution à du blé dans le régime de base. Cinq préparations commerciales de phytase (A, B, C, D, E) ont été étudiées sur une base d'activités enzymatiques ajoutées théoriquement équivalentes : 500 unités étaient ajoutées pour les produits exprimés en FU, FTU, FYT, et 250 unités pour l'expression en OTU. Les aliments étaient produits sous forme granulée, les teneurs en phytase ajoutée étaient validées par une analyse de la farine puis du granulé de chaque aliment par un laboratoire du fournisseur de chaque produit (90 à 180% de recouvrement selon les produits et les méthodes d'analyse associés).

Les aliments étaient distribués selon un plan de rationnement progressif, commençant à 3,5% du poids vif et plafonnant à 2,80 kg/j, de façon à atteindre 4,5% du poids vif de sortie.



### 1.3. Mesures, prélèvements et analyses

#### 1.3.1. Schéma expérimental et conduite de l'essai

Les porcs étaient pesés individuellement à l'entrée et à la sortie de l'essai (69 et 106 j d'âge, respectivement). Ils recevaient un même aliment du début à la fin de l'essai. Les refus étaient récoltés tous les 2 jours, pesés et écartés. En cours d'essai, 3 périodes de 3 jours de collecte de fèces ont été planifiées, à partir des jours 6, 20 et 34.

#### 1.3.2. Analyses des aliments et des fèces

Les aliments étaient prélevés à la fabrication pour l'analyse de la MS, de l'insoluble chlorhydrique (iHCl, marqueur indigestible), du Ca et du P, pour les calculs de digestibilité, et de l'azote et du sodium pour la conformité des fabrications. Les fèces étaient récoltés partiellement, pendant 3 jours. Les fèces étaient pesées fraîches à la collecte, puis après 24h en étuve et broyage. Un aliquote du pool broyé était prélevé pour détermination au laboratoire de la MS, de l'iHCl, du Ca et du P.

#### 1.3.3. Calculs et analyses statistiques

Le CUDa des nutriments était calculé pour chaque porc et chaque collecte selon la formule suivante :

$$\text{CUDaX} = (1 - (X_{\text{fèces}} \div X_{\text{aliment}}) \times (i\text{HCl}_{\text{aliment}} \div i\text{HCl}_{\text{fèces}})) \times 100$$

où X : teneur en nutriment sur sec dans l'aliment ou les fèces

Les ingérés de P et de Ca digestibles étaient également calculés à partir des digestibilités et des consommations. Les données individuelles étaient analysées dans un modèle mixte d'analyse de la variance avec un effet du lot, un effet de la période, leur interaction et un effet aléatoire de l'individu.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Quatre phytases sur cinq ont augmenté le gain moyen quotidien (GMQ) par rapport au T- ( $P < 0,05$ , Tableau 1). En revanche, les cinq phytases ont augmenté la digestibilité du P ( $P < 0,001$ ) et du Ca ( $P < 0,001$ ), avec des différences selon les produits mais avec une hiérarchie similaire à chaque collecte. Ainsi, les CUDa du P et du Ca ont été augmentés jusqu'à 14,7 et 15,4 points, respectivement, avec la phytase E par rapport au T-. Au fur et à mesure des collectes, les CUDa du P et du Ca ont diminué ( $P < 0,001$ ), tandis que celle de la MS restait inchangée.

**Tableau 1** – Effet de cinq phytases commerciales sur la digestibilité du phosphore et du calcium chez le porc en croissance

	T-	+A	+B	+C	+D	+E	E.-T.	Signification statistique		
								Lot	Période	Lot x Période
n	6	6	6	6	6	6				
Poids final, kg	59,2	63,0	62,3	59,0	62,4	62,5	3,89	N.S.	n.a.	n.a.
GMQ, g	844 <sup>a</sup>	956 <sup>b</sup>	933 <sup>b</sup>	840 <sup>a</sup>	938 <sup>b</sup>	940 <sup>b</sup>	89,1	0,027	n.a.	n.a.
CMJ, kg	1,89	2,06	2,03	1,86	2,02	2,02	0,233	N.S.	n.a.	n.a.
IC, g:g	2,26	2,16	2,17	2,21	2,16	2,17	0,240	N.S.	n.a.	n.a.
CUDa MS %	85,2 <sup>ab</sup>	84,9 <sup>ab</sup>	86,3 <sup>ab</sup>	84,3 <sup>a</sup>	85,2 <sup>ab</sup>	87,2 <sup>b</sup>	1,58	<0,001	N.S.	N.S.
CUDa P %	54,7 <sup>a</sup>	63,8 <sup>b</sup>	66,7 <sup>bc</sup>	63,3 <sup>b</sup>	64,3 <sup>b</sup>	69,4 <sup>c</sup>	6,20	<0,001	<0,001	N.S.
CUDa Ca %	54,4 <sup>a</sup>	61,6 <sup>ab</sup>	66,7 <sup>bc</sup>	60,1 <sup>ab</sup>	65,3 <sup>bc</sup>	69,8 <sup>c</sup>	7,41	<0,001	<0,001	0,041

<sup>a, b, c</sup> des exposants différents indiquent des écarts significatifs ; E.-T., écart-type ; N.S., non significatif ( $P > 0,05$ ) ; n.a. : non appliqué

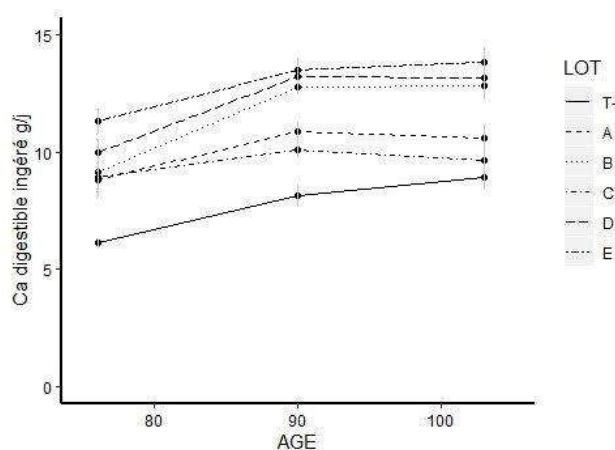
Malgré ceci, les quantités de Ca et P digestibles ingérés augmentaient fortement entre les deux premières collectes, puis moins sensiblement à la troisième collecte (Figure 1, exemple du Ca). Il est probable que la baisse de digestibilité du P et du Ca, observée entre les deux premières collectes, soit la conséquence d'une durée d'adaptation trop courte aux aliments, et qu'elle dépende des apports alimentaires de la période antérieure (Jongbloed, 1987). En revanche, la quasi-absence d'écart entre les deux dernières collectes pourrait indiquer une limitation de l'absorption intestinale, en relation avec la couverture des besoins nutritionnels. Les écarts de GMQ, quant à eux, pourraient représenter des effets des phytases sur d'autres nutriments que les minéraux majeurs (Selle et Ravindran, 2008) ou refléter un moindre coût métabolique de la gestion d'un excès minéral.

## CONCLUSION

La mesure de CUDa a donc permis de différencier les phytases, en les hiérarchisant sur différents critères de réponse, et pourrait préciser les besoins en P et en Ca du porc en croissance.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gonçalves M.A.D., Dritz S.S., Tokach M.D., DeRouchey J.M., Woodworth J.C., Goodband R.D., 2016. Fact sheets – comparing phytase sources for pigs and effects of superdosing phytase on growth performance of nursery and finishing pigs. J. Swine Health Prod. 24, 97-101.
- Jongbloed A.W., 1987. Phosphorus in the feeding of pigs: effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing pigs. Rapport IVVO nr.179, Lelystad. XVI, 343 p.
- Selle P.H., Ravindran V., 2008. Phytate-degrading enzymes in pig nutrition. Livest. Sci. 113, 99-122.
- Simons P.C.M., Versteeg, H.A.J., Jongbloed A.W., Kemme P.A., Slump P., Bos K.D., Wolters M.G.E., Beudeker R.F., Verschoor G.J., 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. Br. J. Nutr. 64, 525-540.



**Figure 1** – Effet des phytases sur l'ingestion de calcium digestible en fonction de l'âge

# Caractéristiques du transport électrogénique du glucose dans l'intestin grêle des porcs à l'engraissement

Marco TRETOLA et Paolo SILACCI

Agroscope, Posieux, Suisse

marco.tretola@agroscope.admin.ch

## Electrogenic glucose transport characteristics in the small intestine of finishing pigs

Several studies demonstrated that in pigs, the jejunum is the segment of the small intestine in which the most Na<sup>2+</sup>-dependent glucose transport occurs, probably due to greater expression of Na<sup>2+</sup>-dependent glucose co-transporter 1 (SGLT1) protein there than in other intestinal segments. However, the efficiency of intestinal glucose uptake in the jejunum and ileum has yet to be deeply investigated. The present study investigated the glucose absorption capacity of the jejunum and ileum segments of finishing pigs. Short-circuit currents (I<sub>sc</sub>) and trans-epithelial resistance (TEER) were studied in jejunum and ileum segments obtained from 100 kg Swiss Large White pigs and mounted in Ussing chambers in the presence of 5 mmol/l of D-Glucose (Glu). In parallel, the expression of SGLT1 protein was assessed. Glucose uptake was higher ( $P = 0.002$ ) in the ileum than in the jejunum, as indicated by the glucose-uptake-derived I<sub>sc</sub> values (17.2 and 4.59  $\mu$ A, respectively), while no differences ( $P > 0.05$ ) in TEER values were observed. Despite the difference in glucose uptake, no difference ( $P > 0.05$ ) in SGLT1 protein expression were found between the two segments. Similar results were found in weaned piglets, in which more efficient ileal glucose absorption did not correspond to greater SGLT1 protein expression. For this reason, further investigations of a potential difference in regulation of SGLT1 activity between the two intestinal segments are needed.

## INTRODUCTION

L'absorption des nutriments et des minéraux est une fonction majeure de l'intestin grêle chez les animaux monogastriques et les humains. L'absorption intestinale nécessite une interaction équilibrée entre les capteurs, les transporteurs épithéliaux et les canaux ioniques. Le transport du glucose, de la lumière intestinale vers la circulation sanguine, en est un exemple classique. Le co-transporteur de glucose électrogène sodium-dépendant 1 (SGLT1) est le principal médiateur de l'absorption du glucose (Balen *et al.*, 2008) et son abondance apicale est rapidement modifiée et adaptée aux besoins réels de transport (Moran *et al.*, 2010). Les niveaux de base de SGLT1 varient le long de l'intestin grêle et il a été démontré que l'expression protéique de SGLT1 était plus élevée dans le jéjunum de porc que dans leur iléum (Moran *et al.*, 2010). En ce qui concerne ces résultats chez les porcs et d'autres espèces, la plupart des études sur le transport du glucose se sont concentrées sur les tissus jéjunaux qui sont considérés comme le site principal d'absorption du glucose. Cependant, une autre étude sur des porcelets sevrés de différentes races a révélé que l'expression de SGLT1 étaient significativement plus élevées dans l'iléon porcin que dans leur jéjunum (von Heimendahl *et al.*, 2010). Sur la base de ces données, le but de la présente étude était de caractériser plus en détail le transport du glucose jéjunal et iléal chez les porcs en engraissement par une étude d'absorption à travers des mesures électro physiologiques et des analyses d'expression de protéines. Les études futures se concentreront sur l'activité SGLT1 pour compléter les résultats.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. Évaluation du transport du D-Glucose par les chambres d'Ussing dans le jéjunum et l'iléon de porc

Douze porcs femelles Swiss Large White hébergés dans les animaleries d'Agroscope et élevés dans des conditions standard, ont été utilisés. Les animaux ont été abattus à l'âge de 171 ( $\pm 2,8$ ) jours à l'abattoir de la station de recherche après avoir été à jeun pendant environ 15 h, selon les procédures du Comité fédéral suisse. Deux échantillons de tissus jéjunaux à partir du troisième mètre en aval du pylore et deux échantillons iléaux juste avant la valve iléo-caecale par animal ont été montés dans des chambres d'Ussing (Physiologic Instruments, San Diego, États-Unis). Après la période de stabilisation, 10 mmol/l de D-glucose ont été ajoutés au tampon muqueux et du D-mannitol équimolaire a été ajouté du côté séreux. Le transport actif total à travers le tissu a été vérifié en surveillant le changement de courant de court-circuit ( $\Delta I_{sc}$ ). La résistance trans-épithéliale (TEER) a également été mesurée à des intervalles de 2 min dans des conditions de blocage de courant.

### 1.2. Expression de la protéine de transport du glucose

Les segments de jéjunum et d'iléon obtenus à partir d'un total de quatre porcs ont été lysés dans une solution CelLytic MT (Sigma-Aldrich Chemie) complétée par des inhibiteurs de protéase. Après centrifugation à 12 000 g à 4°C pendant 10 min, la concentration en protéines a été déterminée. Quinze microgrammes d'extraits protéiques totaux ont été dénaturés à

95°C pendant 5 min, puis séparés sur un gel SDS-PAGE à 7 %. Les protéines ont ensuite été transférées sur une membrane de difluorure de polyvinylidène Western Bright (Witec) à 90 V pendant 90 min. Les membranes ont été bloquées pendant 60 min à température ambiante avec 5 % d'albumine de sérum bovine. L'anticorps primaire anti-SGLT1 (ab14686, Abcam) dilué à 1:500 et l'anti-vinculine (V4505, Sigma-Aldrich) dilué à 1:3000 ont été utilisés pour incuber les membranes à 4°C pendant une nuit. Pour l'anticorps primaire SGLT1, l'anticorps secondaire était de chèvre anti-IgG de lapin (A9169, Sigma-Aldrich) dilué à 1:1000 dans 0,1 % de Tween 20, dans du PBS contenant 5 % de poudre de lait, tandis que chèvre-anti-IgG de souris (DC02L, Merck) dilué à 1:3000 dans le même tampon a été utilisé comme anticorps secondaire pour la vinculine.

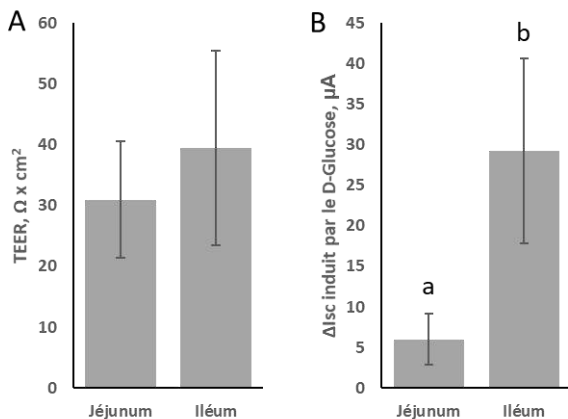
### 1.3. Analyse des données et statistiques

Les données ont été traitées avec le programme IBM SPSS Statistics, version 24, testées pour la normalité à l'aide du test de Shapiro-Wilk et analysées à l'aide d'une ANOVA. L'analyse statistique des expériences en chambre d'Ussing a été réalisée avec le test non paramétrique de Mann-Whitney U, car les données n'étaient pas normalement distribuées. Les données ont été testées avec un modèle linéaire mixte dans lequel le porc était considéré comme un effet aléatoire et calculé à l'aide de la correction de Bonferroni. Les différences entre les tissus ont été considérées comme significatives à  $P < 0,05$ .

## 2. RESULTATS

### 2.1. Absorption jéjunale et iléale de D-Glucose

Le test effectué par le système des chambres d'Ussing a démontré que la résistance trans-épithéliale est similaire ( $P > 0,05$ ) dans le jéjunum et l'iléon, mais des différences ( $P < 0,05$ ) dans l'absorption du D-glucose ont été trouvées (Figure 1A, B).

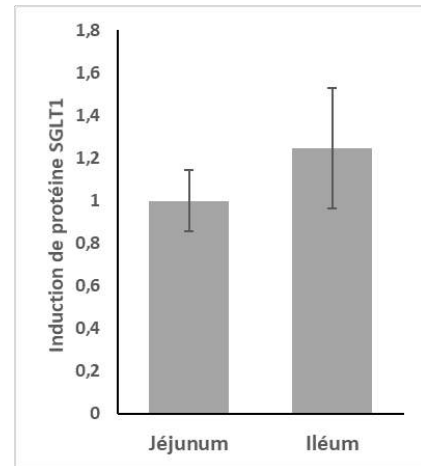


**Figure 1** – A) Résistance transépithéliale (TEER) et B) ΔIsc induite par le D-glucose (μA) dans le jéjunum et l'iléon de porcs en engraissement

Les valeurs sont des moyennes avec leurs écarts types. Des lettres différentes indiquent une valeur  $P < 0,05$ .

### 2.2. Expression protéique de SGLT1

Malgré les différences d'absorption active de D-glucose observées par des expériences en chambres d'Ussing, l'expression protéique du transporteur SGLT1 était similaire ( $P > 0,05$ ) dans les tissus de l'iléon et du jéjunum (Figure 2).



**Figure 2** – Expression de la protéine SGLT1 dans le jéjunum et l'iléum de porcs en engraissement

Les données sont des moyennes avec leurs écarts types.

## CONCLUSION

Cette étude réalisée sur des porcs en engraissement a confirmé ce qui a déjà été trouvé chez des porcelets sevrés concernant le transport électrogénique du glucose dans le jéjunum moyen et l'iléon. Nous avons constaté que l'iléon est capable de transporter le glucose avec une efficacité supérieure par rapport au jéjunum. La raison pourrait être d'absorber le glucose résiduel à de faibles concentrations avant de rivaliser avec les bactéries du gros intestin. Cependant, les mécanismes sous-jacents restent inconnus. D'autres investigations seront menées pour clarifier ces aspects. La compréhension des différences concernant la capacité de transport du glucose médié par le SGLT1 pourrait influencer l'efficacité de l'administration orale de médicaments avec une application à la fois en physiologie humaine et animale.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Moran A.W., Al-Rammahi M.A., Arora D.K., Batchelor D.J., Coulter E.A., Ionescu C., Bravo D., Shirazi-Beechey S.P., 2010. Expression of Na<sup>+</sup>/glucose co-transporter 1 (SGLT1) in the intestine of piglets weaned to different concentrations of dietary carbohydrate. *Br. J. Nutr.* 104, 647–655.
- Balen D., Ljubojevic M., Breljak D., Brzica H., Zlender V., Koepsell H., Sabolic I., 2008. Revised immunolocalization of the Na<sup>+</sup>-D-glucose cotransporter SGLT1 in rat organs with an improved antibody. *Am. J. Physiol. Cell. Physiol.* 295, C475–C489.
- Von Heimendahl E., Breves G., Abel H., 2010. Fiber-related digestive processes in three different breeds of pigs. *J. Anim. Sci.* 88, 972–981.

# Dynamique de déplétion et de réplétion des réserves minérales dans les os individuels et les régions osseuses des cochettes nourries avec différents niveaux de phosphore et calcium

Piterson FLORADIN (1, 2), Candido POMAR (3), Marie-Pierre LÉTOURNEAU-MONTMINY (2) et Patrick SCHLEGEL (1)

(1) Agroscope, Groupe Recherche Porcine, 1725 Posieux, Suisse

(2) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, QC, J1V 0A6, Canada

(3) Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sherbrooke, QC, J1M 1Z3, Canada

[piterson.floradin.1@ulaval.ca](mailto:piterson.floradin.1@ulaval.ca)

## Depletion and repletion dynamics of individual and regional bone-mineral reserves in replacement gilts fed different levels of dietary phosphorus and calcium

The aim of this study was to evaluate the ability of replacement gilts to compensate, before their insemination, bone-mineralization deficit in individual bones or bone regions that resulted from low dietary phosphorus (P) and calcium (Ca) supply during the fattening period. A total of 24 gilts were fed according to a two-phase feeding program (60-95 and 95-140 kg BW, respectively), corresponding to the period of depletion and repletion in Ca and P, respectively. During the depletion period, the gilts were fed *ad libitum* a finisher diet providing either 100% or 60% of the estimated P requirement (D100 with 2.1 g and D60 with 1.2 g digestible P/kg, respectively). During the repletion period, half of the gilts from each finisher diet were randomly assigned to either a restrictively fed control or a high-P diet (R100 with 2.1 g and R160 with 3.5 g digestible P/kg, respectively) according to a 2 × 2 factorial design, resulting in four treatments: D60-R100, D60-R160, D100-R100 and D100-R160. Bone mineral content (BMC) in the entire body, individual bones (femur and spine lumbar L2-L4), and bone regions (front legs and hind legs) were measured in each gilt at two-week intervals using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). After 2 weeks, gilts fed D60 had lower BMC in the entire body, all individual bones and bone regions than those fed D100 ( $P < 0.001$ ). The spine lumbar L2-L4 lost more BMC (- 17%;  $P < 0.001$ ) than the other sites, which decreased by 7% in the hind legs ( $P = 0.001$ ), 9% in the femur ( $P = 0.002$ ) and 10% in the head and trunk ( $P = 0.043$  and  $P = 0.006$ ). At the end of the repletion period, all sites studied had similar BMC. In D60 gilts, recovery was reached 2 ( $P < 0.001$ ) and 4 weeks ( $P < 0.001$ ) after the depletion period when fed the R160 and R100 diets, respectively. These results show that replacement gilts can regain mineral deficits in all individual bones and bone regions.

## INTRODUCTION

La capacité des porcs à compenser complètement d'un déficit de minéralisation osseuse survenu pendant la période de croissance-finition a été montrée à plusieurs reprises (Gonzalo, 2017 ; Lautrou *et al.*, 2021). Ceci représente un levier d'intérêt pour limiter l'utilisation des phosphates et réduire l'impact environnemental associé aux rejets de phosphore (P), sans altérer leur performance de croissance et la minéralisation osseuse. Considérant que la croissance et la réponse osseuse diffèrent d'un os à l'autre, cette étude a été réalisée afin de tester l'hypothèse que la récupération de la minéralisation osseuse après un déficit minéral (déplétion) chez les cochettes est complète dans tous les os individuels ou les régions osseuses lorsqu'elles sont nourries avec des niveaux adéquats par la suite (réplétion).

### 1. MATERIEL ET METHODES

#### 1.1. Animaux et régimes expérimentaux

Un total de 24 cochettes ont été logées groupe et nourries selon un programme alimentaire en deux phases (55-95 kg et 95-

140 kg) dites de déplétion et de réplétion, respectivement. Le régime expérimental pour la phase de déplétion (D) était carencé (D60 ; 1,2 g de P digestible/kg) couvrant environ 60% des besoins en P et calcium (Ca) ou non carencé (D100 ; 2,1 g de P digestible/kg) apportant 100% des besoins pour des porcs en engraissement. Pendant la phase de réplétion (R), la moitié des cochettes qui recevaient chaque régime D a été assignée au hasard à un régime témoin (R100 ; 2,1 g de P digestible/kg) ou à un régime riche en P apportant 160% des besoins de porcs en engraissement (R160 ; 3,5 g de P digestible/kg) selon un dispositif factoriel 2 x 2, résultant en quatre traitements : D60-R100, D60-R160, D100-R100 et D100-R160. Les cochettes ont été alimentées *ad libitum* pendant la première phase, mais de manière restrictive pendant la seconde phase pour limiter la croissance à environ 700 g/j, tel que recommandé jusqu'à la 1ère saillie (Kraeling *et al.*, 2020).

#### 1.2 Mesures et analyses statistiques

Le contenu minéral osseux (CMO) du corps entier, des os individuels (fémur et vertèbres lombaires L2-L4) et des régions

osseuses (pattes avant et pattes arrière,) a été mesuré toutes les 2 semaines par absorptiométrie biphotonique à double rayons X (i-DXA, GE Medical Systems, Glattbrugg, Suisse). Les données ont été analysées sous forme d'un bloc complet randomisé avec PROC MIXED du logiciel SAS.

## 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Après 2 semaines et jusqu'à la fin de la déplétion, les cochettes D60 présentaient un CMO plus faible que les D100 indépendamment de l'os (Figure 1a ;  $P < 0,01$ ). Cependant, l'ampleur de la déminéralisation osseuse différait entre les os étudiés. En effet, les vertèbres L2-L4 ont montré la plus grande réduction du CMO (Figure 1d ; -17% ;  $P < 0,01$ ) par rapport aux pattes avant (Figure 1b ; -8% ;  $P = 0,001$ ), pattes arrière (Figure 1c ; -7% ;  $P = 0,001$ ) et fémur (Figure 1e ; -9% ;  $P = 0,002$ ). Nos résultats sont conformes à ceux de Gonzalo *et al.* (2018) qui ont montré qu'une déplétion en Ca et dP entraînait une réduction du CMO plus prononcée dans les vertèbres (-46%) que dans le corps entier (-34%) et le fémur (-7%). Ces résultats indiquent que les vertèbres L2-L4 sont plus sensibles aux apports phosphocalciques ce qui est probablement dû au fait que les os des vertèbres contiennent une plus grande proportion d'os trabéculaire que d'os cortical (Kim et Park, 2013).

### 2.1. Effet de la réplétion sur les os individuels et les régions osseuses

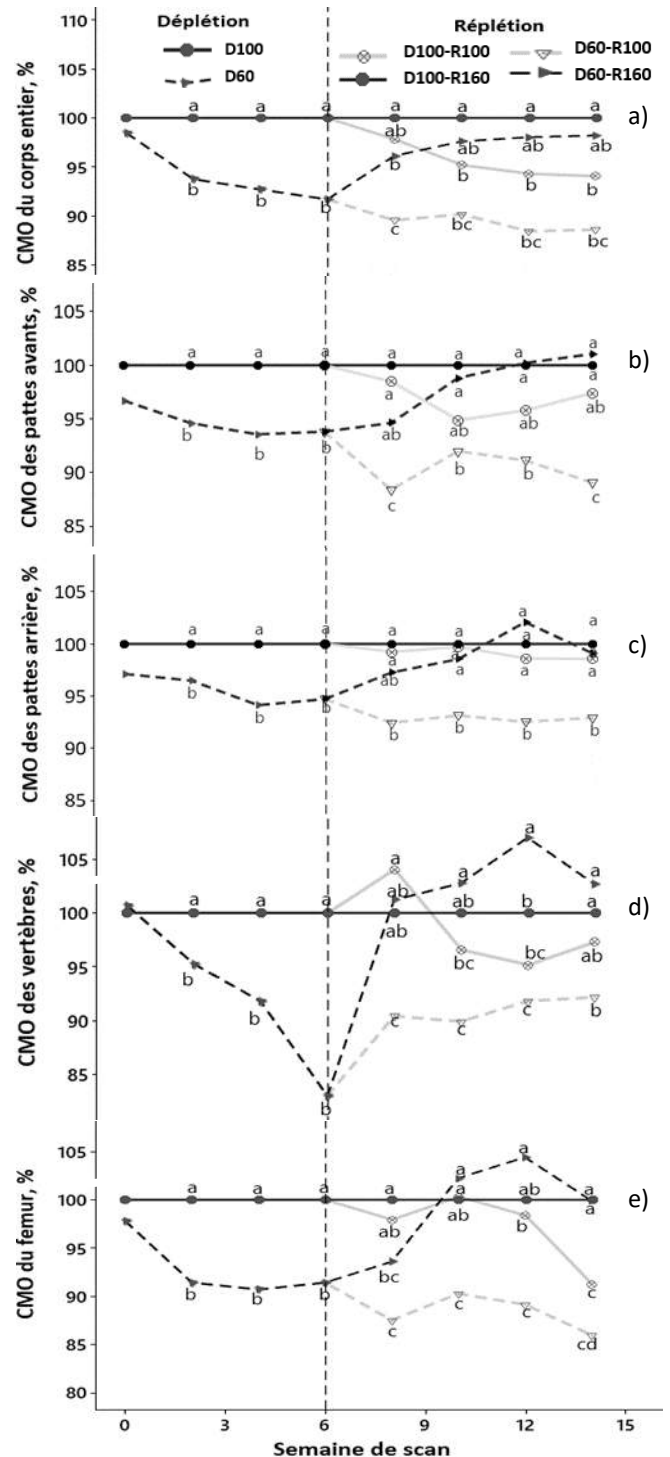
À l'issue de la réplétion, le CMO de tous les sites étudiés était similaire. Chez les cochettes D60, le rattrapage est réalisé 2 ( $P < 0,001$ ) et 4 semaines ( $P < 0,001$ ) après le début de la période de déplétion lorsqu'elles ont reçu R160 (D60-R160, D100-R160) et R100 (D60-R160, D100-R160), respectivement. Ces résultats confirment la capacité des cochettes à compenser le déficit minéral osseux dans tous les os avant la première saillie lorsqu'elles reçoivent un régime adéquat en Ca et P dès 95 kg de poids vif. Il est intéressant de noter, qu'après 6 semaines, les cochettes D60-R160 ont pu pleinement compenser voire même avoir un CMO des vertèbres ( $P = 0,040$ ) et du fémur plus élevé que les D100 ( $P = 0,03$ ). Ce qui indique une efficacité de compensation plus marquée dans ces deux os. Enfin, les résultats montrent aussi un CMO plus élevé dans tous les os individuels et les régions osseuses chez les cochettes R160 comparées à celles R100 à l'issue de la réplétion.

## CONCLUSION

Une diminution de la minéralisation dans tous les os, mais plus marquée dans les vertèbres, a été observée lorsque les cochettes étaient nourries à 60% de leurs besoins en Ca et P jusqu'à 95 kg de PV. Bien que le degré de déminéralisation osseuse ait été variable sur l'ensemble du squelette, la compensation dans tous les os ou régions osseuses individuelles a été réussie après 4 à 6 semaines de réplétion lorsque les cochettes ont été nourries à 100% ou 160% des besoins de 95 à 140 kg de poids corporel.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gonzalo E., 2017. Consequences of a dietary phosphorus and calcium depletion and repletion strategy in growing-finishing pigs. Thèse de Doctorat, Université Laval, Québec, Canada, 176 p.
- Kim C., Park D., 2013. The effect of restriction of dietary calcium on trabecular and cortical bone mineral density in the rats. *J. Exercice Nutr. Biochem.*, 17(4), 123-131.
- Kraeling R.R., Webel S.K., 2015. Current strategies for reproductive management of gilts and sows in North America. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 6(1), 1-14.



**Figure 1** - Contenu minéral osseux (CMO) des os individuels et des régions osseuses selon le lot<sup>1</sup>, exprimé en % par rapport au lot D100 ou D100-R160.

<sup>1</sup>D100 : régime 55-95 kg témoin non carencé ; D60 : régime 55-95 kg carencé en Ca et dP ; R100 : régime 95-140 kg témoin non carencé ; R160 : régime 95-140 kg en excès en Ca et dP.

Les lettres différentes traduisent un écart significatif au seuil de 5%.

# La fabrication d'aliment à la ferme dans les élevages porcins bretons : résultats d'une enquête descriptive

Constance DRIQUE (1), Marie-Lou BERNARD (2), Catherine CALVAR (1)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Avenue Borgnis Desbordes, 56009 Vannes Cedex, France

(2) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Rond Point Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex, France

[constance.drique@bretagne.chambagri.fr](mailto:constance.drique@bretagne.chambagri.fr)

Avec la collaboration d'Yves AUFFRET, Remi BERTHEVAS, Solène LAUNAY, Odile LE BARS, Adrien PENSIVY

## On-farm feed manufacturing on swine farms in Brittany: results of a descriptive survey

Many pig farmers invest in on-farm feed manufacturing to obtain more control over feed costs and address volatility in feedstock prices better. In Brittany (France), 55% of pig farms manufacture at least some of their feed. In total, 85 pig farms that manufactured their own feed were surveyed to describe their on-farm feed mills. Two types of mills were identified: those which buy meal and minerals and those which buy supplemental feeds. Survey questions focused on farmers' motivations, their estimates of their savings in feed costs, the types of feeds manufactured, feedstock and its supply, completed building improvements and future investment projects. The first motive for manufacturing feed on-farm is the savings in feed costs. Overall, 95% of pig farmers estimated that they saved more than 10 €/t of feed. All farmers who bought meals and minerals produced their own feed for fattening pigs and sows. All farmers who bought supplementary feeds produced their own feed for fattening pigs from cereals and supplementary feeds, and 60% of them used supplementary feeds to manufacture at least two different feeds. Nearly all cereals used were produced on-farm or bought from neighbours. Overall, 71% of farmers with an investment project had at least one investment planned for the on-farm feed mill. These investment projects involved the receipt and storage of feedstock, as well as the mill's core manufacturing process.

## INTRODUCTION

Face à la volatilité des prix des céréales et des protéines végétales liée à une demande mondiale en hausse, et du prix du porc, de nombreux éleveurs de porcs ont décidé, depuis des années, d'investir dans la fabrication d'aliment à la ferme (FAF). Cette pratique leur permet de contrôler davantage leur coût alimentaire et, pour certains d'entre eux, de valoriser leurs céréales. D'après les résultats GTE de 2015 (IFIP, 2015), 55% des élevages bretons fabriquaient au moins une partie de leur aliment à la ferme. Les types de fabrication sont très variés, allant de la simple utilisation d'un aliment complémentaire jusqu'à la fabrication d'un aliment complet avec incorporation d'acides aminés, en passant par des fabrications sèches ou humides. Cependant les études sur la FAF sont rares. L'objectif de cette étude est de réaliser un état des lieux des FAF en Bretagne afin de mieux les caractériser (types d'aliments, de matières premières...), d'identifier les motivations des éleveurs « fafeurs » et de savoir si la FAF suscite des projets d'investissements dans les élevages porcins.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Enquête électronique auprès des éleveurs fafeurs

Une enquête électronique a été diffusée par mail et newsletters via la Chambre d'Agriculture de Bretagne et les techniciens d'organisations de producteurs (OP) impliqués dans le projet, auprès de leurs adhérents fabriquant l'aliment à la ferme.

Le nombre de sites porcins ayant bien reçu l'enquête n'est pas connu. Les questions portent sur les motivations des « fafeurs », les aliments fabriqués, les matières premières utilisées et leur approvisionnement, les économies estimées, les rénovations et leurs projets d'investissement autour de leur FAF. Aucune question de l'enquête n'étant obligatoire, le nombre de réponses varie selon les questions et est spécifié pour chaque résultat présenté dans l'article.

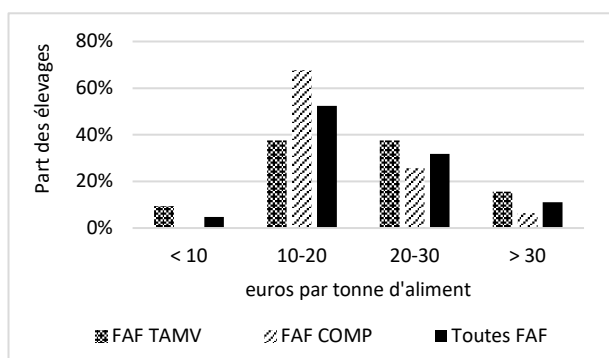
### 1.2. Description de l'échantillon des répondants

Au total, 85 éleveurs porcins bretons, fabriquant de l'aliment à la ferme, ont répondu à l'enquête. Le Finistère est surreprésenté avec 50 réponses, ce qui peut être dû à la présence de certaines OP plus ancrées dans ce département. Parmi les 85 réponses, 75 concernent des élevages naisseurs-engraisseurs, neuf des post-sevreurs-engraisseurs et un est engraisseur. Les naisseurs-engraisseurs (NE) comptent 333 truies en moyenne, avec une productivité moyenne de 25,6 porcs par truie présente par an. Les post-sevreurs-engraisseurs (PSE) ont produit 5 980 porcs charcutiers en 2019 en moyenne, avec des volumes très variables (min : 2 100 porcs, max : 13 000). L'engraisseur (E) a produit 2 200 porcs dans l'année. L'enquête distingue deux types de fabrication d'aliments à la ferme : 49% des élevages enquêtés pratiquent la FAF avec achats de complémentaires (FAF COMP) et 51% des élevages la FAF avec achats de tourteaux et aliments minéraux vitaminés (TAMV).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 2.1. Economiser sur le coût alimentaire

Pour 68% des éleveurs sondés, la première des motivations pour fabriquer leur aliment est d'économiser sur le coût alimentaire. Vient ensuite la volonté de valoriser les matières premières de l'exploitation. Un résultat en accord avec celui de l'enquête menée par Roy *et al.* (2016) auprès de 28 élevages avec FAF dont les premières motivations à la mise en place de la FAF étaient la réduction du coût alimentaire et la valorisation des céréales produites. Plus précisément, 95% des éleveurs enquêtés pensent réaliser plus de 10 euros d'économie par tonne d'aliment : 10 à 20 euros et plus de 20 euros pour 52% et 43% des répondants respectivement. Le montant des économies estimées par les éleveurs dépend de leur type de FAF : 54% des éleveurs possédant une FAF TAMV évaluent leur économie à plus de 20 euros par tonne d'aliment contre 32% des détenteurs de FAF COMP ; les FAF TAMV pouvant davantage contrôler les prix d'achats de chaque matière première (Figure 1).



Nombre de réponses : 31 pour les FAF TAMV, 32 pour les FAF COMP

**Figure 1** - Economies estimées par tonne d'aliment par les éleveurs selon leur type de FAF

### 2.2. Aliments fabriqués

Les élevages avec FAF TAMV fabriquent tous les aliments pour les porcs charcutiers et les truies gestantes et allaitantes, et 96% d'entre eux fabriquent au moins en partie l'aliment 2ème âge, plus contraignant à fabriquer (n = 26). Les élevages avec FAF COMP fabriquent tous les aliments pour les porcs charcutiers à partir de céréales, produites ou achetées, et d'un aliment complémentaire qui représente en moyenne 28% de la formule. (n = 30). Parmi les élevages avec FAF COMP, 40% des éleveurs fabriquent les aliments uniquement pour l'engraissement, souvent associé à une alimentation en soupe, et achètent le reste sous forme d'aliment complet.

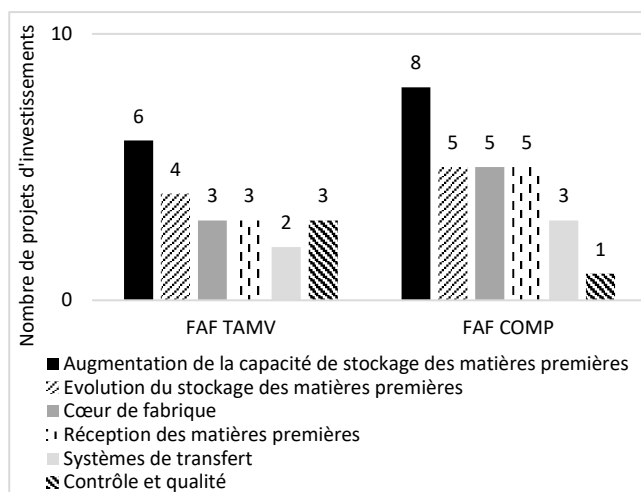
### 2.3. Approvisionnement local en céréales

Les éleveurs fabriquant leur aliment ont un lien au territoire très important, notamment en termes d'approvisionnement en céréales. En moyenne, 87% et 92% de l'approvisionnement en

mais des FAF TAMV et COMP respectivement est « très local », constitué de leur propre récolte et/ou d'achats auprès de leurs voisins. L'approvisionnement en autres céréales est aussi « très local » à 95% et 86% pour les FAF TAMV et COMP respectivement.

### 2.4. Les projets d'investissements autour de la FAF

Plus de la moitié (56%) des éleveurs (n = 31/55) ont au moins un projet d'investissement pour leur élevage dans les cinq ans à venir. Parmi eux, 23 éleveurs ont au moins un projet d'investissement sur leur élevage qui ne concerne pas la FAF et 22 éleveurs ont au moins un projet qui concerne la FAF. Au total, 48 projets autour de la FAF ont été annoncés : en premier lieu des évolutions sur les capacités de stockage et les modes de stockage des matières premières pour les deux types de FAF. Les « fafeurs » COMP ont plus de projets, notamment autour du stockage et de la réception des matières premières, et du cœur de fabrique. Ceci peut traduire, pour certains éleveurs, une volonté d'évoluer d'une FAF COMP à une FAF TAMV (Figure 2).



**Figure 2** - Projets d'investissements autour de la FAF

## CONCLUSION

Cette enquête illustre l'intérêt pour la FAF des éleveurs de porcs, en termes d'économie sur le coût alimentaire et de lien au sol et au territoire. Les nombreux projets d'investissements autour de la FAF semblent en attester avec quasiment autant d'élevages ayant des projets pour la FAF et pour l'élevage, dans un contexte où les attentes sociétales poussent les éleveurs à investir dans de nombreux domaines.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'animation de l'association régionale AIRFAF Bretagne, en partenariat avec cinq organisations de producteurs de porcs présents sur la région Bretagne : Eureden, Evel'Up, Por'élia, Porc Armor Evolution et Syproporcs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- IFIP, 2015. Résultats des élevages de porcs en Bretagne. Gestion Technico économique. 107 pages.
- Roy H., Calvar C., Maupertuis F., Bordes A., 2016. Lien au territoire et stratégies d'approvisionnement des éleveurs de porcs en FAF : lien au sol, assolement et type de FAF. Chambres d'agriculture de Bretagne. 4 pages.

# Des taux d'incorporation croissants de tourteaux d'oléagineux dans un aliment à base de blé affectent-ils la digestibilité des nutriments ?

Justine DANEL, Maxime TRAINEAU, Maria VILARIÑO

ARVALIS - Institut du végétal, 2 Pouline, 41100 Villerable, France

[j.danel@arvalis.fr](mailto:j.danel@arvalis.fr)

## Does increasing incorporation rates of oilseed meals in a wheat-based feed influence nutrient digestibility?

A faecal digestibility trial was performed with 12 growing pigs to assess whether increasing the incorporation rate of two oilseed meals, rapeseed meal (RSM) or fully decorticated sunflower meal (SFM), in wheat-based diets could influence the digestibility of nutrients. These two oilseed meals have high and close fibre contents (NDF). The same amount of meal is kept in all diets (RSM, SFM or mix). The experimental design consisted of six diets, with six replicates of one pig each. Five diets were formulated based on wheat (72%), meals (24%) and a mineral/vitamin mix (4%). A control diet (96% wheat + 4% mix) was fed to the pigs to measure the nutritional value of wheat. Five SFM/RSM rates were tested: 24%/0%, 18%/6%, 12%/12%, 6%/18% and 0%/24%. The digestibility of several nutrients (crude protein, NDF, organic matter (OM), energy) were assessed, and their value in the SFM/RSM mixture was calculated. Digestible OM and energy contents did not differ among the diets or the SFM/RSM mixtures ( $P>0,05$ ). Digestible NDF content was significantly higher in RSM than in SFM measured alone (+17%), but the opposite was observed for digestible protein content. The SFM/RSM mixtures had intermediate values that followed the incorporation rates. Under these conditions, incorporation rates do not seem to influence the digestibility of the oilseed meals. No interaction of these two meals with wheat was observed. The lack of interaction between RSM and wheat contrasts with previous results; thus, further research is necessary.

## INTRODUCTION

Les interactions entre céréales et tourteaux ont été étudiées dans des essais de digestibilité chez le porc au niveau fécal. Il a été observé que la présence de tourteau de colza (TC) réduisait la digestibilité des nutriments particulièrement lorsque la céréale majoritaire était le blé (Vilariño *et al.*, 2019), alors que cet effet n'était pas observé avec les tourteaux de soja ou de tournesol HiPro (TThp ; Danel *et al.*, 2020).

Un essai de digestibilité fécale a été réalisé chez le porc en croissance afin d'évaluer l'interaction entre TC et blé, avec différents taux d'incorporation. La notion d'additivité de l'utilisation des nutriments entre TC et TThp a également été évaluée. Ainsi du TThp est utilisé afin de garder un taux d'incorporation de tourteaux secondaires de 24% et un taux de fibres relativement similaire, les résultats antérieurs ne montrant pas d'interaction avec le blé (Danel *et al.*, 2020). À partir de l'aliment complémentaire, les valeurs de TC, de TThp et de leurs associations ont été calculées.

## 1. MATERIEL ET METHODES

L'essai a été réalisé à la station expérimentale d'ARVALIS - Institut du végétal de Villerable (41). Le protocole utilisé a été évalué favorablement par le Comité d'Ethique n°19 et autorisé par le MESR conformément à la Directive 2010/63/UE.

Le dispositif expérimental est de type carré latin incomplet, avec six aliments et six répétitions réparties sur trois séries de collecte. 12 porcs mâles castrés de type génétique Youna x (Piétrain x Large White) de 61,5 kg de poids vif moyen au moment des bilans sont utilisés. Les conditions d'hébergement et de collecte sont celles décrites par Vilariño *et al.* (2019).

Un aliment dit complémentaire contient 96% de blé et 4% d'un aliment minéral vitaminé. Dans cinq autres aliments, 24% de blé ont été substitués par des tourteaux dans des ratios variables (TThp/TC : 24%/0%, 18%/6%, 12%/12%, 6%/18% ; 0%/24%).

Les coefficients d'utilisation digestive (CUD) de la matière sèche (MS), de la matière organique (MO), de la matière azotée totale (MAT), du NDF (fibres insolubles dans le détergent neutre) et de l'énergie brute (EB) des aliments sont mesurés au niveau fécal (CUDf). Les CUDf des tourteaux sont calculés par différence à partir des résultats de l'aliment complémentaire. Les analyses sont réalisées avec le logiciel de traitements statistiques R (v. 3.4.3). Les données sont analysées par un modèle à effets mixtes avec en effets fixes la série et l'association de tourteaux incorporés dans l'aliment. L'interaction double est également prise en compte. L'animal est considéré en effet aléatoire.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les tourteaux évalués (TThp et TC) se caractérisent par des teneurs en MAT de 37,2 et 36,4% MS, en parois végétales



insolubles dans l'eau de 39,1 et 37,8% MS, en cellulose brute de 19,9 et 14,6% MS, en NDF de 30,9 et 35,8% MS, en ADF de 20,6 et 23,5% MS, en ADL de 6,1 et 12,3% MS et en EB de 4657 et 4636 kcal/kg MS.

Dans les conditions de cet essai, aucune interaction ni aucun effet de la série ne ressort comme étant significatif entre les aliments contenant des tourteaux, sur les différents critères présentés (Tableau 1). L'association de tourteaux (TThp/TC) a un effet ( $P < 0,05$ ) sur le CUDf de la MAT ainsi que sur le CUDf du NDF des aliments. Ainsi, le CUDf de la MAT de l'aliment avec 24TThp/OTC est significativement plus élevé que ceux des autres associations, OTThp/24TC ayant une valeur significativement plus faible. Ce résultat est cohérent avec les digestibilités décroissantes observées lorsque la part de TC augmente. Le CUDf NDF est plus élevé pour l'aliment avec l'association OTThp/24TC que pour 24TThp/OTC, les mélanges sont intermédiaires. Les autres critères ne diffèrent pas significativement quelle que soit l'association de tourteaux, ainsi les 24% d'un mélange TThp/TC incorporés dans un aliment à base de blé ont été valorisés de la même façon sur le plan énergétique (CUDf EB équivalents), pour toutes les proportions.

**Tableau 1** - Coefficients d'utilisation digestive des aliments issus des mesures de digestibilité fécale (CUDf, %) - moyennes ajustées

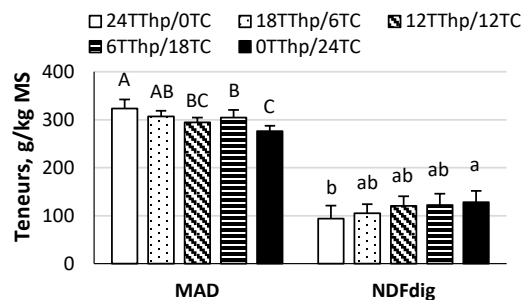
CUDf		MAT	MO	EB	NDF
Association TThp/TC	24TThp/OTC	79,8 <sup>a</sup>	82,2	79,0	44,1 <sup>b</sup>
	18TThp/6TC	78,5 <sup>ab</sup>	82,4	79,2	46,4 <sup>ab</sup>
	12TThp/12TC	77,5 <sup>bc</sup>	83,1	80,0	47,0 <sup>ab</sup>
	6TThp/18TC	76,9 <sup>bc</sup>	83,0	79,8	49,5 <sup>ab</sup>
	OTThp/24TC	75,5 <sup>c</sup>	82,9	79,6	50,9 <sup>a</sup>
Statistiques	ETR	0,8	0,6	0,8	1,4
	Tourteau	*	NS	NS	*
	Série	NS	NS	NS	NS
	TxS	NS	NS	NS	NS

TThp : tourteau de tournesol HiPro ; TC : tourteau de colza ; CUDf : coefficient d'utilisation digestive au niveau fécal ; MAT : matières azotées totales ; MO : matière organique ; EB : énergie brute ; NDF : fibres insolubles dans le détergent neutre ; ETR : écart-type résiduel ; T : tourteau ; S : série ; NS :  $P > 0,05$  ; \* :  $P < 0,05$ .

L'objectif était d'appréhender l'interaction entre TC et blé mais avec différents taux d'incorporation (6, 12, 18 et 24%). La valorisation énergétique équivalente des aliments peut s'expliquer de deux façons. Soit les porcs n'ont pas eu de réponse différentielle selon l'incorporation de TC dans un aliment base blé, et les TC et TThp utilisés ont des Edf similaires. Soit la valeur TC a été sous-estimée, car la valeur blé associée au TC a été dégradée par rapport à la valeur blé seul, et l'écart a été attribué au TC et non au blé avec cette méthode de calcul.

Les teneurs digestibles en MAT (MAD) et en NDF des associations TThp/TC sont présentées à la figure 1. La teneur en MAD du TThp (24TThp/OTC) est supérieure à celles des associations 12TThp/12TC et 6TThp/18TC, 18TThp/6TC étant intermédiaire. La teneur en MAD la plus faible est celle du TC

seul (OTThp/24TC). L'énergie digestible (ED) ne diffère pas significativement entre TC, TThp ou leurs associations (écart maximal de 148 kcal/kg MS).



**Figure 1** – Teneurs en matière azotée (MAD) et en NDF (NDFdig) digestibles au niveau fécal des associations TThp/TC  
a, b ou A, B, C : des lettres différentes indiquent des moyennes différentes (test de Tukey,  $P < 0,05$ ).

En ce qui concerne les teneurs en ED des TC et TThp, évalués seuls, nous remarquons que le TThp a une valeur d'EDf (2947 kcal/kg MS) proche (+42 kcal/kg MS) de celle obtenue par Danel *et al.* (2020), avec un TThp un peu plus riche en MAT (+3,1 points) et en NDF (+3,3 points), et de celle des Tables INRA-CIRAD-AFZ (-28 kcal/kg MS), avec une concentration en MAT supérieure (+3,2 points) et un NDF similaire (+0,5 point). La valeur mesurée semble donc assez cohérente.

La teneur en ED du TC (3032 kcal/kg MS) est inférieure à la valeur Tables INRA-CIRAD-AFZ (-138 kcal/kg MS) pour un TC avec une MAT plus élevée (+1,7 point) mais moins fibreux (-4,2 points de NDF). Cependant, elle est supérieure à celle obtenue par Vilariño *et al.* (2019) en présence de blé (2855 kcal/kg MS) avec un TC ayant une MAT similaire (+0,2 point) et moins de fibres (-1,7 point de NDF). En utilisant l'équation de prédiction de la digestibilité de l'énergie pour le TC chez le porc en croissance (Noblet *et al.*, 2003) et l'énergie brute mesurée, la valeur d'EDf prédite serait de 2976 kcal/kg MS, soit -56 kcal/kg MS que la valeur mesurée. La valeur obtenue semble donc cohérente avec le profil de TC testé. L'hypothèse d'une absence d'interaction entre TC et blé et ce quel que soit le taux d'incorporation semble être à retenir dans cet essai, en contradiction avec les résultats obtenus précédemment (Vilariño *et al.*, 2019). Ces divergences pourraient s'expliquer par des différences entre lots, dues au process, aux temps de stockage différents, ou des critères dans les TC que nous ne savons pas mesurer. Il est possible également que le dispositif de cet essai, avec du TThp en complément ne permette pas d'observer l'interaction.

## CONCLUSION

Dans cet essai, aucune interaction entre blé et TC ou TThp n'a été observée, quel que soit le taux d'incorporation. Le TC et le TThp avaient des Edf assez proches, les mélanges ont donc été valorisés de façon similaire sur le plan énergétique. Cependant, la MAT du TThp était mieux valorisée que celle du TC, alors que le NDF du TC semblait mieux digéré.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Danel J., Traineau M., Vilariño M., 2020. Interaction entre tourteaux et céréales sur la valorisation énergétique des aliments chez le porc en croissance. Journées Rech. Porcine, 52, 107-108.
- INRA CIRAD AFZ, 2017. Tables INRA-CIRAD-AFZ d'alimentation des animaux. <https://feedtables.com>.
- Noblet J., Bontems V., Tran G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. INRA Prod. Anim., 16 : 197-210.
- Vilariño M., Traineau M., Danel J., 2019. Digestibilité fécale de l'énergie : interaction tourteau de colza et céréales chez le porc en croissance. Journées Rech. Porcine, 51, 109-110.

# Introduction de légumineuses fourragères dans les assolements des exploitations porcines

## Conception et évaluation de la durabilité des systèmes

Constance DRIQUE (1), Catherine CALVAR (1), Aurélien DUPONT (2), Gaël GAUCHER (2)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Avenus Borgnis Desbordes, 560009 Vannes Cedex, France

(2) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, 1 place du petit Vally, 22200 Guingamp, France

### Introducing legume forages into crop rotation of pig farm: cropping-system design and assessment of their sustainability

Increasing protein self-sufficiency of pig farms in Brittany (France) is a way to reduce feed costs and reliance on imported soya bean. Introducing legume forages into pig feed could be one way to do so. Animal-production experiments have been performed, but overall results of pig farms must be measured, and from an agronomic viewpoint. In this study, new cropping systems were designed by introducing a forage legume, lucerne, depending on the type of pig farm. Different types of feed intake were evaluated: lucerne in wrapped, silage or pellet form was provided ad libitum, plus 5% rationed pig feed or 5% lucerne meal in the pig feed. Multi-criteria analysis of several scenarios of changes in crop rotations was performed using the tools CRITER and MASC, to assess economic, social and environmental results of these changes beyond the animal-production results. The results showed good consequences of introducing this long-term crop into cropping systems (less nitrogen fertiliser applied, better weed control). These results were balanced by poor environmental aspects (nitrogen leaching) or economic losses (the use of lucerne increases the feed cost). Economic losses were higher with dehydrated lucerne (pellets or meal) because of the dehydration process, especially for pig farms with a small surface area. The overall working time also increased, especially with wrapped lucerne or lucerne silage, due to the number of harvests.

## INTRODUCTION

L'amélioration de l'autonomie protéique des exploitations porcines est une voie explorée pour réduire les coûts alimentaires et la dépendance à l'importation de tourteaux d'oléagineux, notamment le soja OGM. L'impact de l'introduction de légumineuses fourragères (luzerne, trèfle...) dans les rations des porcs charcutiers sur les performances technico-économiques de l'atelier porcin a déjà fait l'objet d'études (Drique *et al.*, 2021 et 2022). Or l'introduction de légumineuses fourragères dans l'assolement des exploitations porcines pourrait aussi améliorer leurs performances agronomiques. L'objectif de cette étude a été de proposer de nouveaux systèmes de cultures intégrant des fourrages et de mesurer l'impact des changements induits sur les performances économiques, environnementales et sociales à l'échelle de l'exploitation porcine, en associant performances d'élevage et agronomiques.

## 1. MATERIEL ET METHODES

L'évaluation multicritère de l'introduction de fourrages dans les assolements des exploitations porcines est réalisée *ex ante*.

### 1.1. Typologie des exploitations

Trois typologies d'exploitations porcines bretonnes ont été établies à l'aide de la typologie INOSYS (Chambres d'Agriculture, 2015). Cette approche donne notamment accès aux types et aux tailles d'ateliers présents sur les exploitations

porcines et à leur SAU. L'assolement a, quant à lui, été construit à partir des surfaces en maïs grain, blé et orge identifiées dans l'étude de Ramonet *et al.* (2012). Les caractéristiques des différentes typologies d'exploitations porcines sont présentées dans le tableau 1.

### 1.2. Identification des scénarii et conception des nouveaux systèmes de cultures

Les tests d'incorporation de fourrages dans la ration des porcs charcutiers concernent l'introduction de luzerne sous 3 formes (ensilage, enrubannage ou déshydraté) associée à un rationnement de 5 % de l'aliment concentré, ou à de la farine de luzerne incorporée à 5 % dans l'aliment. Ces rations sont comparées à un système témoin avec une alimentation biphasé classique. Quatre choix ont guidés notre travail : (i) les exploitations sont supposées en zone tardive, définie en fonction des sommes de températures et de l'ensoleillement reçu par la zone (ii) les exploitations sont autonomes en fourrage (calcul à partir des données de consommation théorique transmises par des experts en alimentation porcine) (iii) les scénarii pour lesquels la surface nécessaire pour produire ces fourrages dépasse 55 % de la SAU allouée aux céréales ont été éliminés (iv) les prairies n'ont pas été prises en compte dans ce calcul, afin que l'atelier porcin ne concurrence pas les ateliers bovins dans les exploitations mixtes. Les nouveaux itinéraires techniques, tenant compte de l'introduction de ces fourrages et de leurs arrières-effets sur les autres cultures, ont ensuite été construits lors d'ateliers de co-conception.

**1.3. Evaluation des scénarii**

Les outils utilisés pour l'évaluation des systèmes de cultures intégrant les fourrages sont CRITER et MASC (Craheix *et al.*, 2011). Les données renseignées dans CRITER concernent les coûts d'utilisation des outils, fertilisants, phytosanitaires et cultures et les données pédologiques et climatiques. CRITER permet de calculer des indicateurs économiques, sociaux et environnementaux utilisables dans l'outil MASC. Les résultats présentés ici sont comparés à un témoin sans luzerne, pour chaque typologie, représentatif du type d'élevage et de l'assolement qui lui est associé.

**Tableau 1** – Typologies des exploitations porcines bretonnes

Elevages porcins	Spécialisés avec cultures (S+)	Spécialisés et peu de cultures (S-)	Mixtes avec bovins lait et/ou viande (M)
Nombre de truies <sup>1</sup>	229	195	140
Nombre de porcs <sup>2</sup>	5496	4680	3360
SAU <sup>1,3</sup>	79 Ha	21 Ha	75 Ha
Assolement <sup>4</sup> (hors SFP <sup>5</sup> )	Blé : 30 Ha Maïs : 32 Ha Orge : 7 Ha	Blé : 8 Ha Maïs : 8 Ha Orge : 2 Ha	Blé : 12 Ha Maïs : 12 Ha Orge : 8 Ha

<sup>1</sup>Données issues de la typologie INOSYS. <sup>2</sup>Données calculées en supposant une productivité de 24 porcs produits par truie par an. <sup>3</sup>SAU : Surface Agricole Utile. <sup>4</sup>Données issues de Ramonet *et al.* (2012). <sup>5</sup>Surfaces Fourragères Principales.

**2. RESULTATS****2.1. Durabilité économique****2.1.1 Introduction de luzerne (ensilage, enrubannage ou déshydraté) à volonté**

La dimension économique dépend en grande partie de la rentabilité. D'autres critères sont aussi pris en compte, comme la capacité productive à long-terme (structure du sol, maladies, ravageurs, ...) ou la qualité sanitaire des cultures. Quel que soit le système, le régime à base de granulés de luzerne dégrade la rentabilité par rapport au témoin. Le coût de production des fourrages est à l'origine de ce déclassement, avec un différentiel d'au moins 10 % du coût alimentaire. Ce coût vient s'ajouter à l'augmentation des coûts supplémentaires d'achat de céréales à l'extérieur, équivalent pour la plupart des scénarii. Une différenciation s'opère aussi entre les systèmes en lien avec la fréquence de retour de la luzernière dans la rotation : un délai plus court améliore l'indicateur de risque qualité des céréales. Aussi, un moindre surcoût de matériel est observé pour les élevages M qui produisent déjà des fourrages pour les bovins.

**Tableau 2** – Evaluations des scénarii d'introduction de fourrages dans les rations et les assolements des exploitations porcines.

Scénario	Evaluation économique			Evaluation environnementale			Evaluation sociale			Evaluation globale		
	S+	S-	M	S+	S-	M	S+	S-	M	S+	S-	M
Enrubannage de luzerne	=		+	=		=	=		=	+		+
Ensilage de luzerne	+		+	=		=	=		=	+		+
Granulés de luzerne	-		=	=		=	=		=	=		=
Farine de luzerne	=	+	+	=	=	=	=	=	=	=	+	+

<sup>1</sup> + : amélioration du scénario testé par rapport au scénario témoin, - : dégradation du scénario testé, = pas de différence

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Craheix D., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T., 2011. MASC 2.0, un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Présentation & principes d'utilisation. INRA, AgroParisTech, GIS GC HP2E, 49 p.
- Drique C., Calvar C., Dupont A., Gaucher G., Renaudeau D., 2022. Apport de fourrages riches en protéines dans l'alimentation des porcs. Conséquences sur les performances technico-économiques à l'échelle de l'atelier porcin. Journées Rech. Porcine, 99-104.
- Ramonet Y., Tersiguel E., Giteau J.L., Martel G., 2012. Déterminants du choix de l'assolement par les éleveurs de porcs en Bretagne. Rapport d'étude, Chambres d'agriculture de Bretagne, 12 p.
- Chambres d'Agricultures, 2015. INOSYS Réseaux d'élevage. <https://chambres-agriculture.fr/informations-economiques/inosys-references-technico-economiques/inosys-reseaux-delevage/>

**2.1.2 Introduction de luzerne (farine) à 5%**

L'utilisation de la farine induit une forte augmentation du coût alimentaire (+13 % /témoin) pour le système S+. Pour les autres types d'exploitations, les conséquences sont moins marquées et restent moindres que le régime à base de granulés car il faut moins de surface de luzerne pour faire le volume nécessaire de farine par rapport au besoin de granulés (process et taux d'incorporation différents).

**2.2. Durabilité environnementale**

Pour la luzerne, quelle que soit sa forme, ce régime implique une modification équivalente de l'assolement (sauf pour la farine), pour chaque type d'élevage. Par rapport aux témoins, les apports de lisier sur la luzerne ont une influence sur les pertes en azote, notamment dans l'air. Autres conséquences négatives : (i) les dates de récoltes tardives en automne risquent d'augmenter la compaction des sols et (ii) la meilleure maîtrise du salissement des parcelles se traduit par une réduction de l'abondance et de la diversité floristique. Finalement, ces systèmes incluant de la luzerne dans leur assolement ne permettent pas d'améliorer le volet environnemental par rapport au témoin.

**2.3. Durabilité sociale**

Les différents régimes associés aux trois types d'élevages aboutissent à des notes équivalentes aux témoins. On observe, cependant, une surcharge de travail liée aux chantiers multiples de récolte pour les régimes ensilage (+22%) et enrubannage (+12%) (pour les granulés et la farine, la récolte est déléguée). Cet aspect n'est pas compensé par l'écrêtement des pics de travail, conséquence de la diminution des surfaces en céréales.

**CONCLUSION**

Les évaluations mettent en avant des améliorations globales des systèmes de cultures, excepté pour les formes granulés et farine de luzerne, plus coûteuses que les autres. Cependant, les résultats économiques sont dépendants des hypothèses (production de l'ensemble des fourrages, pas de délégation), et relativise les bénéfices attendus des fourrages sur le système de cultures dans nos exploitations types. La méthodologie décrite dans cette étude a été appliquée par Drique *et al.* (2022) aux performances zootechniques et économiques des porcs recevant de l'ensilage et de l'enrubannage de luzerne, permettant une analyse globale à l'échelle de l'exploitation.

# Contamination croisée des aliments pour animaux par les antibiotiques : évaluation préliminaire du transfert vers les denrées d'origine animale et du risque d'émergence d'antibiorésistance

Cristina SANTOS-SANTORUM, Murielle GAUGAIN, Agnès PERRIN, Michel LAURENTIE, Pascal SANDERS

ANSES – Laboratoire de Fougères, 10 B rue Claude Bourgelat – Javené - CS 40608 35306 FOUGERES Cedex, France

cristina.santossantorum.ext@anses.fr

Avec la collaboration de Alexis VIEL, Jean-François TAILLANDIER, Marie-Pierre LAGREE, Charlotte VALENTIN et Paméla HOUÉE

## Cross-contamination of feedstuffs by antibiotics: assessment of transfer to food of animal origin and risk of emergence of antibiotic resistance

The use of the same production lines for medicated and non-medicated feedstuffs can lead to cross-contamination with antibiotics, which can also occur during transport or storage of feeds. Animal exposure to low concentrations of antibiotics may have several consequences, such as a risk to human health due to antibiotic residues in animal products (e.g. meat) and an increase in the emergence of resistant bacteria. The objective of this preliminary project was to assess, after exposure of pigs to contaminated feed, the risk of transferring residues to tissues and the emergence of antibiotic resistance. A pilot study was conducted with six pigs divided in three groups to which low concentrations of different antibiotics (amoxicillin, oxytetracycline and sulfadimethoxine/trimethoprim, one per group) were administered through feed for 18 days at maximum. Samples of blood, feces, muscle, liver and kidney were collected periodically or at slaughter and analyzed. This pilot study served to adjust experimental and technical conditions for later studies that had more animals. Results of this study allowed us to draw some preliminary conclusions: sulfadimethoxine seems to be well absorbed and accumulated in muscles and the liver, in which concentrations were detected that exceeded the Maximum Residue Limit (MRL) allowed by European Union regulations (100 ng/g). In contrast, oxytetracycline seems to have low oral absorption; thus, the concentrations detected in feces were high, while those in muscles and the liver lay below the MRL. Finally, amoxicillin is below the limit of quantification (LOQ) of the analytical method in all matrices.

## INTRODUCTION

La présence fortuite d'antibiotiques dans les aliments pour animaux peut être occasionnée par l'utilisation de chaînes de production communes aux aliments médicamenteux et non médicamenteux ou avoir lieu pendant le transport et le stockage (Borràs *et al.*, 2011 ; Sandegren, 2014). La consommation de ces aliments par les animaux d'élevage peut entraîner un transfert d'antibiotiques vers les denrées d'origine animale (McEvoy, 2002) ou favoriser l'émergence et le développement de bactéries résistantes au niveau du microbiote intestinal (Sandegren, 2014 ; Peeters *et al.*, 2018). L'objectif de ce projet préliminaire est i) d'évaluer le risque de transfert de ces antibiotiques vers les tissus après administration d'un aliment contaminé ii) d'étudier la cinétique plasmatique des molécules iii) de mesurer l'évolution des populations bactériennes sensibles et résistantes dans le microbiote intestinal.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Etude pilote

Une expérimentation animale pilote a été réalisée sur six porcs, divisés en trois groupes de deux animaux. Chaque groupe a reçu

deux fois par jour un aliment supplémenté d'un pré-mélange médicamenteux pour obtenir des concentrations en antibiotique équivalentes à un taux de contamination toléré par les bonnes pratiques de fabrication (2% de la dose posologique), soit amoxicilline (AMOX) 10 mg/kg aliment, oxytétracycline (OTC) 20 mg/kg ou sulfadiméthoxine (SDMT) associé au triméthoprim (TMP) 14,9:3,2 (SDMT : TMP) mg/kg aliment.

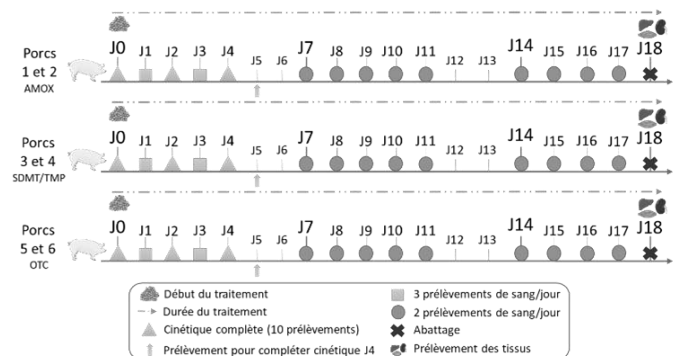


Figure 1 – Dispositif de l'expérimentation animale

AMOX : amoxicilline, OTC : oxytétracycline, SDMT/TMP : sulfadiméthoxine/triméthoprim

Le plan initial prévoyait un suivi sur 18 jours pour tous les animaux. Pour les analyses physico-chimiques, du sang a été prélevé plusieurs fois par jour et pendant plusieurs jours pour étudier la cinétique plasmatique des molécules (Figure 1).

Le muscle, le foie et les reins ont été récupérés au moment de l'abattage des animaux. Les fèces ont été prélevées tous les jours. Pour évaluer le risque d'antibiorésistance, des prélèvements de fèces ont été effectués deux fois avant le traitement, une fois au milieu du traitement et une fois à la fin de l'étude.

### 1.2. Analyses physico-chimiques

Le dosage des antibiotiques AMOX, OTC, SDMT et TMP (Sigma-Aldrich) a été effectué par spectrométrie de masse. L'AMOX-D<sub>4</sub>, la tétracycline, le SDMT-D<sub>6</sub> et TMP-D<sub>9</sub> ont été utilisés comme standard interne (Sigma-Aldrich). Une extraction liquide- ou solide-liquide (acétonitrile, Na<sub>2</sub>EDTA) a été appliquée pour les échantillons de plasma, foie, muscle et rein. Après ultra-centrifugation, une évaporation sous flux d'azote et une reprise dans l'eau ultra-pure, les extraits ont été injectés dans un système LC-MS/MS (TSQ Vantage, Thermoscientific). Une extraction en phase solide (SPE), avec tampon Mcllvaine puis purification sur cartouche Oasis HLB (Waters), a été appliquée pour les échantillons de fèces. Après évaporation sous flux d'azote et reprise dans l'eau, les extraits ont été injectés et analysés avec le même système LC-MS/MS.

### 1.3. Analyses microbiologiques

Les populations d'*E. coli* ont été dénombrées à partir des fèces congelées, sur milieu avec et sans antibiotique, pour estimer le pourcentage de résistance dans cette population bactérienne, avant et après administration d'un aliment contaminé.

Les résultats quantitatifs des dosages physicochimiques ont été analysés par des statistiques descriptives.

## 2. RESULTATS

Certains animaux présentant des symptômes d'infection, l'expérimentation animale n'a pas été menée jusqu'au terme des 18 jours pour un des porcs dans chaque groupe, la durée réelle étant de sept jours pour le porc 3, de neuf jours pour le porc 2 et de 10 jours pour le porc 5. Néanmoins, malgré le petit nombre d'animaux traités dans cette étude pilote et la durée de traitement différente, les concentrations d'antibiotique retrouvées dans les tissus après abattage sont similaires entre les porcs traités du même groupe. L'absorption de la SDMT est élevée, avec des concentrations plasmatiques qui augmentent progressivement les deux premiers jours pour ensuite se stabiliser au bout de 48 heures à des concentrations comprises au minimum à 1580 ng/ml avant la prise alimentaire et au maximum à 2440 ng/ml après la deuxième prise alimentaire. Que ce soit à 7 ou à 18 jours, les concentrations tissulaires de

SDMT atteignent deux fois la Limite Maximale de Résidus (LMR) dans le muscle et cinq fois la LMR dans le foie. Les concentrations de TMP sont en dessous de la limite de quantification (LOQ) de 10 ng/ml pour environ la moitié des prélèvements de plasma et en dessous de la LOQ de 20 ng/g pour tous les prélèvements de fèces. En ce qui concerne le muscle, les concentrations moyennes de TMP restent en dessous des LMR (Tableau 1), et dépassent la LMR dans le foie pour un des deux porcs. Pour l'OTC, la concentration plasmatique augmente progressivement pour ensuite se stabiliser au bout de 24 heures à des concentrations comprises au minimum à 11 ng/ml avant la prise alimentaire et au maximum à 37 ng/ml après la deuxième prise alimentaire. Cette molécule est présente dans les fèces à une concentration moyenne de 12 707 ng/g ( $\pm 920$ ), ce qui semble indiquer qu'elle est faiblement absorbée. Pour les tissus, l'OTC se retrouve en dessous des LMR (Tableau 1). Finalement, l'AMOX se retrouve en dessous de la LOQ de nos méthodes dans toutes les matrices analysées (25 ng/ml pour le plasma et 10 ng/g pour les tissus). L'AMOX dans les fèces n'a pas été dosée car la méthode analytique n'a pas pu être validée.

**Tableau 1** – Concentration moyenne de chaque antibiotique dans les différents tissus<sup>1</sup>

Matrice	Antibiotique (LMR en ng/g)	Concentration moyenne, ng/g	LOQ, ng/g
Muscle	AMOX (50)	<LOQ	10
	SDMT (100)	196,88 $\pm$ 11,46	
	TMP (50)	19,39 $\pm$ 1,82	
	OTC (100)	40,79 $\pm$ 5,96	
Foie	AMOX (50)	<LOQ	10
	SDMT (100)	563,03 $\pm$ 27,8	
	TMP (50)	59,35 $\pm$ 18,04	
	OTC (300)	15,3 $\pm$ 3,87	

<sup>1</sup>LMR : Limite Maximale de Résidus ; LOQ : limite de quantification. Voir le texte pour les noms d'antibiotique

Quel que soit l'antibiotique étudié et avant même le début du traitement, le nombre de *E. coli* résistants est équivalent au nombre de *E. coli* totaux dans la flore fécale des animaux.

## CONCLUSION

Les résultats préliminaires obtenus dans les conditions de cette étude pilote montrent que sur les trois prémélanges testés à des concentrations tolérées par les bonnes pratiques de fabrication, i) la présence de résidus de SDMT dans le muscle et le foie à des teneurs dépassant les LMRs pourrait entraîner un risque d'exposition pour le consommateur et ii) la présence d'OTC dans les fèces à des concentrations sub-inhibitrices pourrait favoriser l'émergence de populations bactériennes résistantes chez des animaux hébergeant une flore de départ sensible. Ces résultats préliminaires seront à confirmer dans une étude principale où le nombre d'animaux sera plus élevé.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Borràs S., Companyó R., Granados M., Guiteras J., Pérez-Vendrell A.M., Brufau J., Medina M., Bosch J., 2011. Analysis of antimicrobial agents in animal feed. Trends Anal. Chem., 30, 1042-1064.
- McEvoy J.D.G., 2002. Contamination of animal feedingstuffs as a cause of residues in food: a review of regulatory aspects, incidence and control. Anal. Chim. Acta, 473, 3-26.
- Peeters L.E.J., Croubels S., Rasschaert G., Imberechts H., Daeseleire E., Dewulf J., Heyndrickx M., Butaye P., Haesebrouck F., Smet A., 2018. Effect of residual doxycycline concentrations on resistance selection and transfer in porcine commensal Escherichia coli. Int. J. Antimicrob. Agents, 51, 123-127.
- Sandegren L., 2014. Selection of antibiotic resistance at very low antibiotic concentrations. Ups. J. Med. Sci., 119, 103-107.



# ENVIRONNEMENT



# Contribution de l'élevage porcin aux émissions de particules

## Analyse des facteurs d'émission et simulations d'inventaires

*Nadine GUINGAND (1), Mélynda HASSOUNA (2), Solène LAGADEC (3)*

*(1) IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu Cedex, France*

*(2) INRAE, UMR SAS, rue de St Briec, 35042 Rennes, France*

*(3) CRAB, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France*

*nadine.guingand@ifip.asso.fr*

### **Contribution de l'élevage porcin aux émissions de particules : analyse des facteurs d'émissions et simulations**

La France s'est engagée d'ici 2030 à réduire de 57 % ses émissions de particules en suspension d'un diamètre inférieur à 2,5 microns (PM<sub>2,5</sub>) par rapport aux émissions de 2005. Le respect des engagements repose sur les inventaires annuels du Citepa, qui définit la contribution des différents secteurs d'activité, dont l'élevage porcin, en se basant sur les effectifs et les facteurs d'émission publiés par le programme de surveillance et d'évaluation des pollutions atmosphériques (EMEP, 2019). La première partie de l'article a pour objet de faire le point sur l'évolution des facteurs d'émission des particules de l'EMEP mais aussi de ceux actuellement disponibles dans la littérature en vue d'en faire l'analyse au regard des informations disponibles et des paramètres d'influence. Les facteurs de la littérature présentent une grande variabilité du fait de la diversité des modalités d'élevage et des méthodes de mesures appliquées. La majorité d'entre eux concerne le stade engraissement et il est souvent difficile de caractériser les modalités d'élevage (type de sol, alimentation...) du fait de l'absence d'informations. En parallèle, les valeurs des facteurs de l'EMEP ont été drastiquement revues à la baisse depuis 2006. Dans une deuxième partie, cinq scénarios de calculs des émissions de particules de l'élevage porcin sont comparés en intégrant les différents facteurs d'émission de l'EMEP ainsi que ceux de la littérature incluant des valeurs nationales. L'analyse de ces simulations par rapport à l'inventaire 2019 montre l'intérêt d'acquiescer et d'utiliser les facteurs d'émission représentatifs des conditions nationales de production.

### **Contribution of pig farming to primary particulate emissions : analysis of emission factors and simulations**

France is committed to reducing its emissions of fine particulate matter less than 2.5 microns in size (PM<sub>2.5</sub>) by 57% by 2030 compared to 2005 emissions. Compliance with the commitments is based on the annual inventory published by Citepa, which calculates the contribution of pig farming by multiplying the number of pigs by the emission factor published by the European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP, 2019). This article first reviews the evolution of EMEP's emission factors since 2006 as well as the emission factors currently available in the literature. They are analysed based on the available information and the most influential parameters. Emission factors in the literature show wide variability due to the diversity of housing characteristics and measurement methods used. Most of them available in the literature concern finishing pigs, but it is often difficult to characterize their rearing conditions (e.g. type of floor, feed) due to a lack of information. In parallel, EMEP's emission factors have been drastically decreased since 2006. The article then compares five scenarios of particulate matter emissions to the 2019 inventory. These scenarios were developed using EMEP's emission factors, but also average factors established in the literature, including French-specific one. The analysis shows the utility of establishing and using emission factors representative of national production conditions.

## INTRODUCTION

En 2019, d'après le Citepa, organisme en charge des inventaires nationaux, l'agriculture a participé aux émissions nationales de particules (PM) à hauteur de 58, 24,3 et 9,7 %, respectivement pour les TSP (particules de toutes tailles), PM10 (particules d'un diamètre inférieur à 10  $\mu\text{m}$ ) et PM2,5 (particules d'un diamètre inférieur à 2,5  $\mu\text{m}$ ). L'élevage est quant à lui contributeur à hauteur de 4, 9,8 et 3,8 % respectivement des TSP, PM10 et PM2,5. La part de la production porcine, par rapport aux émissions nationales, est de 1, 1,6 et 0,5 % respectivement pour les TSP, PM10 et PM2,5, soit une faible contribution, proche de celles des bovins et inférieures à celles des volailles (Citepa, 2021a). La prédominance des bâtiments sur litière en élevage de volailles explique la plus forte contribution de ce secteur. Pour les bovins, bien que majoritairement élevés sur litière, leur faible contribution s'explique par la plus faible durée de présence en bâtiments, les animaux ayant majoritairement un accès à l'extérieur.

Ces contributions relatives sont calculées annuellement dans les inventaires nationaux en utilisant les effectifs de chaque population, multipliés par le facteur d'émission (FE) en PM de la population. Ils permettent aussi de vérifier le respect des engagements des Etats-membres par rapport à certaines directives européennes ou protocoles internationaux (Protocole de Göteborg) mais aussi à définir les politiques à mettre en œuvre pour réduire les émissions des secteurs émetteurs. Dans ce cadre, la France s'est engagée, d'ici 2030, à réduire de 57% ses émissions de PM2,5 par rapport aux niveaux de 2005. Malgré sa faible contribution aux émissions nationales, la production porcine est elle aussi ciblée par la réduction des émissions de particules entre autres via la directive sur les émissions industrielles (directive IED 2010/75/UE).

L'objectif de cet article est de mettre en évidence l'importance du choix des facteurs d'émissions sur l'élaboration des inventaires et les conséquences possibles sur les voies de réduction à mettre en place au niveau de la filière. La première partie de l'article est consacrée à l'analyse des facteurs d'émission disponibles dans la littérature en s'attachant aux conditions d'acquisition des valeurs publiées. La deuxième partie de l'article est consacrée à l'analyse des FE fournis par l'European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) qui sont utilisés dans les calculs des inventaires nationaux. Dans une dernière partie, des simulations de contribution de la production porcine sont présentées et analysées au regard des objectifs que la France s'est fixée en termes de réduction des émissions de particules.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Collecte et analyse des FE de la littérature

Une extraction de la base de données ELFE (Elevage et Facteurs d'Emission - Vigan *et al.*, 2019) a été réalisée sur les FE en PM, actualisée des références bibliographiques collectées dans le cadre du projet Casdar Papovit (Guinand *et al.*, 2021) et d'une recherche complémentaire sur la base de données Web of Science. Un total de 17 références publiées entre 1998 et 2021, contenant un total de 107 FE sur au moins une des trois fractions (TSP, PM10 et PM2,5) acquis dans des bâtiments abritant au moins une des trois catégories animales (troupe, porcelet sevré et porc charcutier) a ainsi été collecté. Du fait de la multitude des unités d'expression, les FE ont été convertis, quand nécessaire, en  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ , permettant la comparaison

avec les FE de l'EMEP. Cette conversion intègre des hypothèses sur le poids des animaux ainsi que la durée d'occupation des bâtiments par catégorie animale. Pour le poids des animaux, les valeurs de l'EMEP (2019) ont été appliquées ; 225 kg pour les truies, 20 kg pour les porcelets et 65 kg pour les porcs charcutiers. Les valeurs du taux d'occupation des bâtiments sont celles du calculateur GERE (Citepa, 2021b) : 95 % pour les bâtiments abritant des truies et 90% pour ceux abritant des porcelets et des porcs charcutiers. L'analyse des données a ensuite été effectuée en fonction des principaux facteurs de variation indiqués par l'EMEP (2019) à savoir le mode d'alimentation, l'activité des animaux et le type de litière. Le facteur « type de litière » ne concerne que peu d'élevages ; les porcs étant majoritairement élevés sur caillebotis (intégral ou partiel) et ne concerne qu'un nombre restreint de publications (3). Le facteur « activité des animaux » proposé par l'EMEP n'a pu être renseigné faute d'information disponible dans l'ensemble des publications collectées. Au regard des résultats obtenus dans une étude précédente (Guinand *et al.*, 2021), les données relatives au type de sol (caillebotis intégral vs caillebotis partiel vs litière), à la gestion des effluents (préfosse vs évacuation fréquente soit gravitaire soit par raclage) ont été intégrées à l'analyse. Le faible effectif de données par fraction de PM et par catégorie animale ne permet pas de tester les interactions entre les différentes modalités d'élevage.

Les analyses statistiques du paragraphe 2.4 ont été réalisées avec le logiciel R version 3.5.2 (R Core Team, 2018). Les données ont été soumises à un test de Kruskal-Wallis/Anova pour tester dans un premier temps, l'effet de la catégorie animale, puis les effets du type de sol, du mode présentation de l'aliment et de gestion des effluents sur les PM. Les différences sont considérées comme significatives avec une *P*-valeur inférieure ou égale à 0,05.

### 1.2. Collecte et analyse des FE fournis par l'EMEP

Les publications du guide EMEP (2006, 2009, 2013 et 2019) pour l'aide à la réalisation des inventaires ont été utilisées pour créer une base de données intégrant la catégorie animale (troupe, porcelet sevré, porc charcutier), le type d'effluent quand il était précisé (lisier, fumier), le niveau concerné (nommé Tier 1 ou Tier 2 ; correspondant à la différenciation ou non des types d'effluents) et la fraction de PM ainsi que le nombre de références utilisées pour l'établissement du FE concerné. Les FE étant tous exprimés en  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ , aucune conversion en une unité standardisée n'a été nécessaire.

### 1.3. Réalisation des simulations d'émissions

Pour l'inventaire du Citepa en 2019, les émissions sont calculées en multipliant le FE moyen de chaque fraction de PM (FE de l'EMEP 2013 Tier 2) par l'effectif de chaque catégorie animale (effectifs de 2019). L'impact du choix de FE sur les émissions a été étudié à partir de scénarios combinant les différentes valeurs de l'EMEP sur 2013 et 2019, la prise en compte ou non du type d'effluents (Tier 2 et Tier 1) et les valeurs moyennes de FE de la littérature. Ces scénarios ont été ensuite comparés aux valeurs d'inventaire pour l'année 2019 (noté inventaire 2019) :

- Scénario « EMEP 2013 – Tier 1 » : utilisation des FE EMEP 2013 sans distinction du type d'effluents.
- Scénario « EMEP 2019 – Tier 1 » : utilisation des FE EMEP 2019 sans distinction du type d'effluents.
- Scénario « Littérature – Tier 2 » : utilisation des FE moyens issus de la littérature, avec distinction du type d'effluents.



- Scénario « Littérature – Tier 1 » : utilisation des FE moyens obtenus à partir de l'analyse de la littérature sans distinction du type d'effluents.
- Scénario « PC + EMEP 2013 -Tier 1 » : utilisation des FE de la publication de Guingand *et al.* (2021) pour les porcs charcutiers et les FE EMEP 2013 Tier 1 pour les truies et les porcelets, sans distinction du type d'effluents.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Analyse des FE de la littérature

Les PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>, dont l'impact est le plus marqué sur la santé des éleveurs et des porcs, sont davantage ciblées dans les publications. Pour les truies (Tableau 1), les FE moyens en TSP, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont respectivement de 0,64, 0,79 ± 1,1 et 0,15 ± 0,18 kg.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Pour les porcelets, (Tableau 1), les FE moyens en TSP, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont respectivement de 0,27, 0,16 ± 0,16 et 0,05 ± 0,05 kg.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Pour les porcs charcutiers, (Tableau 2), les FE moyens en TSP, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont respectivement de 0,51 ± 0,31, 0,25 ± 0,24 et 0,02 ± 0,02 kg.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>.

#### 2.1.1. Variabilité des FE

Les FE par catégorie animale tous paramètres confondus (Tableaux 1 et 2) présentent une très grande variabilité et ceci pour les trois fractions de PM. Celle-ci s'explique, entre autres, par la diversité des méthodes de mesure, des modes d'élevages, principalement sur le mode de présentation de l'aliment (aliment sec vs aliment liquide), le type de sol (caillebotis intégral, caillebotis partiel et litière) et la gestion des effluents (stockage en préfosse, évacuation fréquente par gravité ou par raclage). Pour les TSP, le nombre de références, particulièrement pour les truies et les porcelets, est très faible, ne permettant donc pas vraiment de statuer sur la valeur du FE pour ces deux catégories animales.

#### 2.1.2. Des informations incomplètes sur les modes d'élevage

A l'exception du type de sol pour les porcelets, chaque facteur comporte une modalité « non déterminée » (notée nd) qui correspond à une absence d'information sur le facteur concerné. La part des « nd » est variable selon les facteurs mais reste importante tant en termes d'effectif que de conséquence sur l'interprétation des résultats. A titre d'exemple, le mode de présentation des aliments n'est renseigné que dans moins de la moitié des références, toutes catégories animales confondues, alors que ce dernier était identifié dans les années 90 et plus récemment, comme un facteur prépondérant influençant la concentration en PM dans l'ambiance (Pearson et Sharples, 1995 ; Takai *et al.*, 1996 ; Guingand *et al.*, 2021).

Le mode de stockage des effluents est lui-aussi peu renseigné dans les publications portant sur les émissions de PM. Ainsi, près de 30% des publications ne précisent pas si les effluents sont stockés avec les animaux sur toute la durée d'élevage ou si des évacuations intermédiaires sont appliquées.

#### 2.1.3. Des catégories animales peu renseignées

L'analyse de la littérature met aussi en évidence le peu de valeurs de FE pour les truies et les porcelets : 66% des FE collectés concernent le porc charcutier contre seulement 20% pour les truies et 14% pour les porcelets. Ce déséquilibre pourrait s'expliquer du fait de l'apparente contribution des porcs charcutiers à l'émission de PM. Cependant, le rôle des porcelets n'est pas à négliger du fait de leurs fortes activités et des températures élevées facilitant la remise en suspension des particules sédimentées dans l'ambiance des bâtiments.

### 2.1.4. Facteurs de variation des FE en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>

Le stade physiologique apparaît comme un facteur significatif d'influence (P<0,05) sur les FE en PM<sub>10</sub> et très significatif sur les FE en PM<sub>2,5</sub> (P<0,001). En PM<sub>10</sub> et en PM<sub>2,5</sub>, les FE des truies sont significativement supérieures à ceux des porcelets et des porcs charcutiers, ces derniers n'étant pas significativement différents entre eux. Différentes hypothèses peuvent être émises, comme la densité animale et/ou l'utilisation d'asséchant dans les bâtiments abritant des truies. L'analyse de l'effet du type de sol, du mode de présentation des aliments et du mode de gestion des effluents a ensuite été réalisée par stade physiologique (Tableaux 1 et 2).

**Tableau 1** - Valeurs moyennes des FE (± écart-type) en kg.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> par fraction de PM pour les truies et les porcelets et par facteur de variation<sup>1</sup>

FE	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>Stade</b>	<b>Truie (21)</b>		
<b>Tous facteurs confondus</b>	0,641 ± 0 (1)	0,786 ± 1,091 (13)	0,147 ± 0,182 (7)
<b>Alimentation</b>			
Sec <sup>a</sup>	-	0,153 ± 0,04 (3)	0,013 ± 0,0016 (2)
Liquide <sup>b</sup>	-	0,192 ± 0 (1)	-
Nd <sup>c,d,e,f</sup>	0,641 ± 0 (1)	1,064 ± 1,227 (9)	0,199 ± 0,193 (5)
<b>Type de sol</b>			
Cl <sup>b,g,d,e</sup>	-	0,810 ± 1,226 (7)	0,215 ± 0,272 (3)
CP <sup>a</sup>	0,641 ± 0 (1)	0,175 ± 0,014 (2)	0,013 ± 0,002 (2)
Litière <sup>e</sup>	-	1,680 ± 1,613 (2)	0,178 ± 0,008 (2)
Nd <sup>c,f</sup>	-	0,425 ± 0,274 (2)	-
<b>Effluents</b>			
Préfosse <sup>a,b,d</sup>	0,641 ± 0 (1)	0,182 ± 0,012 (4)	0,013 ± 0,002 (2)
Nd <sup>c,e,f,g</sup>	-	1,055 ± 1,234 (9)	0,199 ± 0,193 (5)
<b>Stade</b>	<b>Porcelet (15)</b>		
<b>Tous facteurs confondus</b>	0,270 ± 0 (1)	0,165 ± 0,165 (9)	0,052 ± 0,052 (5)
<b>Alimentation</b>			
Sec <sup>a,g</sup>	0,270 ± 0 (1)	0,048 ± 0,034 (3)	0,002 ± 0,0001 (2)
Liquide+Sec <sup>b,g</sup>	-	0,029 ± 0,003 (2)	-
Nd <sup>e,f</sup>	-	0,322 ± 0,115 (4)	0,086 ± 0,034 (3)
<b>Type de sol</b>			
Caillebotis intégral <sup>a,b,e,g</sup>	-	0,177 ± 0,173 (8)	0,065 ± 0,050 (4)
Caillebotis partiel <sup>a</sup>	0,270 ± 0 (1)	0,075 ± 0 (1)	0,002 ± 0 (1)
<b>Effluents</b>			
Préfosse <sup>a,b</sup>	0,270 ± 0 (1)	0,054 ± 0,025 (3)	0,002 ± 0,0001 (2)
nd <sup>e,f,g</sup>	-	0,221 ± 0,180 (6)	0,086 ± 0,035 (3)

<sup>1</sup> Références utilisées : a : Winkel *et al.* (2015), b : Costa *et Guarino* (2009), c : Chardon *et van der Hoek* (2002), d : Jacobson *et al.* (2006), e : Takai *et al.* (1998), f : Van der Hoek *et Hinz* (2007), g : Haeussermann *et al.* (2008) ( ) : nombre de valeurs utilisées pour le calcul du FE ; nd : non déterminé

Seul le type de sol ressort comme ayant un effet significatif ( $P < 0,05$ ) avec des FE plus élevés pour les animaux élevés sur litière par rapport à ceux élevés sur caillebotis. Aucune différence significative n'est identifiée entre le caillebotis intégral et le caillebotis partiel, ce qui est en accord avec Winkel *et al.* (2015) pour les porcelets.

Bien que le FE des animaux élevés sur litière soient plus élevés, ils présentent tout de même une forte variabilité, notamment pour les truies. Ceci est lié à l'absence d'information sur les matériaux constituant la litière et son mode de gestion (accumulée ou pas, fréquence de paillage et de raclage) impactant particulièrement son taux d'humidité. D'autres paramètres non intégrés dans cette étude sont cependant à prendre en considération. La période de mesure des PM apparaît comme un facteur supplémentaire de variation pour plusieurs auteurs (Van Ransbeeck *et al.*, 2012 ; Xu *et al.*, 2016 ; Shang *et al.*, 2020 ; Guingand *et al.*, 2021) ; les émissions de particules étant plus élevées en période chaude qu'en période froide du fait de l'augmentation des débits. Le protocole de mesures, incluant la durée et la période de mesures mais aussi les méthodes d'échantillonnages et les appareils de mesures, diffèrent selon les études.

**Tableau 2** - Valeurs moyennes des FE ( $\pm$  écart-type) en  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  par fraction de PM pour les porcs charcutiers et selon les facteurs de variation <sup>1</sup>

FE	TSP	PM10	PM2,5
<b>Tous facteurs confondus</b>	0,509 $\pm$ 0,310 (20)	0,245 $\pm$ 0,238 (30)	0,019 $\pm$ 0,022 (21)
<b>Aliment</b>			
Sec <sup>A, B, C, a</sup>	0,464 $\pm$ 0,197 (6)	0,165 $\pm$ 0,050 (8)	0,008 $\pm$ 0,002 (6)
Liquide <sup>a, b, g, A, B</sup>	0,258 $\pm$ 0,145 (4)	0,137 $\pm$ 0,062 (10)	0,007 $\pm$ 0,003 (6)
Nd <sup>c, d, e, f, D, E, F, G</sup>	0,637 $\pm$ 0,355 (10)	0,389 $\pm$ 0,327 (12)	0,035 $\pm$ 0,028 (9)
<b>Type de sol</b>			
Caillebotis intégral <sup>b, d, e, g, A, C, D, E, F, G</sup>	0,458 $\pm$ 0,276 (17)	0,224 $\pm$ 0,225 (21)	0,018 $\pm$ 0,017 (12)
Caillebotis partiel <sup>a, B, G</sup>	0,590 $\pm$ 0,245 (2)	0,145 $\pm$ 0,040 (6)	0,007 $\pm$ 0,001 (7)
Litière <sup>e, D</sup>	1,204 $\pm$ 0 (1)	0,743 $\pm$ 0,238 (2)	0,073 $\pm$ 0,003 (2)
Nd <sup>c</sup>	-	0,305 $\pm$ 0 (1)	-
<b>Effluents</b>			
Préfosse <sup>a, c, d, e, A, C, D, F, G</sup>	0,519 $\pm$ 0,250 (12)	0,177 $\pm$ 0,215 (15)	0,009 $\pm$ 0,003 (8)
Gravitaire <sup>2 a</sup>	0,763 $\pm$ 0 (1)	0,163 $\pm$ 0,035 (2)	0,007 $\pm$ 0,001 (2)
Raclage <sup>2 A, D</sup>	0,437 $\pm$ 0,290 (4)	0,096 $\pm$ 0,022 (2)	0,006 $\pm$ 0,0001 (2)
Nd <sup>c, e, f, g, B, D, E</sup>	0,484 $\pm$ 0,631 (3)	0,382 $\pm$ 0,259 (11)	0,035 $\pm$ 0,028 (9)

<sup>1</sup> Références utilisées : de a à g cf Tableau 1, A : Guingand *et al.* (2021), B : Mosquera *et al.* (2010), C : Xu *et al.* (2016), D : Kim *et al.* (2008), E : Schmidt *et al.* (2002), F : Shang *et al.* (2020), G : Van Ransbeeck *et al.* (2013), <sup>2</sup> Evacuation fréquente, ( ) : nombre de valeurs utilisées pour le calcul du FE, nd : non déterminé.

Sur les 95 publications analysées par Lagadec *et al.* (2020), la durée de mesure varie de 2 à 24 heures et la période de mesure au cours d'une bande d'une à six journées. Dans 56% des publications, la méthode de mesure est une collecte sur filtre et, dans 44%, il s'agit d'une méthode optique. Enfin, 17 appareils de mesure différents ont été recensés.

## 2.2. Évolution des FE de l'EMEP

L'EMEP propose des FE pour trois fractions de PM : TSP, PM10 et PM2,5 pour les truies, les porcelets et les porcs charcutiers (Tableau 3). Depuis 2006, l'EMEP considère que les émissions de particules proviennent exclusivement du poste bâtiment. Entre 2006 et 2013, le type d'effluent (lisier vs fumier) est un critère discriminant pour les FE par catégorie animale. On notera que pour ces versions de l'EMEP, les FE des systèmes sur litière sont supérieurs de 29 % pour les truies et de 19% pour les porcs charcutiers par rapport au système lisier ; la catégorie porcelet sur litière n'étant renseignée pour aucune des versions. En 2019, l'EMEP abandonne la différenciation des systèmes de gestion des effluents pour ne donner qu'un seul FE par fraction de PM et par catégorie animale. L'EMEP précise qu'il existe peu de littérature pour établir les FE des PM et qu'une approche par système de gestion des effluents (Tier 2) n'est donc pas envisageable. Selon l'EMEP, il est nécessaire d'avoir le maximum d'informations pour la détermination des FE ; les trois principaux critères étant les conditions d'alimentation, l'activité animale et le type de litière.

En 2013, les FE de l'EMEP ne sont basés que sur la publication de Takai *et al.* (1998) portant sur des bâtiments d'Europe du Nord. Dans son article, l'auteur met en évidence des différences significatives entre les 4 pays étudiés (Allemagne, Angleterre, Danemark et Pays-Bas) expliquées par le type de bâtiment, la saison et la période de prélèvement avec une interaction significative entre le pays et le type de bâtiment. Les concentrations mesurées sont exprimées en fraction inhalable et respirable que l'EMEP convertit ensuite en TSP, PM10 et PM2,5, augmentant ainsi l'incertitude sur les valeurs de FE.

En 2019, l'EMEP fournit un FE pour les trois fractions de PM et pour les trois catégories animales. Onze publications sont citées pour établir ces FE mais c'est principalement la publication de Winkel *et al.* (2015) qui est utilisée. Dans cette dernière, les FE proposés ont été mesurés dans des bâtiments néerlandais intégrant différents types des sols (caillebotis partiel vs intégral) et modes d'alimentation (alimentation sèche vs liquide) pour chaque catégorie animale.

Pour les truies, les FE de l'EMEP pour les TSP, PM10 et PM2,5 ont été drastiquement réduits depuis 2013. Le FE en TSP a été divisé par près de 2,5 (1,53 vs 0,62  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ), celui des PM10 par 4 (0,69 vs 0,17  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ) et celui des PM2,5 par 12 (0,12 vs 0,01  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ). Pour les porcelets, les FE sont moins nombreux et ne portent que sur des animaux élevés sur caillebotis. Ainsi, entre 2013 et 2019, le FE en TSP a été multiplié par 1,3 (Tier 1 – 0,21 vs 0,27  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ), celui des PM10 a été divisé par 2 (0,1 vs 0,05  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ) et celui des PM2,5 par 10 (0,02 vs 0,002  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ). Pour les porcs charcutiers entre 2013 et 2019, le FE en TSP a été multiplié par 1,4 (0,75 vs 1,05  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ), divisé par 2,5 pour le FE des PM10 (0,340 vs 0,14  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ), et par 10 pour le FE des PM2,5 (0,060 vs 0,006  $\text{kg}\cdot\text{place}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ). Globalement, les FE proposés par l'EMEP présentent des valeurs considérablement plus faibles depuis 2006 pour les trois catégories de porcs, principal résultat de l'augmentation des références disponibles dans la littérature internationale et à l'amélioration des méthodes de mesure. Cependant, l'augmentation des données disponibles fait apparaître une variabilité importante des valeurs utilisées pour la construction des FE de l'EMEP. L'EMEP (2019) encourage les états-membres à acquérir leurs propres FE argumentant de la diversité des itinéraires techniques mais aussi du nombre insuffisant de données disponibles dans la littérature. Ce point fût un argument majeur dans la construction du projet PAPOVIT

aboutissant à la mise au point d'un protocole de mesures adapté aux élevages français (Lagadec *et al.*, 2020) et à l'établissement de premiers FE pour les porcs charcutiers (Guingand *et al.*, 2021).

### 2.3. Impacts des valeurs de FE sur la contribution relative de l'élevage porcin aux émissions nationales de PM

Les 5 scénarios sont individuellement comparés aux valeurs de contribution de l'élevage porcin calculées par le Citepa pour l'année 2019 (Tableau 3 et Figure 1).

Le scénario « EMEP 2019 - Tier 1 » conduit à une augmentation de 21 % des émissions de TSP liée à l'augmentation du FE pour les porcs charcutiers (1,05 vs 0,7 kg.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> pour le système lisier et 0,83 kg.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> pour le système fumier) et à la part prépondérante des porcs charcutiers en termes d'effectif (64% du total). Cependant, ce scénario conduit à une importante réduction des PM10 (60 %) et des PM2,5 (91 %) du fait de l'importante baisse des FE par rapport aux valeurs de l'EMEP 2013 Tier 2 (Tableau 3).

Le scénario « EMEP 2013 Tier 1 » n'a que peu d'effet sur les valeurs d'émissions pour les trois fractions ; les valeurs des FE du Tier 1 correspondent globalement à la moyenne des FE lisier et fumier de l'EMEP Tier 2 utilisés pour l'inventaire 2019.

Le scénario « Littérature – Tier 1 » conduit à une réduction de 31 % des TSP, de 9 % des PM10 et de 30 % des PM2,5 par rapport à l'inventaire 2019. La chute des TSP s'explique par la réduction du FE des truies et des porcs charcutiers alors que celle des PM2,5 est liée à la baisse du FE des porcs charcutiers qui est divisé par 3.

Avec le scénario « Littérature – Tier 2 », la réduction des PM est similaire à celle obtenue avec le scénario précédent (TSP : 35 % - PM10 : 8 % - PM2,5 : 39 %) et résulte de la baisse du FE des porcs charcutiers en système « lisier » pour les trois fractions de PM par rapport aux valeurs de l'EMEP 2013 Tier 2.

Le scénario « PC+EMEP2013 » s'accompagne d'une réduction de toutes les fractions de PM (TSP : 39 % - PM10 : 35 % - PM2,5 : 57 %). Les FE des porcs charcutiers de l'étude de Guingand *et al.* (2021) sont en effet divisés par 2 par rapport à ceux de l'EMEP 2013 Tier 2.

Les cinq scénarios aboutissent à des réductions plus ou moins importantes des émissions de PM par rapport à celles de l'inventaire 2019. Si on applique, à l'élevage porcin, l'engagement de la France de réduire de 57% ses émissions de PM2,5 d'ici 2030 (0,33 kt en 2030 vs 0,77 kt en 2005), seuls les scénarios « EMEP 2019 » et « PC+EMEP2013 » permettent d'atteindre cet objectif dès 2019 (Figure 1) et de réduire de manière drastique les PM10.

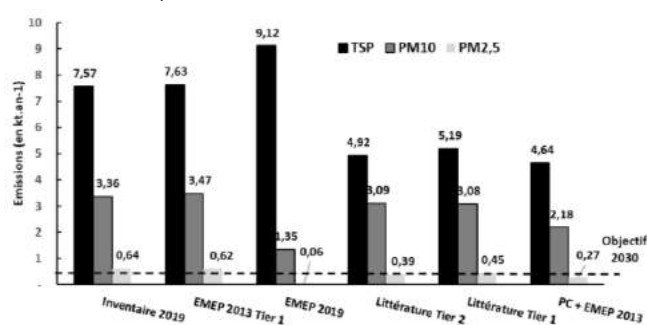


Figure 1 - Comparaison des différents scénarios d'émissions de PM de l'élevage porcin

Tableau 3 – Facteurs d'émission (en kg.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>) et émissions totales par fraction de PM (en kt.an<sup>-1</sup>) par scénario.

Effectif total (lisier/fumier) <sup>1</sup>	Truie			Porcelet			Porc charcutier		
	TSP	PM10	PM2,5	TSP	PM10	PM2,5	TSP	PM10	PM2,5
<b>Fractions</b>									
<b>Facteur d'émission<sup>2</sup></b>									
EMEP 2019	0,62	0,17	0,01	0,27	0,05	0,002	1,050	0,140	0,006
EMEP 2013 Tier 1	1,53	0,69	0,12	0,21	0,1	0,02	0,750	0,340	0,060
EMEP 2013 Tier 2 Lisier	1,36	0,61	0,11	0,36	0,16	0,03	0,700	0,310	0,060
EMEP 2013 Tier 2 Fumier	1,77	0,8	0,14	Nd	nd	nd	0,83	0,370	0,070
Littérature -Tier 1	0,641	0,786	0,147	0,270	0,165	0,052	0,509	0,245	0,019
Littérature – Tier 2 Lisier	0,641	0,624	0,124	0,270	0,165	0,052	0,472	0,206	0,014
Littérature – Tier 2 Fumier	nd	1,680	0,178	Nd	nd	nd	1,204	0,744	0,073
Guingand <i>et al.</i> (2021) Lisier	-	-	-	-	-	-	0,306	0,152	0,011
<b>Emissions<sup>3</sup></b>									
Inventaire 2019	1,368	0,614	0,110	1,036	0,461	0,086	5,162	2,287	0,442
Scénario EMEP 2013 - Tier1	1,500	0,677	0,118	0,655	0,312	0,062	5,479	2,484	0,438
Scénario EMEP 2019 - Tier1	0,608	0,167	0,010	0,842	0,156	0,006	7,670	1,023	0,044
Scénario littérature - Tier1	0,629	0,771	0,144	0,842	0,515	0,162	3,718	1,790	0,139
Scénario littérature - Tier 2	0,629	0,701	0,123	0,842	0,515	0,162	3,448	1,878	0,102
Scénario PC+EMEP2013 Tier 1	1,368	0,614	0,110	1,036	0,461	0,086	2,238	1,110	0,077

<sup>1</sup>source : Citepa, 2021a ; <sup>2</sup>en place.an<sup>-1</sup> ; <sup>3</sup>en kt.an<sup>-1</sup>

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le nombre de publications comportant des FE pour au moins une fraction de PM est très faible sur les 20 dernières années. La majorité des travaux porte sur les porcs charcutiers alors que les truies et les porcelets sont peu étudiés malgré leurs contributions significatives aux émissions de PM, comme le montre les inventaires présentés. Des études sont donc à prévoir pour combler cette lacune.

La variabilité des FE dans la littérature est très importante. La

diversité des modalités d'élevage y contribue ainsi que celle des méthodes mises en œuvre pour mesurer les particules. De plus, les informations nécessaires à la bonne caractérisation des modes d'élevages sont souvent manquantes dans la littérature disponible, ce qui rend difficile l'établissement de FE par modalité d'élevage. Bien que non abordés dans cette étude, les débits de ventilation ont un poids important dans le calcul des FE et peuvent présenter une grande variabilité en fonction des techniques de mesures appliquées mais aussi des conditions climatiques.

Les FE proposés par l'EMEP ont beaucoup évolué depuis 2006 avec une tendance globale à la baisse particulièrement pour les PM10 et les PM2,5 sans que cette baisse ne soit forcément argumentée.

Le scénario « PC+EMEP2013 » aboutit à une réduction considérable des trois fractions de PM – sans augmentation des TSP comme observé dans le scénario « EMEP 2019 » - et permet au secteur porcin, d'atteindre dès 2019 l'objectif de réduction des PM2,5 que s'est fixé la France pour 2030. L'utilisation de FE représentatifs des conditions françaises de production apparaît donc nécessaire à l'amélioration des inventaires. Cependant, de

nombreuses modalités d'élevage (litière, gestion des effluents, type de ventilation) doivent encore faire l'objet d'études complémentaires en vue de préciser les FE correspondants. Dans un parc de bâtiments vieillissant, l'usure des matériaux est probablement à intégrer également dans la détermination des FE. A moyen terme, l'évolution des bâtiments vers des structures ouvertes sur l'extérieur pose la question de la méthodologie de mesure tant pour les concentrations en PM que pour la détermination des taux de renouvellement.

Cette étude fait partie du projet PAPOVIT qui a reçu le soutien financier du CASDAR (5619).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chardon W.J., van der Hoek K.W., 2002, Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw [Calculation method for emission of fine dust from agriculture], Alterra/RIVM, Wageningen, the Netherlands.
- Citepa, 2021a. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – format Secten, 496 pp. [https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/Citepa\\_Rapport-Secten\\_ed2021\\_v1\\_30072021.pdf](https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/Citepa_Rapport-Secten_ed2021_v1_30072021.pdf)
- Citepa, 2021b. Aide au remplissage du bloc Elevage sur la nouvelle plateforme GEREP. Janvier 2021, 33 pp
- Costa A., Guarino M., 2009. Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry, *Atmos. Environ.*, 43, 1548–1556.
- EMEP, 2006. CORINAIR Emission Inventory Guidebook, Group 10: Agriculture, 1010 Fugitive PM sources, 101001 Particle emissions from animal husbandry, 15 pp.
- EMEP, 2009. Air pollutant emission inventory guidebook, Part B. Sectoral guidance chapters, 4.B Animal husbandry and manure management, 73 pp.
- EMEP, 2013. Air pollutant emission inventory guidebook, Part B Sectoral guidance chapters, 3. Agriculture, 3B Manure management, 65 pp.
- EMEP, 2019. Air pollutant emission inventory guidebook, Part B Sectoral guidance chapters, 3. Agriculture, 3B Manure management, 70 pp.
- Guingand N., Lagadec S., Hassouna M., Boulestreau-Boulay A.L., 2021. Particules en élevage porcin : établissement de facteurs d'émission des TSP, PM10 et PM2,5 en conditions de terrain. *Journées Rech. Porcine*, 53, 341-346.
- Jacobson L., Heber A.J., Hoff S.J., Zhang Y., Beasley D.B., Kroziel J.A., Hetchler B.P., 2006. Aerial pollutants emissions from confined animal buildings. *Agriculture and air quality*, Washington DC, USA, June 5-6, 775-784.
- Lagadec S., Guingand N., Joubert A., Le Coq L., Hassouna M., 2020. Mise au point d'une méthode de mesure des particules adaptée aux élevages de porc. *Journées Rech. Porcine*, 52, 343-344.
- Haeussermann A., Costa A., Aerts J.M., Hartung E., Jungbluth T., Guarino M., Berckmans D., 2008. Development of a dynamic model to predict PM10 emissions from swine houses. *J. Environ. Qual.*, 37, 557–564.
- Kim K.Y., KO H.J., Kim Y.S., Kim C.N., 2008. Assessment of korean farmer's exposure level to dust in pig buildings. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 15, 51-58.
- Mosquera J., Hol J. M.G., Winkel A., Lovink E., Ogink N.W. M., Aarnink A.J.A., 2010. Dust emission from animal houses: Growing and finishing pigs. Wageningen, The Netherlands: Wageningen University and Research Center Publications.
- Pearson C.C., Sharples T.T., 1995. Airborne dust concentrations in livestock building and the effect of feed. *J. Agric. Engng. Res.*, 60, 145-154.
- R Core Team, 2018. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Shang B., Liu Y., Dong H., Tao X., Yao H., 2020. Particulate matter concentrations and emissions of a fattening pig facility in Northern China. *Atmos. Pollut. Res.*, 11, 192-1911.
- Schmidt D.R., Jacobson L.D., Janni K.A., 2002. Continuous monitoring of ammonia, hydrogen sulfide and dust emissions from swine, dairy and poultry barns. In: ASAE Annual International Meeting, ASAE Meeting Paper No. 024060, American Society of Agricultural Engineers (ASAE), Chicago, USA.
- Takai H., Jacobson L.D., Pedersen S., 1996. Reduction of dust concentration and exposure in pig building by adding animal fat in feed. *J. Agric. Engng.*, 63, 113-120.
- Takai H., Pedersen S., Johnsen J.O., Metz J.H.M., Groot Koerkamp P.W.G., Uenk G.H., Phillips V.R., Holden M.R., Sneath R.w., Short J.L., White R.P., Hartung J., Seedorf J., Schröder M., Linkert K.H., Wathes C.M., 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Engng. Res.*, 70, 59-77.
- Van der Hoek K.W., Hinz, T., 2007. Particulate matter emissions from animal production in The Netherlands. DustConf International Conference in Maastricht, The Netherlands, 23-24 April 2007.
- Van Ransbeeck N., Van Langenhove H., Van Weyenberg S., Maes D., Demeyer P., 2012. Typical indoor concentrations and emission rates of particulate matter at building level: A case study to setup a measuring strategy for pig fattening facilities. *Biosyst. Eng.*, 111, 208-289.
- Van Ransbeeck N., Van Langenhove H., Demeyer P., 2013. Indoor concentrations and emissions factors of particulate matter, ammonia and greenhouse gases for pig fattening facilities. *Biosyst. Eng.*, 116, 518–528.
- Vigan A., Hassouna M., Guingand N., Brame C., Edouard N., Eglin T., Espagnol S., Eugène M., Génemont S., Lagadec S., Loringuer E., Loyon L., Ponchant P., Robin P., 2019. Development of a database to collect emission values for livestock systems. *J. Environ. Qual.*, 48, 1899-1906, doi: 10.2134/jeq2019.01.0007.
- Winkel A., Mosquera J., Groot Koerkamp P.W.G., Ogink N.W.M., Aarnink A.J.A., 2015. Emissions of particulate matter from animal houses in the Netherlands. *Atmos. Environ.*, 111, 202–212.
- Xu W., Zheng K., Meng L., Liu X., Hartung E., Roelcke M., Zhang F., 2016. Concentrations and emissions of particulate matter from intensive pig production at a large farm in North China. *Aerosol Air Qual. Res.*, 16, 79-90.

# Evaluation par analyse de cycle de vie de stratégies de baisse du taux protéique dans les aliments pour porcs charcutiers

Léa CAPPELAERE (1, 2), Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1), William LAMBERT (3),  
Nicolas MARTIN (3), Florence GARCIA-LAUNAY (2)

(1) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada

(2) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles, France

(3) METEX NØØVISTAGO, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

[lea.cappelaere.1@ulaval.ca](mailto:lea.cappelaere.1@ulaval.ca)

## Evaluation par analyse de cycle de vie de stratégies de baisse du taux protéique dans les aliments pour porcs charcutiers

La réduction de la teneur en matières azotées (MAT) des aliments est une stratégie reconnue pour réduire les impacts environnementaux des porcs. Cette étude évalue les impacts environnementaux de baisses de MAT permises par les acides aminés (AA) libres autorisés dans le contexte français actuel. Les baisses de MAT explorées sont -1, 1,5 et 2 points, avec ou sans soja, en fournissant tous les AA libres ou uniquement juste la valine, avec deux origines de lysine. Une analyse de cycle de vie a été réalisée pour deux limites de système : LIM1 (production d'aliments, bâtiment, stockage du lisier) et LIM2 (LIM1 + épandage et économie de fertilisant minéral). Malgré un effet significatif du niveau de MAT et de l'apport en AA ( $P < 0,05$ ) sur les performances, les variations numériques sont faibles et l'apport en AA n'a pas d'effet sur les impacts environnementaux. La baisse de MAT augmente la demande en énergie et réduit l'acidification ( $P < 0,05$ ). Le changement climatique diminue dans le scénario -1 point de MAT sans soja et augmente dans les autres ( $P < 0,05$ ). Ces impacts sont plus élevés avec la lysine chinoise qu'europpéenne ( $P < 0,05$ ). L'eutrophisation diminue avec une baisse d'1 point de MAT, puis augmente ( $P < 0,05$ ). L'occupation des sols augmente avec la baisse de MAT et l'interdiction du soja ( $P < 0,05$ ). Les limites de système ont un effet significatif ( $P < 0,05$ ) sur tous les impacts sauf l'occupation des sols et interagissent avec le niveau de MAT pour l'acidification ( $P < 0,05$ ). Une réduction importante de MAT réduit les impacts liés aux émissions azotées mais augmente ceux des aliments, sans contrainte environnementale de formulation.

## Life cycle assessment (LCA) of low-crude protein strategies for fattening pigs

Reducing dietary crude protein (CP) is a recognized strategy to reduce environmental impacts of fattening pigs. This study evaluated environmental impacts of dietary CP reductions made possible by the availability of new feed-grade amino acids (AA), in the current French context. Dietary CP reductions of -1.0, -1.5 and -2.0 percentage points compared to current practices (Ref), allowing the incorporation of soybean products or not, providing all of the feed-grade AA available or only until Val, with two lysine origins were explored for a restricted two-phase feeding plan. Life cycle assessment was performed with two sets of system boundaries: LIM1 (feed production, housing, slurry storage) and LIM2 (LIM1 + spreading and savings in mineral fertilisers). Despite a significant effect of CP reduction and the AA provided on growth performances ( $P < 0.05$ ), absolute variations were small. Energy demand increased and acidification decreased after CP reduction ( $P < 0.05$ ). Climate change decreased after a 1-percentage-point reduction in CP and exclusion of soybean but increased after CP reduction in the other scenarios ( $P < 0.05$ ). These two impacts were higher when using Chinese lysine ( $P < 0.05$ ) compared to European lysine. Eutrophication decreased after CP was reduced by 1 percentage point but increased when it was reduced further ( $P < 0.05$ ). Land use increased after CP reduction and exclusion of soybean ( $P < 0.05$ ). A deficit in AA had no effect on environmental impacts. System boundaries had a significant effect ( $P < 0.05$ ) on all impacts except land use, with an interaction with CP level for acidification ( $P < 0.05$ ). Very low CP strategies reduce impacts primarily caused by nitrogen emissions but increase feed-production impacts if diets are not formulated according to environmental constraints.

## INTRODUCTION

L'élevage porcin, comme les autres élevages, contribue à divers impacts environnementaux comme le changement climatique (CC), l'eutrophisation des eaux marines et côtières (EUT) et l'acidification des sols (AC) (de Vries et de Boer, 2010). La production des aliments et la gestion des effluents contribuent majoritairement à ces impacts (Dourmad *et al.*, 2014). La baisse de la teneur en matière azotée totale (MAT) dans les aliments pour porcs à l'engrais est une stratégie reconnue (IRPP, 2017) pour réduire les impacts de la production sans affecter les performances si les régimes sont équilibrés via l'incorporation d'acides aminés (AA) libres. En effet, la baisse de MAT réduit a) l'excrétion et les émissions d'N vers l'environnement, b) l'incorporation dans les aliments de matières premières riches en protéines, comme le tourteau de soja. Ces mécanismes sont bien documentés pour des baisses de MAT utilisant Lys, Thr, Met, Trp et Val libres (Cappelaere *et al.*, 2021). La disponibilité sur le marché de nouveaux AA permet de baisser la MAT à des niveaux dont les bénéfices environnementaux sont moins connus. L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode reconnue d'évaluation de stratégies de réduction des impacts environnementaux. Cependant, une diversité importante subsiste dans les choix méthodologiques faits. Certains travaux incluent par exemple l'épandage des effluents dans le périmètre de l'étude (Kebreab *et al.*, 2016 ; Monteiro *et al.*, 2016) quand d'autres s'arrêtent à l'étape de stockage des effluents (van Zanten *et al.*, 2017 ; Méda *et al.*, 2021), ce qui n'est pas neutre pour des stratégies qui modifient les contenus en N des effluents. De même, un choix contextualisé des données ACV des matières premières, notamment le tourteau de soja et les AA libres, forts contributeurs, est déterminant pour la robustesse de l'ACV.

Les objectifs de cette étude sont donc de réaliser une évaluation environnementale de nouvelles stratégies de baisse de MAT, en explorant différents facteurs de variation comme le périmètre de l'ACV, l'incorporation de tourteau de soja, l'apport en AA libres et l'origine de la lysine.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Méthodologie ACV

Une ACV en sortie de ferme a été réalisée en contexte français (Figure 1). Le système considéré est un atelier porcin naisseur-engraisseur dans lequel des porcs à l'engrais de type (Large White x Piétrain) x (Large White x Landrace) ont menés en cohorte de 30 à 116 kg sur caillebotis intégral avec stockage des effluents sous les animaux pendant l'engraissement puis en fosse extérieure découverte jusqu'à l'épandage. Ils reçoivent une alimentation biphasée rationnée avec changement d'aliment à 60 kg de poids vif. Deux options de limites de système en aval ont été considérées : gestion des effluents jusqu'au stockage uniquement (LIM1) ou prise en compte des émissions liées à l'épandage (LIM2). Pour LIM2, on considère également que le lisier permet de substituer du fertilisant minéral (75% pour N ; 100% pour le phosphore) ; on ne considère donc que l'accroissement d'émissions résultant de l'utilisation d'un fertilisant organique à la place des engrais minéraux. L'unité fonctionnelle principale retenue est le kg de gain de poids vif en engraissement, prenant en compte les impacts liés au fonctionnement de l'atelier d'engraissement (Figure 1), concerné par la stratégie de baisse de MAT. Les impacts par kg de poids vif en sortie de ferme, incluant ceux liés aux truies et aux porcelets, ont aussi été calculés pour mesurer les effets sur tout le cycle de production.

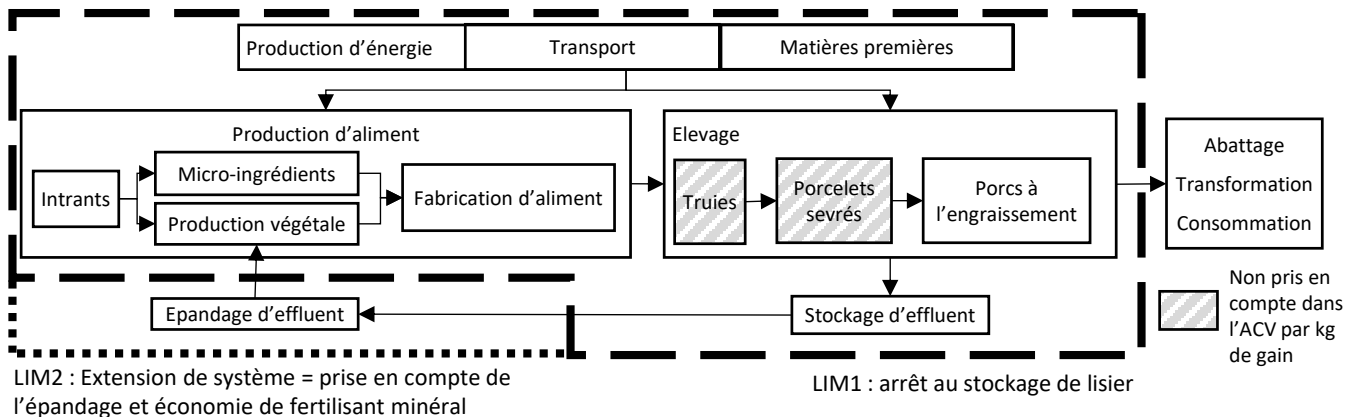


Figure 1 - Différentes limites de système prises en compte pour l'analyse de cycle de vie

Les impacts et méthodes de caractérisation retenus sont : CC (kg CO<sub>2</sub>eq), AC (molH<sup>+</sup>eq) et EUT (g Neq) avec la méthode ILCD 2011, occupation des terres (m<sup>2</sup>.an) avec la méthode CML 2001 et demande en énergie non renouvelable (MJ) avec la méthode CED V1.8. Une analyse économique a été réalisée en utilisant les prix des matières premières issues des notes de conjoncture IFIP et les données du marché du Porc Breton pour 4 contextes économiques (mai 2018, août 2019, novembre 2020 et mars 2021). Pour les nouveaux AA, les prix moyens ont été communiqués par METEX NØØVISTAGO.

### 1.2. Construction des scénarios alimentaires

Les 32 scénarios alimentaires ont été construits en croisant quatre niveaux de MAT, deux modalités d'apports des AA, deux modalités d'incorporation du soja et deux origines de la lysine :

- Niveau de MAT : témoins (Ref) formulés avec un maximum de MAT fixé selon les normes actuelles (RMT Elevages & Environnement, 2016) ; baisses de 1,0 point (1pt), 1,5 point (1,5pt) et 2,0 points (2pt) formulées avec un maximum de MAT fixé par rapport aux niveaux obtenus pour Ref dans les différents scénarios ;
- Apport en AA : tous les AA essentiels (AAE) proposés à la formulation (tousAAE) vs formule obtenue avec tousAAE dont sont retirés L-Ile, L-Leu, L-His et L-Phe, pour créer un déficit en certains AA (deficitAA) et tester les effets d'une baisse de performances ;
- Incorporation de soja : pas de contrainte d'incorporation sur le soja (SOJA) vs. interdiction de l'incorporation des produits du soja pour 1pt, 1,5pt et 2pt (noSOJA) ;
- Origine de la lysine : incorporation exclusive de L-Lys HCl produite en France (FR) ou en Chine (CN).

Les scénarios tousAAE ont été formulés à moindre coût dans quatre contextes économiques contrastés (mai 2018, août 2019, novembre 2020 et mars 2021), en utilisant les valeurs nutritionnelles des tables INRA-AFZ (2004), afin de respecter les contraintes nutritionnelles et d'incorporation. Les aliments ont été formulés avec une teneur en énergie nette de 9,5 MJ/kg, une teneur en Lys digestible iléale standardisée (DISLys) à 95% des besoins du profil moyen de femelles en début de phase (8,56 et 7,40 g/kg respectivement en croissance et finition) et les AAE au minimum au niveau du profil en AA d'InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008). Le croisement des deux limites de système, des 32 scénarios alimentaires et des quatre contextes économiques produit 256 observations.

### 1.3. Calcul des inventaires de cycle de vie

Les inventaires de cycle de vie et les calculs d'impacts environnementaux ont été réalisés grâce à un modèle individu centré (Cadéro *et al.*, 2018) simulant les performances techniques, économiques et environnementales d'un atelier d'engraissement en fonction des pratiques de l'éleveur et du potentiel de croissance des animaux. Ce modèle inclut le modèle InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008) pour la modélisation des performances à partir de profils individuels (Vautier *et al.*, 2013). Les émissions au bâtiment, au stockage et à l'épandage de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> et CH<sub>4</sub> sont calculées respectivement avec les méthodes EMEP Tier 2, IPCC Tier 2, McAuliffe *et al.* (2017), CITEPA (2021) et Rigolot *et al.* (2010). Les données ACV des matières premières proviennent de la base EcoAlim, sauf pour la L-Lys HCl (donnée communiquée par METEX NØØVISTAGO). Pour les nouveaux AA sans données EcoAlim, celles de la L-Valine ont été utilisées. EcoInvent v3.4 a été utilisée pour les processus d'arrière-plan.

### 1.4. Analyse des résultats

L'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel R, avec un modèle ANOVA (package *car*) et l'observation comme individu statistique. Les données par tonne d'aliment (coût, impacts environnementaux) sont une moyenne pondérée par l'ingéré des aliments croissance et finition. Les variables explicatives utilisées sont la baisse de MAT, le déficit ou non en AA, l'incorporation de soja et l'origine de la lysine. Aucune interaction n'a été conservée car non significatives. Pour les données de performance techniques et économiques, les variables explicatives retenues sont celles influençant la composition nutritionnelle des aliments : baisse de MAT, AA fournis et leur interaction. Pour les impacts environnementaux par kg de gain, toutes les variables explicatives ont été conservées (baisse de MAT, déficit en AA, incorporation de soja, origine de la lysine, limites de système). Les interactions d'ordre deux significatives ont été conservées : baisse de MAT et incorporation de soja, baisse de MAT et limites de système.

Une analyse de sensibilité du CC par kg de gain à la valeur CC du tourteau de soja pour les différents niveaux de MAT a été réalisée pour les scénarios tousAAE x SOJA x FR x LIM2. La gamme de valeurs utilisée couvre l'étendue des données disponibles pour des sojas avec ou sans déforestation : de 0,5 (da Silva *et al.*, 2010) à 5,6 kg CO<sub>2</sub>eq (AgriFootPrint 5.0).

## 2. RESULTATS

### 2.1. Composition des aliments

Les aliments Ref ont une teneur en MAT de 16% en croissance (maximum fixé) et entre 14,55 et 14,88% en finition selon le

contexte économique. Les traitements deficitAA ont un déficit en Ile pour tous les niveaux de baisse de MAT, allant jusqu'à un ratio DIS Ile:Lys de 48% pour un besoin à 60% et un déficit en Leu pour l'aliment croissance 2pt x noSOJA (96% pour un besoin à 100% SID Leu:Lys). La baisse de MAT augmente l'incorporation de céréales au détriment des co-produits (Figure 2). Pour les scénarios noSOJA, le tourteau de soja est remplacé principalement par du tourteau de colza. Pour les scénarios SOJA, l'incorporation de tourteau de soja diminue avec une baisse d'un point de MAT puis ré-augmente avec les baisses suivantes de MAT, remplaçant des matières premières locales comme les co-produits de céréales (remoulages de blé) et les tourteaux de colza et de tournesol. L'incorporation de L-Lys HCl est en moyenne de 4,9 et 4,3 g/kg en croissance et finition respectivement pour les aliments Ref contre 5,4 et 4,9 g/kg pour les aliments 2pt. L'incorporation de L-Ile intervient dès la baisse d'un point de MAT, celle de L-Leu dans certains aliments 2pt. L-His et L-Phe n'entrent pas dans les formules.

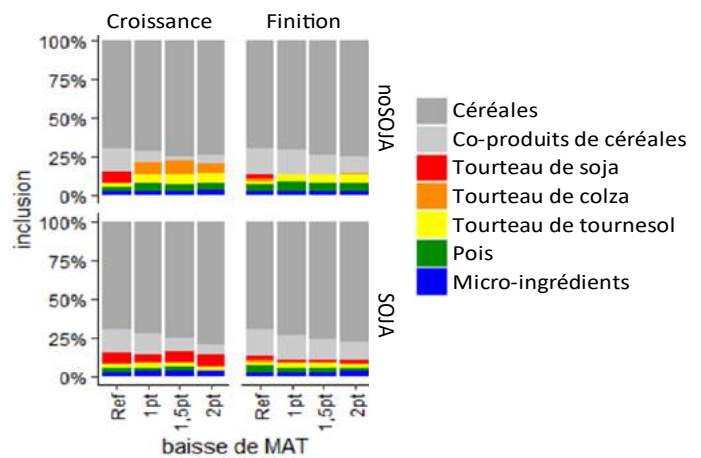


Figure 2 – composition moyenne des aliments

### 2.2. Coût et impacts environnementaux des aliments

Aucun facteur n'a d'effet significatif sur le coût de l'aliment (Tableau 1), dû à la forte variabilité entre contextes économiques. Numériquement, il augmente avec la baisse de MAT pour les scénarios tousAAE mais reste stable pour les scénarios deficitAA. L'impact CC est plus élevé pour les traitements SOJA ( $P = 0,01$ ) vs. noSOJA. Une tendance existe pour la variable baisse de MAT ( $P = 0,07$ ) avec des effets numériques différents selon l'incorporation ou non de soja. Une baisse de 1 point de MAT n'affecte pas le CC quand le soja est autorisé et a tendance à le réduire quand il est interdit. Les baisses de 1,5 et 2 points de MAT augmentent l'impact CC dans les deux cas. Les aliments utilisant de la lysine chinoise ont un impact CC plus élevé que ceux utilisant de la lysine française ( $P < 0,001$ ). La demande en énergie augmente avec la baisse de MAT ( $P = 0,03$ ), en raison de la contribution plus importante des AA libres. Elle a aussi tendance à être plus élevée quand on utilise de la lysine chinoise ( $P = 0,09$ ). L'AC et l'EUT augmentent avec la baisse de MAT ( $P < 0,05$ ) en lien avec la contribution croissante des céréales. Ces impacts sont également plus élevés avec la lysine chinoise ( $P < 0,05$ ). L'occupation des sols augmente avec la baisse de MAT et l'interdiction du soja ( $P < 0,05$ ), en lien avec l'incorporation plus importante de céréales et de protéines métropolitaines qui ont une occupation des sols élevée.

### 2.3. Performances des animaux

La baisse de MAT, les AA fournis et leur interaction ont un impact significatif sur tous les paramètres de performance de

croissance (Tableau 2,  $P < 0,05$ ) mais les variations numériques sont très faibles. Pour les scénarios tousAAE, la baisse de MAT améliore légèrement le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) mais dégrade le taux de muscle des pièces (TMP). Pour les scénarios deficitAA, les performances sont légèrement dégradées et le TMP diminue

plus rapidement. La baisse de MAT réduit les quantités d'N rejeté ( $P < 0,05$ ) et le déficit en AA diminue sa réduction possible ( $P < 0,05$ ). Aucun effet significatif n'a été relevé sur la marge par porc mais elle diminue numériquement avec la baisse de MAT et est plus élevée pour les scénarios deficitAA.

**Tableau 1** – Coût et impacts environnementaux de l'aliment moyen d'engraisement selon l'incorporation de soja (avec : SOJA, sans : noSOJA), le niveau de baisse de MAT, les AA fournis et l'origine de la lysine

	Scénarios <sup>1</sup>	Baisse de MAT				AA fournis		Origine de la lysine	
		Ref	1pt	1,5pt	2pt	tousAAE	deficitAA	CN	FR
Coût, €/t	noSOJA	211 <sup>a</sup>	214 <sup>a</sup>	217 <sup>a</sup>	220 <sup>a</sup>	218 <sup>a</sup>	213 <sup>a</sup>	216 <sup>a</sup>	216 <sup>a</sup>
	SOJA	211 <sup>a</sup>	213 <sup>a</sup>	216 <sup>a</sup>	219 <sup>a</sup>	217 <sup>a</sup>	212 <sup>a</sup>	215 <sup>a</sup>	215 <sup>a</sup>
Changement climatique <sup>2,4,6</sup> , kg CO <sub>2</sub> eq/t	noSOJA	555 <sup>ab</sup>	525 <sup>a</sup>	544 <sup>ab</sup>	557 <sup>ab</sup>	546 <sup>a</sup>	544 <sup>a</sup>	565 <sup>bc</sup>	526 <sup>a</sup>
	SOJA	555 <sup>ab</sup>	555 <sup>ab</sup>	575 <sup>ab</sup>	602 <sup>b</sup>	573 <sup>a</sup>	571 <sup>a</sup>	591 <sup>c</sup>	552 <sup>ab</sup>
Demande en énergie <sup>3,5</sup> , GJ/t	noSOJA	5,94 <sup>a</sup>	5,93 <sup>a</sup>	6,15 <sup>a</sup>	6,48 <sup>a</sup>	6,18 <sup>a</sup>	6,08 <sup>a</sup>	6,27 <sup>a</sup>	5,99 <sup>a</sup>
	SOJA	5,94 <sup>a</sup>	6,06 <sup>a</sup>	6,29 <sup>a</sup>	6,66 <sup>a</sup>	6,29 <sup>a</sup>	6,19 <sup>a</sup>	6,38 <sup>a</sup>	6,10 <sup>a</sup>
Acidification <sup>3,4</sup> , molH <sup>+</sup> eq/t	noSOJA	9,95 <sup>a</sup>	10,1 <sup>ab</sup>	10,5 <sup>ab</sup>	10,7 <sup>ab</sup>	10,3 <sup>a</sup>	10,3 <sup>a</sup>	10,5 <sup>cd</sup>	10,1 <sup>ab</sup>
	SOJA	9,95 <sup>a</sup>	10,2 <sup>ab</sup>	10,5 <sup>ab</sup>	10,9 <sup>b</sup>	10,4 <sup>a</sup>	10,4 <sup>a</sup>	10,5 <sup>bd</sup>	10,2 <sup>ac</sup>
Eutrophisation marine <sup>3,4</sup> , kg N <sub>eq</sub> /t	noSOJA	5,61 <sup>ab</sup>	5,68 <sup>abc</sup>	5,87 <sup>abc</sup>	5,99 <sup>c</sup>	5,79 <sup>a</sup>	5,79 <sup>a</sup>	5,85 <sup>a</sup>	5,72 <sup>a</sup>
	SOJA	5,61 <sup>ab</sup>	5,58 <sup>a</sup>	5,79 <sup>abc</sup>	5,97 <sup>bc</sup>	5,74 <sup>a</sup>	5,74 <sup>a</sup>	5,8 <sup>a</sup>	5,67 <sup>a</sup>
Occupation des sols <sup>3,6</sup> , m <sup>2</sup> .an/t	noSOJA	1350 <sup>a</sup>	1400 <sup>ab</sup>	1450 <sup>bc</sup>	1480 <sup>c</sup>	1420 <sup>bd</sup>	1420 <sup>cd</sup>	1420 <sup>bd</sup>	1420 <sup>cd</sup>
	SOJA	1350 <sup>a</sup>	1340 <sup>a</sup>	1400 <sup>ab</sup>	1440 <sup>bc</sup>	1380 <sup>ac</sup>	1380 <sup>ab</sup>	1380 <sup>ac</sup>	1380 <sup>ab</sup>

<sup>a-d</sup> Les moyennes ajustées suivies de la même lettre au sein d'un groupe (incorporation de soja x baisse de MAT, incorporation de soja x AA fournis, incorporation de soja x origine de la lysine) ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey. <sup>1</sup>SOJA : soja autorisé ; noSOJA : incorporation de soja interdite pour les baisses de MAT ; Ref : niveau de MAT témoin ; tousAAE : pas de déficit en AA ; deficitAA : déficit en Ile et Leu ; CN : Chine ; FR : France. <sup>2</sup>tendance ( $P = 0,07$ ) du niveau de baisse de MAT. <sup>3</sup>effet significatif ( $P < 0,05$ ) du niveau de baisse de MAT. <sup>4</sup>effet significatif ( $P < 0,05$ ) de l'origine de la lysine. <sup>5</sup>tendance ( $P = 0,09$ ) de l'origine de la lysine. <sup>6</sup>effet significatif ( $P < 0,05$ ) de l'incorporation de soja.

**Tableau 2** – Performances obtenues selon le niveau de baisse de MAT et les AA fournis

Scénarios <sup>1</sup>	tousAAE				deficitAA				P value			RSD
	Ref	1pt	1,5pt	2pt	Ref	1pt	1,5pt	2pt	MAT	AA	MAT x AA	
Ingéré, kg/j	2,320 <sup>ab</sup>	2,321 <sup>b</sup>	2,320 <sup>ab</sup>	2,319 <sup>a</sup>	2,320 <sup>ab</sup>	2,319 <sup>a</sup>	2,321 <sup>b</sup>	2,320 <sup>ab</sup>	0,033	1,0	<0,001	0,0024
IC, kg/kg	2,682 <sup>bc</sup>	2,679 <sup>ab</sup>	2,673 <sup>a</sup>	2,673 <sup>a</sup>	2,682 <sup>bc</sup>	2,684 <sup>bc</sup>	2,687 <sup>c</sup>	2,705 <sup>d</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	0,0097
GMQ, kg/j	0,848 <sup>bc</sup>	0,848 <sup>cd</sup>	0,850 <sup>d</sup>	0,850 <sup>d</sup>	0,848 <sup>bc</sup>	0,847 <sup>bc</sup>	0,846 <sup>b</sup>	0,841 <sup>a</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	0,0029
Poids final, kg	115,8 <sup>b</sup>	115,9 <sup>bc</sup>	116,0 <sup>cd</sup>	116,0 <sup>d</sup>	115,8 <sup>b</sup>	115,8 <sup>b</sup>	115,9 <sup>bc</sup>	115,6 <sup>a</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	0,17
TMP (kg/100 kg)	57,52 <sup>e</sup>	57,41 <sup>d</sup>	57,34 <sup>c</sup>	57,28 <sup>c</sup>	57,52 <sup>e</sup>	57,32 <sup>c</sup>	57,14 <sup>b</sup>	56,84 <sup>a</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	0,08
N rejeté, g/porc	3430 <sup>e</sup>	3073 <sup>d</sup>	2882 <sup>c</sup>	2699 <sup>a</sup>	3430 <sup>e</sup>	3072 <sup>d</sup>	2901 <sup>c</sup>	2744 <sup>b</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	32
Marge, €/porc	21,12 <sup>a</sup>	20,12 <sup>a</sup>	19,65 <sup>a</sup>	18,69 <sup>a</sup>	21,12 <sup>a</sup>	21,2 <sup>a</sup>	20,6 <sup>a</sup>	19,7 <sup>a</sup>	0,41	0,37	0,96	6,7

<sup>a-e</sup> Les moyennes ajustées suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey.

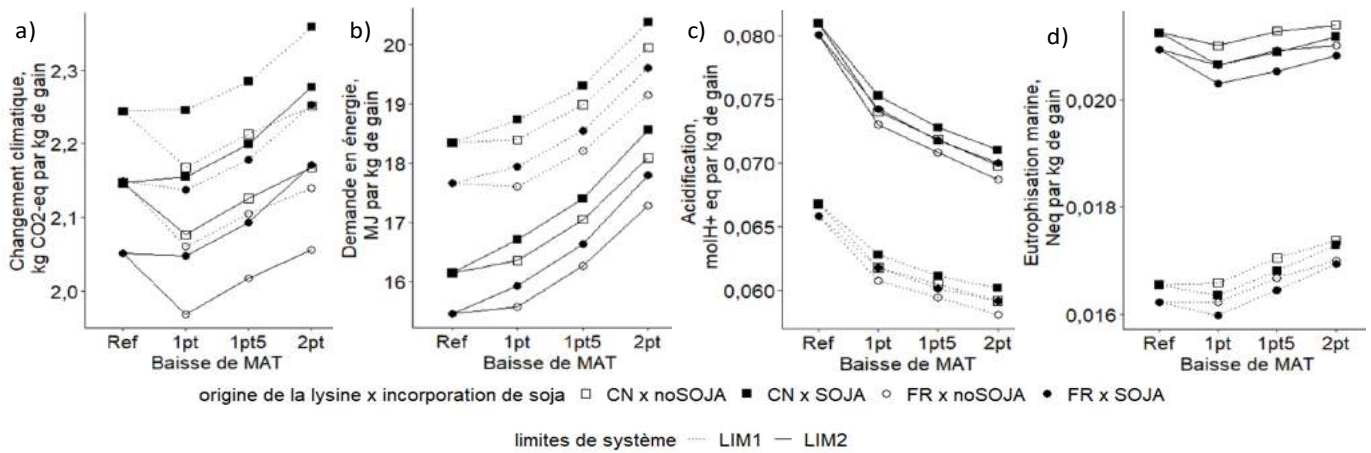
<sup>1</sup>Ref : niveau de MAT témoin ; 1pt, 1,5pt et 2pt : baisse de MAT de 1, 1,5 et 2 points ; tousAAE : pas de déficit en AA ; deficitAA : déficit en Ile.

#### 2.4. Analyse de cycle de vie

L'impact CC par kg de gain est augmenté de 4% entre Ref et 2pt pour les scénarios SOJA (Figure 3a ;  $P = 0,07$ ). Pour les scénarios noSOJA, diminuer de 1 point la MAT réduit l'impact CC de 3 à 4%. Il augmente ensuite avec les baisses suivantes pour rejoindre un niveau égal au scénario Ref. L'impact CC est plus faible pour les scénarios sans soja ( $P = 0,002$ ) et pour les scénarios utilisant de la lysine française ( $P < 0,001$ ). L'impact CC est plus élevé avec LIM1 qu'avec LIM2 ( $P < 0,001$ ), en raison du crédit pour économie de fertilisant minéral pour LIM2. La demande en énergie augmente avec la baisse de MAT (Figure 3b ;  $P < 0,001$ ) en raison de la contribution croissante des AA libres. Elle est plus élevée quand on utilise de la lysine chinoise ( $P = 0,012$ ). L'incorporation de soja n'a pas d'effet significatif ( $P > 0,05$ ). La demande en énergie est plus élevée avec LIM1 qu'avec LIM2 ( $P < 0,001$ ), pour les mêmes raisons que pour le CC. L'AC est impactée significativement par la baisse de MAT (Figure 3c ;  $P < 0,001$ ), les limites de système choisies ( $P < 0,001$ ) et leurs interaction ( $P < 0,001$ ). Avec LIM1, la baisse de

MAT permet une diminution linéaire de l'AC de 6% par point de baisse. Avec LIM2, l'AC obtenue est 20% plus élevée qu'avec LIM1 et la réduction n'est plus que de 4% par point de baisse. L'AC est légèrement plus élevée pour les scénarios SOJA ( $P = 0,002$ ) et avec la lysine chinoise ( $P < 0,001$ ). L'EUT est réduite pour une baisse d'un point de MAT puis augmente (Figure 3d ;  $P = 0,001$ ). L'origine de la lysine et l'incorporation de soja n'ont pas d'effet significatif. L'impact est 27% plus élevé quand l'épandage est pris en compte ( $P < 0,001$ ). L'occupation des sols est significativement impactée uniquement par le niveau de MAT ( $P < 0,001$ ), l'incorporation de soja ( $P < 0,001$ ) et leur interaction ( $P = 0,035$ ). Pour les scénarios SOJA, elle augmente à chaque niveau de baisse de MAT alors que pour les scénarios noSOJA, elle est stable entre Ref et 1pt puis augmente aux niveaux 1,5pt et 2pt. Les AA fournis (tousAAE vs deficitAA) n'ont aucun effet significatif sur les impacts environnementaux étudiés. Les impacts liés à l'atelier d'engraisement représentent, selon les impacts, entre 59 et 80% de l'impact total de la production porcine, avec une variation relative identique.

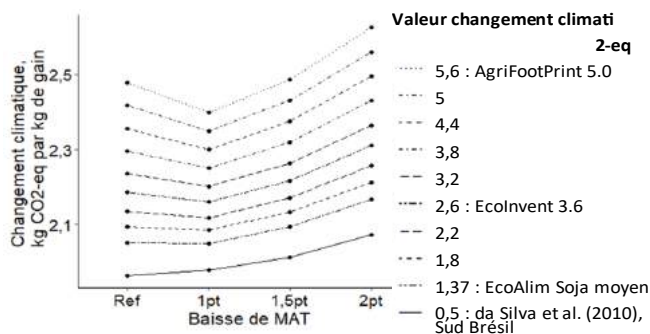




**Figure 3** - effet du niveau de MAT (témoin : Ref, baisse de 1, 1,5, 2 points : 1pt, 1,5pt, 2pt), de l'incorporation de soja (avec : SOJA, sans : noSOJA), de l'origine de la lysine (Chine : CN, France : FR) et des limites de système (avant épandage : LIM1, après épandage : LIM2) sur le changement climatique (a), la demande en énergie (b), l'acidification (c) et l'eutrophisation marine (d) par kg de gain

**2.5. Analyse de sensibilité aux valeurs changement climatique du tourteau de soja**

Le CC par kg de gain de poids pour les scénarios Ref x tousAAE x FR x SOJA x LIM2 varie entre 1,98 et 2,48 kg CO<sub>2</sub>-eq pour les valeurs de CC du tourteau de soja étudiées (Figure 4), contre 2,05 kg CO<sub>2</sub>-eq avec EcoAlim. Avec la valeur la plus faible, toute baisse de MAT augmente le CC. Avec les autres valeurs, l'impact CC par kg de gain diminue pour la première baisse de MAT puis augmente pour les deux suivantes, mais l'amplitude de cette première diminution est fortement affectée par la valeur CC du soja. Une baisse d'un point de MAT accompagnée de l'interdiction du soja diminue le CC par kg de gain entre 1 et 21% selon la valeur du tourteau de soja.



**Figure 4** - Effet de la valeur changement climatique du tourteau de soja sur le lien entre baisse de MAT et impact changement climatique par kg de gain

**3. DISCUSSION**

**3.1. Performances modélisées**

La puissance du dispositif donne des effets statistiquement significatifs pour de faibles variations de performances. Quand tous les AA sont fournis, le GMQ augmente de 0,2% avec la baisse de MAT, ce qui s'explique par des pertes d'énergie plus faibles à bas niveau de MAT dans le modèle, augmentant le gain de poids des individus pour lesquels elle est limitante. De tels niveaux de MAT ont déjà été testés expérimentalement sans identifier d'effet de la baisse de MAT mais peu de références sont disponibles (Morales *et al.*, 2015 ; Wang *et al.*, 2020). La faible baisse de performance avec les traitements deficitAA (-0,8% de GMQ) est logique vu le faible déficit en Ile.

**3.2. Analyse de cycle de vie**

La baisse de MAT augmente tous les impacts des aliments sauf le CC, en raison de la baisse d'incorporation des coproduits et l'augmentation des céréales, les premiers ayant des impacts plus faibles du fait de l'allocation économique. La baisse de l'incorporation de soja est déterminante pour la réduction du CC des aliments puisque la seule diminution est observée entre les traitements Ref et 1pt avec interdiction du soja. Cela est en partie dû à la faible incorporation de tourteau de soja dès le scénario Ref (0 à 11% en croissance et 0 à 6% en finition), qui reflète les pratiques françaises. De plus, la baisse de MAT ne cause pas automatiquement une baisse du soja puisque son incorporation augmente pour les baisses de 1,5pt et 2pt de MAT. Cela s'explique par son profil en AA équilibré, plus intéressant quand le prix des AA libres devient contraignant, tel qu'observé précédemment (Garcia-Launay *et al.*, 2014). La valeur CC du soja utilisée a un impact majeur sur l'amplitude de l'effet observé. Les bénéfices de la baisse de MAT pour les impacts de la production d'aliment sont donc limités pour des contextes où l'utilisation de soja est déjà faible. Une baisse très importante de MAT limite la flexibilité permise par les AA libres et la réduction possible d'impacts environnementaux. L'origine de la lysine utilisée a un effet sur le niveau des impacts, surtout le CC, mais sans interagir avec le niveau de MAT. L'inclusion de L-Lys HCl augmente peu avec la baisse de MAT par rapport au niveau Ref. Il serait intéressant d'étudier l'effet de l'origine de tous les AA libres.

A l'échelle de l'atelier d'engraissement, les effets sur le CC reflètent les effets sur l'aliment, qui représente 65 à 73% de l'impact. L'AC, liée à plus de 60% aux émissions azotées, diminue logiquement avec chaque baisse de MAT, avec peu d'impact des autres facteurs de variation. Pour l'EUT, la baisse des émissions azotées est compensée par l'augmentation de l'impact de l'aliment. La demande en énergie et l'occupation des sols augmentent avec la baisse de MAT, la première en lien avec l'utilisation d'AA libres. Cette étude a trouvé des effets plus contrastés que les ACV précédentes évaluant la baisse de MAT chez le porc, en Europe (Mosnier *et al.*, 2011 ; Garcia-Launay *et al.*, 2014 ; Kebreab *et al.*, 2016). Cela s'explique par un niveau de MAT témoin plus bas et une plus grande diversité de matières premières offertes dans cette étude, résultant en un traitement témoin à plus faibles impacts. Ce résultat confirme la nécessité de bien contextualiser les évaluations

environnementales de stratégies alimentaires (Monteiro *et al.*, 2016). Une baisse importante de MAT dans le contexte actuel français est intéressante pour réduire l'AC mais affecte peu l'EUT. Pour le CC, la stratégie de formulation vis-à-vis du soja détermine les bénéfices de la baisse de MAT puisqu'une baisse de MAT sans réduction du soja a un impact négatif. L'utilisation d'AA locaux à moindre impact permet également d'améliorer la performance environnementale, particulièrement à de faibles teneurs en MAT où leur incorporation est élevée. La formulation multi-objectif (Garcia-Launay *et al.*, 2018) est une stratégie à favoriser afin de limiter les compromis entre diminution de l'excrétion azotée et augmentation des impacts de la production d'aliment.

Les deux limites de système n'ont pas mené à des conclusions divergentes sur l'effet de baisses de MAT mais affectent l'amplitude des effets, comme l'inclusion de l'épandage et de l'économie de fertilisant minéral mène à un niveau de base plus faibles pour le CC et la demande en énergie et plus élevées pour l'AC et l'EUT. Ces options sont deux extrêmes et une méthodologie contextualisée représentant fidèlement les pratiques de fertilisation serait idéale mais nécessite la mise en œuvre d'études complémentaires.

## CONCLUSION

L'étude confirme l'intérêt de la baisse de MAT pour réduire l'impact AC de la production porcine. Les résultats sont plus contrastés pour les autres impacts, qui ont une contribution de l'aliment est plus importante. En effet, une réduction importante de MAT réduit les émissions azotées mais augmente les impacts environnementaux des aliments, en l'absence de contrainte environnementale de formulation. Dans le contexte étudié, le bénéfice de la baisse de MAT sur les émissions de nitrates est compensé par l'augmentation de l'impact de l'aliment dès un niveau de baisse de 1,5pt pour l'EUT. Une baisse de MAT de 1pt a permis de réduire l'impact CC quand couplée à une interdiction du soja, mais pas dans les autres scénarios de baisse. Un léger déficit en AA réduit suffisamment peu les performances de croissance pour ne pas avoir d'effet sur les impacts environnementaux. Cette étude confirme aussi, par ses résultats contrastés avec les études antérieures, la nécessité d'évaluer les effets des stratégies alimentaires sur les impacts environnementaux de la production dans différents contextes de formulation et de gestion des effluents.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J., Salaün, Y., Garcia-Launay F., 2018. Modelling interactions between farmer practices and fattening pig performances with an individual-based model. *Animal*, 12, 1277–1286.
- Cappelaere L., le Cour Grandmaison J., Martin N., Lambert W., 2021. Amino Acid Supplementation to Reduce Environmental Impacts of Broiler and Pig Production: A Review. *Front. Vet. Sci*, 8, 799.
- CITEPA, 2021. Rapport OMINEA – 18ème édition. Paris, 1044 p. <https://www.citepa.org/fr/ominea/>.
- da Silva V.P., van der Werf H.M.G., Spies A., Soares S.R., 2010. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *J. Environ. Manage.*, 91, 1831–1839.
- de Vries M., de Boer I.J.M., 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livest. Sci.*, 128, 1–11.
- Dourmad J.Y., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., Gonzalez J., Houwers H.W.J., Hviid M., Zimmer C., Nguyen T.L.T., Morgensen L., 2014. Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal*, 8, 2027–2037.
- Garcia-Launay F., Dusart L., Espagnol S., Laisse-Redoux S., Gaudré D., Méda B., Wilfart A., 2018. Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *Brit. J. Nut.*, 120, 1298–1309.
- Garcia-Launay F., van der Werf H.M.G., Nguyen T.T.H., Le Tutour L., Dourmad J.Y., 2014. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using Life Cycle Assessment. *Livest. Sci.*, 161, 158–175.
- INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Sauvart D., Pérez J.M., Tran G., Coord., INRA Eds, Paris, 291 p.
- IRPP, 2017. Best Available Techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs.
- Kebreab E., Liedke A., Caro D., Deimling S., Binder M., Finkbeiner M., 2016. Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: A life cycle assessment. *J Anim. Sci.*, 94, 2664–2681.
- McAuliffe G.A., Takahashi T., Mogensen L., Hermansen J.E., Sage C.L., Chapman D.V., Lee M.R.F., 2017. Environmental trade-offs of pig production systems under varied operational efficiencies. *J. Clean Prod.*, 165, 1163–1173.
- Méda B., Garcia-Launay F., Dusart L., Ponchant P., Espagnol S., Wilfart A., 2021. Reducing environmental impacts of feed using multiobjective formulation: What benefits at the farm gate for pig and broiler production? *Animal*, 15, 100024.
- Monteiro A.N.T.R., Garcia-Launay F., Brossard L., Wilfart A., Dourmad J.Y., 2016. Effect of feeding strategy on environmental impacts of pig fattening in different contexts of production: evaluation through life cycle assessment. *J. Anim. Sci.*, 94, 4832–4847.
- Morales A., Buenabad L., Castillo G., Arce N., Araiza B. A., Htoo J. K., Cervantes M., 2015. Low-protein amino acid-supplemented diets for growing pigs: Effect on expression of amino acid transporters, serum concentration, performance, and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 93, 2154–2164.
- Mosnier E., van der Werf H.M.G., Boissy J., Dourmad J.Y., 2011. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in the manufacturing of pig and broiler feeds using Life Cycle Assessment. *Animal*, 5, 1972–1983.
- Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Béline F., Paillat J. M., Dourmad, J. Y., 2010. Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, 4, 1413–1424
- RMT Elevages & Environnement, 2016. Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. Influence de l'alimentation, du mode de logement et de la gestion des effluents. 28 p.
- van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J. Y., Sève B., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim Feed Sci Tech*, 143, 387–405.
- van Zanten H.H.E., Bikker P., Meerburg B.G., de Boer I.J.M., 2017. Attributional versus consequential life cycle assessment and feed optimization: alternative protein sources in pig diets. *Int. J. Life Cycle Ass.*, 23, 1–11.
- Vautier B., Quiniou N., Van Milgen J., Brossard L., 2013. Accounting for variability among individual pigs in deterministic growth models. *Animal*, 7, 1265-1273.
- Wang H., Long W., Chadwick D., Velthof G.L., Oenema O., Ma W., Wang J., Qin W., Hou Y., Zhang F., 2020. Can dietary manipulations improve the productivity of pigs with lower environmental and economic cost? A global meta-analysis. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 289, 106748.

# Rôle et impact environnemental du cuivre et du zinc en élevage porcin : de l'alimentation au retour au sol des effluents

Emma GOURLEZ (1)(2), Jean-Yves DOURMAD (2), Alessandra MONTEIRO (1), Fabrice BELINE (3), Francine DE QUELEN (2)

(1) Animine, 10 rue Léon Rey Grange, 74960 Annecy

(2) UMR PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles

(3) UR OPAALE, INRAE, 35044 Rennes

[egourlez@animine.eu](mailto:egourlez@animine.eu)

[francine.dequelen@inrae.fr](mailto:francine.dequelen@inrae.fr)

## Rôle et impact environnemental du cuivre et du zinc en élevage porcin : de l'alimentation au retour au sol des effluents

Le cuivre et le zinc sont des éléments-traces métalliques (ETM) qui peuvent présenter à plus ou moins long terme un risque environnemental pour les sols agricoles sur lesquels sont valorisées les déjections porcines. Le cuivre et le zinc sont essentiels pour la croissance et la santé des porcs en élevage, ils sont donc ajoutés dans l'aliment sous forme de supplémentation. Cependant, du fait de leur faible taux de rétention par le porc, ils se retrouvent très majoritairement excrétés dans les déjections. De plus, ce sont des ressources minérales naturelles limitées. Il est alors essentiel de caractériser leurs flux tout au long du continuum aliments-déjections-traitements-sols afin de maîtriser au mieux leur utilisation. Un état des lieux des connaissances existantes sur ces flux montre que l'alimentation est le principal levier pour limiter les rejets de cuivre et de zinc vers l'environnement. La réglementation européenne fixe actuellement des teneurs limites des aliments en cuivre et en zinc (e.g. pour un porc en engraissement 25 et 120 mg.kg<sup>-1</sup> MS respectivement). Le traitement des déjections est un second levier pour optimiser la valorisation de ces effluents d'élevage et mieux gérer la redistribution du cuivre et du zinc sur les sols, en les concentrant dans certains produits plus facilement exportables vers des zones en déficit. Une meilleure connaissance de leur spéciation tout au long de la filière est aussi nécessaire pour mieux maîtriser leur devenir et préciser les risques pour l'environnement. Pour aller encore plus loin dans la maîtrise et la réduction du risque environnemental, des recherches restent nécessaires pour affiner les stratégies d'apport dans les aliments, tout en conservant les performances et la santé des animaux et en prenant en compte les différentes modalités de gestion des effluents dans le cadre d'une bioéconomie circulaire.

## Role and environmental impacts of copper and zinc in pig farming: from feed to agricultural soils

Copper and zinc are heavy metals that may have short- or long-term environmental risk for agricultural soils on which pig manure is spread. Copper and zinc are essential for pigs and farm performance, and they are added as supplements to the feed. Because of their low retention rate by animals, however, most of the amounts ingested are excreted in manure. Moreover, they are limited natural mineral resources. It is thus essential to characterize their flows better through the continuum of feed - manure - treatment - soils to manage their use better. A literature review of these flows indicates that adapting pig feed is the main mechanism available to decrease the release of copper and zinc into the environment. European Union regulations set maximum dietary concentrations of copper and zinc (e.g. 25 and 120 mg.kg<sup>-1</sup> DM for fattening pigs, respectively). Treating farm waste is another way to derive added value from these wastes and better control the transfer of copper and zinc to soils, by concentrating these elements in products that can be exported from pig farms to regions that need them. Thus, improved knowledge of their distribution through the production chain is necessary to manage their fate and evaluate their environmental risks better. To go even further in managing and reducing environmental risk, more research is thus needed to refine feeding strategies that include copper and zinc, while maintaining animal performance and health and considering strategies of manure management and treatment, as part of the circular bioeconomy.

## INTRODUCTION

Chaque année, l'agriculture française produit plus de 300 millions de tonnes d'effluents organiques, dont 26 millions de tonnes de lisiers et 0,8 million de tonnes de fumiers épandus par an en France proviennent de l'élevage porcin (Loyon, 2017). Ces effluents constituent des ressources considérables en nutriments et en énergie. Cependant, ils peuvent également représenter des sources de pollutions de l'air, de l'eau ou du sol à la fois au niveau local et global. L'enjeu est donc de mieux valoriser les ressources contenues dans les effluents (nutriments, énergie...) afin de réduire leur impact environnemental et de valoriser leur potentiel agronomique, énergétique et économique dans le cadre d'une bioéconomie circulaire.

En raison de leur faible taux d'absorption par le porc et de leurs effets bénéfiques sur la santé et les performances de croissance, le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) sont apportés en quantité importante dans l'alimentation. Leurs effluents peuvent alors contenir des quantités de Cu et de Zn entre 4 à 10 fois supérieures aux besoins des plantes lorsque les apports agronomiques sont raisonnés sur la base des teneurs en azote (N) ou phosphore (P). L'épandage direct étant la principale voie de valorisation des effluents, ces éléments sont donc épandus en excès et s'accumulent dans les sols (Coppenet *et al.*, 1993 ; L'Herroux *et al.*, 1997 ; Jensen *et al.*, 2018) entraînant des risques de toxicité pour les microorganismes du sol (McGrath *et al.*, 1995) et pour les plantes (McGrath, 1981 ; Jondreville *et al.*, 2002 ; Revy, 2003). Par ailleurs, l'utilisation de doses pharmacologiques de Zn chez les porcelets contribuerait au développement de résistances bactériennes aux antibiotiques (Jensen *et al.*, 2018), ce qui constitue également un enjeu important pour leur réduction.

Pour limiter ces différents risques, aussi bien pour l'environnement que la santé humaine, la réglementation européenne encadre de plus en plus strictement les quantités de Cu et de Zn pouvant être apportées dans l'alimentation animale (EU-2016/1095 ; EU-2018/1039), la nutrition constituant le principal levier pour en réduire les flux. Il existe aussi des réglementations relatives aux épandages de ces minéraux, et des cahiers des charges ou des normes spécifiques sur la teneur en Cu et en Zn des fertilisants et amendements organiques. Par ailleurs les différentes technologies de traitement des effluents qui se développent (compostage, digestion aérobie et anaérobie...) peuvent entraîner un accroissement de la concentration en ces éléments, notamment par rapport à la matière sèche (MS) (Hsu et Lo, 2001 ; Legros *et al.*, 2017). La connaissance et le pilotage de ces flux dans un contexte de diversification des filières de valorisation des effluents sont ainsi des questions d'importance.

Dans cette synthèse, les flux de Cu et de Zn et leur devenir sont caractérisés tout au long du continuum aliment-animal-déjection-sol. Une première partie rappelle l'utilisation du Cu et du Zn dans l'alimentation porcine et les besoins du porc. Les rejets de ces éléments dans les effluents sont discutés dans une seconde partie. Une troisième partie permet de décrire le comportement du Cu et du Zn dans les différentes filières de gestion des effluents porcins. Enfin, l'impact du retour au sol des produits issus de l'élevage porcin et de leur composition en Cu et en Zn sur l'environnement est discuté. Compte tenu des données disponibles, cette synthèse s'intéresse principalement au porcelet et au porc à l'engraissement.

## 1. LE CUIVRE ET ZINC DANS L'ALIMENTATION DU PORC

Le Cu et le Zn sont considérés comme des minéraux essentiels dans la nutrition porcine. Leur quantité biodisponible dans les matières premières composant la ration de base de l'alimentation n'est généralement pas suffisante pour couvrir les besoins physiologiques (Männer, 2008). Ainsi, ils sont supplémentés dans l'aliment en quantité allant du niveau nutritionnel, afin de couvrir les besoins des animaux, jusqu'à des niveaux supra-nutritionnels permettant d'améliorer la croissance ou la santé digestive. Toutefois, leur rétention étant très faible, ils se retrouvent en grande majorité dans les déjections. La réduction de l'apport alimentaire en Cu et en Zn est ainsi le principal levier pour diminuer leur quantité dans les effluents et leurs potentiels impacts sur l'environnement, tout en veillant à n'affecter ni la croissance ni la santé de l'animal. Pour cela, il est essentiel de mieux comprendre leur fonction et leur comportement dans l'organisme, qui influencent leur biodisponibilité et donc leur absorption et excrétion.

### 1.1. Fonctions du cuivre et du zinc chez le porc

#### 1.1.1. Teneurs corporelles

La teneur corporelle du porc en Cu est faible, de l'ordre de 200 mg pour un animal de 100 kg de poids vif (PV). Le Cu est retrouvé en majorité au niveau du squelette (40 à 46 %), des muscles (23 à 26 %) et du foie (8 à 10%) (Cromwell, 1997). Le foie représente le principal lieu d'accumulation du Cu. La teneur en Cu hépatique est un indicateur du statut en Cu des animaux et un révélateur des pratiques d'alimentation. En élevage, Hodges et Fraser (1983) ont ainsi observé une grande variabilité de la teneur en Cu dans des échantillons de foie issus de porcs d'origine et d'âge variables. Dans 9% des cas, ils observent une teneur inférieure à 12 mg.kg<sup>-1</sup> MS, signe d'un risque de déficience, mais pour la majorité des animaux la teneur dépasse 20 mg.kg<sup>-1</sup> MS, signe d'apport supra nutritionnels en Cu. La teneur du foie en Cu dépend non seulement de la concentration alimentaire mais aussi de la biodisponibilité des apports (Roméo *et al.*, 2018).

Le Zn est plus abondamment présent dans l'organisme du porc, avec des quantités de l'ordre de 1,5 à 2,5 g pour un animal de 100 kg de PV. Il est retrouvé en majorité dans les tissus musculaires du porc (environ 60 %) et dans le squelette (environ 30 %), les os constituant le principal lieu de stockage du Zn. Les concentrations les plus élevées de Zn se retrouvent dans les poils (200 mg.kg<sup>-1</sup> MS) et le foie (150 mg.kg<sup>-1</sup> MS). Comme chez la majorité des mammifères, la teneur plasmatique en Zn est d'environ 1 mg.L<sup>-1</sup> chez le porc, correspondant à 0,1 % du Zn corporel total (Swinkels *et al.*, 1994).

#### 1.1.2. Fonctions physiologiques et catalytiques

Le Cu est un élément essentiel pour le bon fonctionnement de différentes fonctions biologiques, telles que la respiration cellulaire, la protection contre le stress oxydatif et le transport du fer (Fe) (Suttle, 2010), et est ainsi présent dans de très nombreux enzymes, cofacteurs et protéines (Espinosa et Stein, 2021).

Le Zn, quant à lui, est fondamental à la bonne intégrité structurelle et fonctionnelle de presque 200 facteurs de transcription. La plupart des voies métaboliques sont dépendantes d'une ou plusieurs protéines fonctionnant grâce à la présence de Zn, cofacteur de plus de 300 métalloenzymes (Suttle, 2010). Il est notamment un composant des ADN et ARN synthétases et transférases, et de nombreuses enzymes digestives (NRC, 2012).

Le Cu et le Zn jouent un rôle dans la protection contre le stress oxydatif. Cela est dû à leur interaction avec des protéines et enzymes de protection contre le stress oxydant (superoxyde dimutase, céruloplasmine ferroxidase) (Suttle, 2010). Une carence en Zn augmente la susceptibilité des cellules endothéliales à ces stress, le Zn étant le déclencheur de la métallothionéine, intervenant dans la détoxification des cellules et ayant une forte affinité pour le Zn et pour le Cu, et a un caractère antioxydant (Suttle, 2010).

À des niveaux d'apports « pharmacologiques », le Cu et le Zn peuvent également agir chez le porc comme « facteurs de croissance ». Cet effet peut être lié à une amélioration de la digestibilité de l'aliment ou de l'appétit des animaux (Suttle, 2010), à une réduction des troubles digestifs, en particulier des diarrhées (Bikker *et al.*, 2016), mais également à leur activité antibiotique et à leur effet de modulation du microbiote et d'amélioration de l'intégrité de la barrière intestinale (Villagómez-Estrada *et al.*, 2020a).

## 1.2. Besoins du porc

Le besoin d'un animal en un élément correspond à la quantité à apporter pour permettre à son organisme d'accomplir toutes ses fonctions biologiques et physiologiques (Revy, 2003 ; Schlegel, 2010). Il peut varier selon le critère de réponse utilisé pour le définir. La satisfaction des besoins physiologiques des animaux étant fortement influencée par la biodisponibilité des minéraux dans les aliments (NRC, 2012), la définition du besoin doit également tenir compte des formes d'apport. En pratique il est nécessaire de bien connaître les besoins en Cu et en Zn et leur évolution au cours du temps, afin d'adapter au mieux l'alimentation et ainsi réduire les risques de déficits, néfastes pour les performances, ou d'excès, néfastes pour l'environnement.

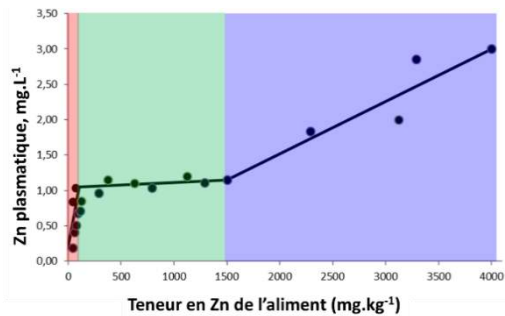
### 1.2.1. Evaluation des besoins du porcelet et du porc en croissance

Deux approches principales sont utilisées pour évaluer le besoin d'un minéral, une empirique et une factorielle (Schlegel, 2010), la première étant la plus fréquente pour les éléments-traces métalliques (ETM). Celle-ci consiste à tester expérimentalement les effets d'une augmentation graduelle des quantités de Cu et Zn dans les aliments afin d'évaluer la réponse de plusieurs paramètres zootechniques ou physiologiques. Le traitement statistique des résultats par un modèle linéaire plateau est ensuite généralement utilisé pour décrire la réponse et définir le besoin au point de rupture (Kirchgessner, 1993).

Une réponse spécifique et représentative d'une certaine sensibilité des fonctions de l'animal pour le Cu ou le Zn doit être observée afin de désigner un critère comme caractéristique du besoin (Schlegel, 2010). Pour le Cu, le critère le plus représentatif généralement retenu est sa concentration dans le foie ; pour le Zn ce critère est sa concentration dans les os ou dans le plasma (Jongbloed, 2010).

Ceci est illustré sur la figure 1 pour le Zn chez le porcelet en post-sevrage, sur la base de différentes références bibliographiques. En fonction du niveau d'apport on peut ainsi définir (i) une zone de carence (en rouge) dans laquelle l'apport n'est pas suffisant pour maintenir un niveau plasmatique adéquat, (ii) une zone d'homéostasie (en vert) dans laquelle le niveau plasmatique reste constant grâce à la mise en place de différents mécanismes d'homéostasie (stockage, excrétion...), et (iii) une zone d'excès (en bleu) dans laquelle la concentration plasmatique s'accroît avec l'apport alimentaire, les mécanismes

d'homéostasie étant vraisemblablement saturés. Le point de rupture entre la zone en rouge et en vert permet de définir le besoin nutritionnel, alors que la rupture entre les zones en vert et bleu indiquent l'apparition d'un risque d'excès.



**Figure 1** – Évolution de la concentration du plasma en Zn chez le porcelet en fonction de la teneur en Zn de l'aliment (d'après Hahn et Baker, 1993 ; Hill *et al.*, 2001 ; Revy, 2003)

Les besoins stricts du porcelet en Cu sont estimés à 5-6 mg.kg<sup>-1</sup> d'aliment et ils ne dépassent pas cette valeur pour les stades physiologiques plus avancés (NRC, 2012). Toutefois ce besoin ne prend pas en compte les effets bénéfiques d'apports plus élevés observés sur les performances ou la santé digestive à certaines phases critiques de la vie de l'animal, comme au moment du sevrage, ou chez la truie reproductrice.

Le NRC (2012) donne différentes références de besoins en Zn pour le porc selon le stade de croissance ou le stade physiologique de l'animal. Chez le porcelet sevré les besoins sont estimés à 80 mg Zn ajouté par kg d'aliment. Chez les porcs à l'engraissement, les besoins moyens estimés dans une ration de base par le NRC (2012) sont d'environ 50 mg.kg<sup>-1</sup> d'aliment. Ce besoin peut varier en fonction de différents critères qui modifient la biodisponibilité de Zn : la nature de l'aliment, sa teneur en calcium (Ca) et en phytate, et l'incorporation de phytase (Revy, 2003 ; Spears et Hansen, 2008).

### 1.2.2. Effet de carence

Les situations de carence en Cu chez le porc sont rarement observées et peuvent apparaître chez un porcelet sevré alimenté avec environ 100 mg.kg<sup>-1</sup> de Fe, 130 mg.kg<sup>-1</sup> de Zn et 2 mg.kg<sup>-1</sup> de Cu (Jondreville *et al.*, 2002). Les signes apparents d'une carence en Cu sont une anémie, une inclinaison des membres, l'apparition de fractures spontanées et de problèmes cardiaques et vasculaires et une dépigmentation (NRC, 2012). Des résultats récents (Dalto *et al.*, 2021) indiquent toutefois un risque d'apparition d'une carence en Cu dans le cas d'un apport de Zn à des doses pharmacologiques (2500-3000 mg.kg<sup>-1</sup>), confirmant ainsi la réduction du Cu plasmatique observée par Hill *et al.* (2001) dans cette situation. Les principaux symptômes d'une carence en Zn sont, dans un premier temps, une perte d'appétit, l'apparition de diarrhées et un retard de croissance. L'anorexie est un des premiers signes observés et entraîne la réduction de la taille et de la solidité du fémur chez les porcelets carencés (Suttle, 2010). La diarrhée émergente est due à une réduction du renouvellement des entérocytes (Revy, 2003). De plus, une diminution du niveau de Zn dans le plasma ou dans le sérum est observée ainsi que de celui en phosphatase alcaline et en albumine (Suttle, 2010 ; NRC 2012). Les animaux répondent toutefois à une déficience en Zn en régulant les différents transporteurs du Zn intestinaux, mais ce n'est pas suffisant pour couvrir le déclin prématuré de la concentration en Zn dans le plasma et le sérum des porcelets carencés (Suttle, 2010). Le principal symptôme d'une déficience en Zn et le dernier signe apparaissant est une hyperkératinisation de la peau appelée parakératose (Suttle, 2010 ; NRC, 2012).



### 1.2.3. Effet d'excès

Les cas d'intoxication au Cu sont rares chez le porc (Jondreville *et al.*, 2002). Une distribution de plus de 250 mg.kg<sup>-1</sup> de Cu sur du long terme peut toutefois amener à un effet toxique et les signes observés sont une réduction du niveau d'hémoglobine et une jaunisse (NRC, 2012). Cela peut amener à une réduction du stockage du Fe dans le foie et donc une anémie, due à une réaction négative du Cu sur le Fe, dont l'absorption est limitée (Jondreville *et al.*, 2002). La tolérance du porc à de fortes doses alimentaire de Cu dépend de l'apport de Zn dans l'aliment et des interactions du Cu et du Zn avec les métallothionéines (Jondreville *et al.*, 2002).

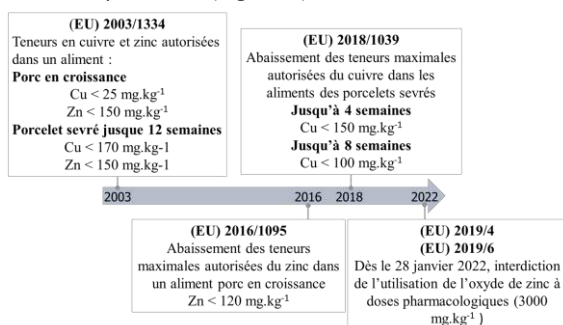
Le Zn est également peu toxique pour la plupart des mammifères. Toutefois, un excès de Zn dans l'aliment entraîne une diminution de son absorption, une augmentation de son stockage dans les os et dans les entérocytes après liaison aux métallothionéines et donc une augmentation du turn-over dans les tissus et des sécrétions endogènes du Zn. À des doses pharmacologiques, l'excès d'apport en Zn peut s'accompagner d'une réduction de l'ingestion d'aliment et de la vitesse de croissance associée (Hahn et Baker, 1983). Cette situation s'accompagne d'une altération du métabolisme du Cu et du Fe, avec des risques de carences si la situation d'excès se prolonge (Dalto *et al.*, 2021). Par ailleurs, la susceptibilité de l'animal à l'excès de Zn dépend aussi des teneurs de l'aliment en Ca, en Fe, en Cu et en cadmium (Revy, 2003).

Finalement, la capacité d'un aliment à couvrir les besoins en Cu et en Zn du porc et le potentiel comportement toxique de ces éléments dépendent de leur concentration mais également de leur biodisponibilité (Hahn et Baker, 1983 ; Suttle, 2010) ; le taux d'absorption et l'efficacité correspondant modifient les besoins totaux des animaux en ETM (Männer, 2008).

## 1.3. Apports alimentaires de cuivre et de zinc

### 1.3.1. Réglementation

Les réglementations européennes concernant les teneurs maximales autorisées en Cu et en Zn dans l'alimentation du porc ont évolué depuis 2003 (Figure 2).



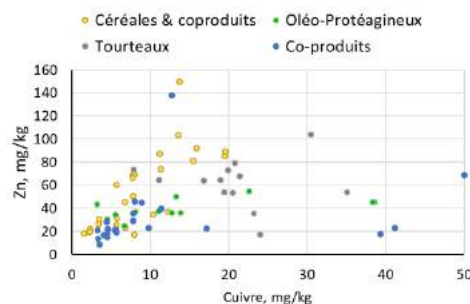
**Figure 2** – Réglementations européennes concernant les teneurs maximales autorisées en zinc et cuivre dans l'alimentation du porc en croissance.

Dès le 1er juillet 2022, l'utilisation de l'oxyde de zinc (ZnO) sur prescription vétérinaire sera interdit en Europe. Cette réglementation vise à réduire l'excrétion de Zn dans les déjections (Revy, 2003) et son accumulation dans le sol, et à limiter le développement de phénomène d'antibiorésistance auxquels peuvent contribuer les apports élevés de Zn (Ciesinski *et al.*, 2018).

### 1.3.2. Composition des matières premières

La ration de base des porcs est composée principalement de céréales (blé, orge triticale, maïs...), de co-produits (sons, remoulages, drèches...), d'oléo-protéagineux (pois, fève, tourteaux de colza, de soja, de tournesol...) et de compléments minéraux vitaminés (additifs alimentaires).

Les céréales, leurs co-produits et les protéagineux contiennent entre 5 et 15 mg de Cu par kg MS (Figure 3). Les céréales et protéagineux contiennent en moyenne de 20 à 30 mg.kg<sup>-1</sup> MS de Zn, les co-produits de céréales présentant une teneur plus élevée en Zn (entre 70 et 90 mg.kg<sup>-1</sup> MS, Figure 3). Les graines d'oléo-protéagineux et les tourteaux en contiennent entre 30 et 90 mg.kg<sup>-1</sup> MS de Zn (Figure 3).



**Figure 3** – Teneur en Zn des matières premières de la ration de base des porcs en fonction de leur teneur en Cu (d'après Jondreville *et al.*, 2002 ; Revy 2003 ; Suttle, 2010)

### 1.3.3. Différentes formes de supplémentation

Un aliment non supplémenté peut théoriquement couvrir les besoins en Cu des porcs en croissance (environ 6 mg.kg<sup>-1</sup>). Toutefois, en pratique, une supplémentation en Cu dans les aliments est généralement appliquée afin de prendre en compte l'imprécision de l'estimation des besoins et de contrebalancer les effets antagonistes de certains éléments de la ration, qui affectent la biodisponibilité du Cu et donc les besoins du porc. La supplémentation en Cu de l'aliment sert de marge de sécurité (Jondreville *et al.*, 2002). Contrairement au Cu, une supplémentation en Zn est indispensable dans l'alimentation porcine afin de couvrir les besoins de l'animal, car l'apport par les matières premières seules n'est pas suffisant. De plus, la variation de la biodisponibilité du Zn alimentaire due aux différents composants de la ration doit également être prise en compte (Revy, 2003).

Le Cu et le Zn apportés comme additifs, peuvent provenir de différentes sources. Les sulfates (CuSO<sub>4</sub> et ZnSO<sub>4</sub>) sont généralement considérés comme les sources de référence dans les études comparatives de biodisponibilité. Cependant, le fait que ces sources soient fortement solubles signifie qu'elles peuvent également être plus facilement liées à d'autres éléments de la ration, en particulier les phytates contenus dans de nombreuses matières premières, réduisant ainsi leur biodisponibilité (Revy, 2003). Il existe d'autres sources de supplémentation (oxydes, chlorures, chélates) qui présentent des caractéristiques physico-chimiques très variables. En pratique, le ZnO et le CuSO<sub>4</sub> sont les sources les plus fréquemment utilisées pour l'alimentation animale (Revy, 2003).

### 1.3.4. Biodisponibilité du cuivre et du zinc de l'aliment et facteurs de variabilité

La biodisponibilité est la proportion d'un nutriment ingéré qui est absorbée et utilisée par l'animal (O'Dell, 1989).

Deux approches expérimentales existent pour mesurer la biodisponibilité d'un minéral. La première consiste à mesurer la réponse de différents critères physiologiques à des apports croissants du minéral, tout en restant en dessous du besoin (zone en rouge dans la figure 1). La deuxième consiste à mesurer cette réponse avec des apports bien supérieurs aux besoins et à mesurer leur accumulation dans le sang ou dans

différents tissus comme l'os ou le foie (Spears et Hansen, 2008). Dans les deux cas ces réponses sont évaluées relativement à une source de référence ( $\text{CuSO}_4$  et  $\text{ZnSO}_4$ ) dont la biodisponibilité est fixée à 100%. La biodisponibilité est alors calculée en comparant les pentes de réponse des différentes sources testées. La biodisponibilité des minéraux est influencée par le type de supplémentation minérale apportée, par des facteurs tels que le statut physiologique de l'animal ou son statut minéral, et également par des effets d'interactions avec d'autres éléments de la ration, agonistes ou antagonistes (O'Dell, 1989 ; Männer, 2008). Les différents types d'interactions possibles sont la formation de complexes non absorbables dans l'intestin, la compétition entre cations pour le transport de cations divalents non spécifiques, la compétition entre anions similaires pour une voie métabolique ou encore l'induction de protéines liées à des métaux non spécifiques (Suttle, 2010). La différence de biodisponibilité du Cu et du Zn entre les sources pourrait s'expliquer en grande partie par ces phénomènes, ainsi que leurs différentes propriétés physico-chimiques. Les sources insolubles dans l'eau permettraient de réduire certains de ces effets antagonistes, favorisant ainsi la bonne absorption du Cu et du Zn (Männer, 2008).

Le Zn a un effet antagoniste sur le Cu, c'est-à-dire qu'il inhibe son absorption. Cet effet est dû à l'effet inducteur du Zn sur la métallothionéine qui présente une forte affinité avec le Cu, empêchant son transfert dans la séreuse, par induction de la synthèse de ces protéines (Revy, 2003). Les phytates forment avec le Zn des complexes non absorbables, ce qui diminue la biodisponibilité du Zn (Suttle, 2010). L'hydrolyse des phytates permet la libération du Zn, mais les monogastriques ne possèdent pas naturellement l'enzyme phytase nécessaire. Un ajout de phytase microbienne à la ration permet ainsi d'améliorer la disponibilité du Zn. Revy *et al.* (2004) ont montré que 700 unités de phytase peuvent ainsi remplacer 32 - 43 mg de Zn sous forme de sulfates. De même, Bikker *et al.* (2012) ont estimé que 500 unités de phytase peuvent remplacer 27 mg de Zn sous forme de sulfate. Selon la méta-analyse conduite par Schlegel et Jondreville (2011), seul le Zn naturellement présent dans les aliments est influencé par les phytates et la phytase, et non celui ajouté à la ration sous forme de supplémentation. Cet effet antagoniste des phytates est augmenté après ajout de Ca à la ration (Suttle, 2010). Un complexe phytate-Ca-Zn se forme et précipite le Zn dans le tube digestif (Revy, 2003). L'effet antagoniste des phytates sur le Zn est d'autant plus important chez les jeunes animaux, qui reçoivent des régimes plus riches en Ca que leurs besoins (Suttle, 2010).

Le Cu est moins affecté par les phytates et le Ca de la ration, du fait de sa plus forte affinité pour des acides aminés libres, avec lesquels il forme des chélates, ce qui permet au Cu de conserver sa solubilité (Jondreville *et al.*, 2002). Toutefois, les sources solubles de Cu peuvent interagir dans le tube digestif avec les phytates et former des complexes zinc-calcium-cuivre-phytate ou cuivre-calcium-phytate (Oberleas, 1973), résistants à l'activité hydrolytique de la phytase.

## 2. EXCRETION DE CUIVRE ET DE ZINC PAR LES PORCS

Le Cu et le Zn sont peu retenus par les animaux. Ils se retrouvent donc majoritairement excrétés dans les déjections, principalement dans les fèces. Les concentrations de ces ETM peuvent alors constituer des facteurs limitant la valorisation agronomique de ces déjections. La maîtrise de ces teneurs est donc importante pour optimiser les stratégies d'apport selon la filière de valorisation des effluents.

### 2.1. Rétenion du cuivre et du zinc et composition moyenne des déjections

#### 2.1.1. Rétenions corporelles de cuivre et zinc par les porcs

De nombreuses études ont déterminé la rétention corporelle du Cu et du Zn par le porc, ce qui permet de calculer, par différence avec l'ingestion, les quantités excrétées et leur teneur dans les effluents. La rétention est relativement faible et est estimée d'après la bibliographie à environ  $22 \text{ mg.kg}^{-1}$  de gain de poids pour le Zn (Dourmad *et al.*, 2002) et à moins de  $2 \text{ mg.kg}^{-1}$  de gain de poids pour le Cu (Jondreville *et al.*, 2002). Près de 80 à 90% du Zn et du Cu ingérés par les porcs se retrouvent dans les déjections porcines dont entre 1 et 2% seulement sont excrétés dans les urines (Dourmad *et al.*, 2002).

#### 2.1.2. Composition moyenne des déjections

La composition des lisiers va principalement dépendre de la composition des aliments distribués aux porcs. La digestibilité de la MS et de la matière organique (MO) des aliments étant de l'ordre de 70-80%, et donc plus élevées que celles du Cu et du Zn (de l'ordre de 1 à 2%), ces ETM sont beaucoup plus concentrés dans les déjections que dans l'aliment. Les lisiers peuvent ainsi contenir jusqu'à 1000 mg Cu par kg MS et 2000 mg Zn par kg MS, en considérant tous types et stades d'animaux (Dourmad *et al.*, 2002 ; Jondreville *et al.*, 2002 ; Marcato, 2007).

#### 2.1.3. Référence de rejet de cuivre et zinc des porcs

En 2016, les références CORPEN définissant les quantités de N, P, Cu et Zn excrétés par les porcs ont été mises à jour. Elles sont rapportées dans le tableau 1, en comparaison des valeurs calculées en tenant compte des réglementations les plus récentes de l'UE relatives aux teneurs maximales autorisées dans les aliments (EU 2016/1095, 2018/1039).

**Tableau 1** – Rejet de cuivre (Cu) et zinc (Zn) des porcs selon les références CORPEN 2016 (calculés selon Dourmad *et al.*, 2015) et nouvelles estimations en tenant compte des nouvelles réglementations de l'UE (2016/1095, 2018/1039).

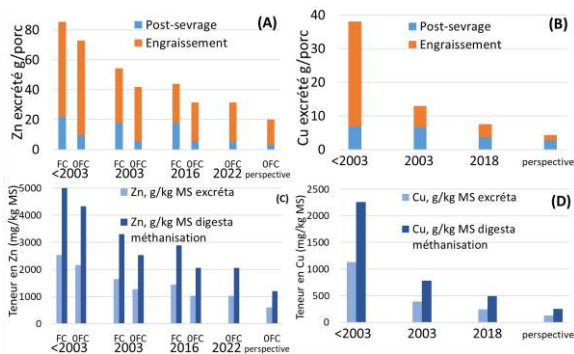
Stade physiologiques	Zn ingéré	Zn excrété	Cu ingéré	Cu excrété
<b>Truie reproductrice, g/an</b>	180 <b>144<sup>1</sup></b>	173 <b>137<sup>1</sup></b>	30,0 <b>30,0<sup>1</sup></b>	29,7 <b>29,7<sup>1</sup></b>
<b>Post-sevrage, g/porc</b>	5,8 <b>5,8<sup>1</sup></b>	5,3 <b>5,3<sup>1</sup></b>	6,6 <b>4,9<sup>1</sup></b>	6,6 <b>6,6<sup>1</sup></b>
<b>Post sevrage avec 3000 mg/kg de ZnO, g/porc</b>	19,2	18,7	6,6	6,6
<b>Engraissement, g/porc</b>	36 <b>28,8<sup>1</sup></b>	34,1 <b>26,9<sup>1</sup></b>	6,0 <b>6,0<sup>1</sup></b>	5,9 <b>5,9<sup>1</sup></b>
<i>Phase solide issue de raclage en V, g/porc</i>	34,7	31,4	5,8	5,4
<i>Phase liquide issue de raclage en V, g/porc</i>		2,7		0,5

<sup>1</sup>Selon les nouvelles réglementations (EU) 2016/1095, (EU) 2018/1039.

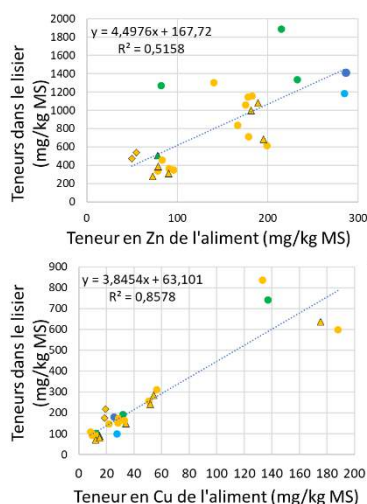
### 2.2. Adaptation de l'aliment et réduction de l'excrétion de cuivre et de zinc

Il existe différents leviers alimentaires pour réduire l'excrétion de Cu et Zn. Il est en effet possible de faire varier soit la forme de supplémentation, soit la quantité de Cu et Zn ajoutée dans l'aliment, soit les deux simultanément. En utilisant l'approche décrite par Dourmad *et al.* (2013), nous avons calculé l'excrétion de Cu et Zn des porcs entre le sevrage et l'abattage (de 8 à 118 kg PV) selon différentes hypothèses d'alimentation prenant en compte l'évolution de la réglementation dans l'UE depuis 2003 et des perspectives pour le futur. Les résultats

présentés à la figure 3.A et 3.B montrent clairement que l'évolution de la réglementation a conduit à une forte réduction de l'excrétion aussi bien pour Cu que pour Zn.



**Figure 4** – Influence de l'évolution de la réglementation relative aux teneurs en cuivre (Cu) et zinc (Zn) des aliments sur leurs excrétiens et leurs teneurs dans les effluents : quantité de Zn (A) et de Cu (B) excrétés par porc entre 8 et 118 kg de poids vif (PV), et teneurs moyennes en Zn (C) et en Cu (D) des déjections et des digestats de méthanisation ; FC, OFC : avec ou sans le Zn comme facteur de croissance.



**Figure 5** – Teneurs en Zn et en Cu des lisiers ( $\text{mg.kg}^{-1}$  MS) en fonction de la teneur des aliments et des sources d'apport

Sources : Levasseur et Texier, 2001 ; Creech et al., 2004 ; Van Heugten et al., 2004 ; Hernández et al., 2008 ; Liu et al., 2016

Jaune : porc à l'engraissement ; Vert : porcelet en post-sevrage ; Bleu clair : truies allaitantes ; Bleu foncé : truies gestantes.

Losange : sans supplémentation ; Rond : source inorganique de Zn ou Cu ; Triangle : source organique de Zn ou Cu.

Pour le Zn et avec la réglementation en vigueur à partir de 2022, on observe, comparativement à la situation avant 2003, une réduction de 63% de l'excrétion par porc entre 8 et 118 kg de PV (31,5 vs 85,4 g/porc). Pour le Cu l'évolution est encore plus marquée puisqu'avec la réglementation actuelle l'excrétion est réduite de 80% par rapport à la situation avant 2003 (7,6 vs 38,1 g/porc entre 8 et 118 kg de PV). Cette évolution de l'excrétion s'est également accompagnée d'une forte réduction de la teneur des déjections. Pour le Zn, cette teneur passe ainsi de 2100 à 1000  $\text{mg.kg}^{-1}$  MS et pour le Cu de 1100 à 250  $\text{mg.kg}^{-1}$  MS. Des perspectives de réduction plus poussées peuvent être envisagées (Figure 3.C et 3.D), mais elles nécessitent d'affiner les connaissances sur les besoins des animaux et la biodisponibilité des sources (Dourmad et al., 2013)

La composition des lisiers dépend également des stades physiologiques des animaux élevés (Figure 4). Les teneurs en Cu et en Zn exprimées relativement à la MS, dépendent à la fois de leur teneur dans l'aliment et de la composition de l'aliment, en

particulier sa teneur en fibres qui influence la digestibilité de la MO. De nombreuses études se sont intéressées à l'effet d'une modification de la teneur en Cu et/ou Zn de l'aliment sur leurs concentrations dans les déjections. Après réduction des teneurs de ces ETM (à environ 10  $\text{mg/kg}$  Cu et 70  $\text{mg.kg}^{-1}$  de Zn, comparé à des teneurs respectant la réglementation européenne soit respectivement 25 et 150  $\text{mg.kg}^{-1}$ ), aucun effet sur les performances des porcs à l'engraissement ni sur la qualité de des carcasses n'est observé (Paboeuf et al., 2001 ; Creech et al., 2004 ; Van Heugten et al., 2004 ; Liu et al., 2016 ; Villagómez-Estrada et al., 2020b). Toutes ces études mettent en évidence une réelle efficacité des régimes à teneurs réduites en Cu et Zn sur la diminution des concentrations en Cu et Zn des lisiers. Différentes sources minérales ont également été testées afin de diminuer l'excrétion du Cu et du Zn (Figure 4).

### 2.3. Formes et réactivités du Cu et Zn dans les effluents

Les effluents sont généralement valorisés par épandage sur les sols et la détermination de la spéciation du Cu et du Zn dans ces effluents est nécessaire afin de mieux prédire la mobilité et la disponibilité de ces éléments au niveau des sols (Legros et al., 2017). La spéciation est l'identification et la quantification de différentes espèces, types ou stades des métaux. Elle prend en compte les propriétés chimiques et physiques des éléments, c'est-à-dire leur forme chimique, leur composition isotopique, leur état d'oxydation, leur coordination chimique et leur structure moléculaire (Formentini et al., 2016 ; Kumar et al., 2021). Pour déterminer la spéciation des minéraux, Tessier et al. (1979) ont développé une procédure analytique des différentes formes basée sur une extraction séquentielle permettant d'isoler plusieurs fractions présentant une biodisponibilité et mobilité plus ou moins élevée (Tableau 2).

**Tableau 2** – Propriétés des différentes fractions obtenues après extraction séquentielle (He et al., 2009)

Fraction	Propriétés	Biodisponibilité
<b>Echangeable</b>	Facilement influencée par la modification de la composition ionique du liquide	+++++
<b>Liée à des carbonates</b>	Sensible aux variations de pH	++++
<b>Réductible : liée à des oxydes (Fe ou Mn)</b>	Instable dans des conditions de réduction	+++
<b>Oxydable : liée à de la MO</b>	Se décompose sous des conditions d'oxydations	++
<b>Résiduelle</b>	Fixée dans le réseau cristallin et n'entre pas dans la chaîne alimentaire	+

Ces fractions ont été déterminées en fonction de leur réaction dans le sol sous différentes conditions environnementales. La concentration en Cu et Zn de chacune des fractions peut ensuite être analysée. Selon Legros (2008), dans le lisier le Cu se retrouve principalement dans la fraction réductible (76%) et la fraction oxydable (20%), qui sont faiblement biodisponibles et mobiles. Le Zn, quant-à-lui se trouve principalement dans trois fractions, la fraction liée à des carbonates (40%), la fraction oxydable (34%) et la fraction réductible (24%). Le Zn semble donc moins stable que le Cu dans les effluents porcins, étant présent en plus grande proportion dans des fractions plus mobiles.



### 3. DEVENIR DU CUIVRE ET DU ZINC LORS DE LA GESTION DES EFFLUENTS PORCINS

La gestion des effluents d'élevage est une opportunité de mieux contrôler la distribution des ETM des déjections des porcs avant leur retour aux sols et ainsi réduire leur impact environnemental. Le traitement des effluents n'élimine pas les métaux mais influence leur concentration, du fait de la dégradation de la MS et de la MO et/ou des séparations de phases, et leur spéciation, du fait de différents mécanismes chimiques et biochimiques (adsorption, chimiosorption, précipitation...) (Couturier, 2002).

#### 3.1. Les filières de gestion des déjections porcines

Bien que la conduite la plus courante pour gérer les effluents d'élevage soit le stockage suivi de l'épandage (Nicholson et Chambers, 2008), près de 12 % des exploitations porcines françaises utilisent déjà une technique de traitement des déjections alternatives ou complémentaire au stockage - épandage en 2008 (Loyon, 2017). Les traitements appliqués peuvent être regroupés en différentes catégories, les traitements mécaniques (séparation de phases), biologiques

(digestion aérobie ou anaérobie, compostage), chimiques et thermiques. Ces différentes technologies peuvent s'articuler entre elles de différentes manières et viennent s'insérer dans la filière globale de gestion des déjections.

#### 3.2. Effet des traitements sur le cuivre et le zinc des effluents

Le tableau 3 synthétise les principaux effets observés sur le Cu et le Zn lors des traitements.

##### 3.2.1. Séparation de phases en bâtiment

La séparation de phase directement en bâtiment, par exemple par le procédé de raclage en V, est assez récente et la caractérisation des produits obtenus est encore peu documentée. Le Cu et le Zn suivent majoritairement la fraction solide (entre 90 et 95%) et cette fraction est principalement traitée par compostage ou par digestion anaérobie. (Loussouarn *et al.*, 2014 ; Likiliki *et al.*, 2020).

##### 3.2.2. Durée et type de stockage

Peu d'études existent sur l'effet du stockage sur Cu et Zn. Selon Popovic et Jensen (2012), le stockage n'a pas significativement d'effet sur les concentrations de Cu et de Zn mais il augmente la liaison du Cu et du Zn à des particules solides moins solubles.

**Tableau 3** – Effets des différents gestions et traitements des effluents porcins sur les éléments Cu et Zn

Gestion/Traitement	Effets du traitement sur le Cu et le Zn	Paramètre à prendre en compte	Références
Stockage	Influence la distribution de Cu et Zn entre les différentes classes de particules : ↗ de la liaison des métaux avec les particules solides	Type de stockage Durée Température	<i>Popovic et Jensen, 2012</i>
Séparation de phases	Redistribution du Cu et du Zn entre les phases solide et liquide	Modalité de raclage en bâtiment	<i>Loussouarn et al., 2014</i> <i>Likiliki et al., 2020</i>
		Type de séparateur	<i>Møller et al., 2007</i> <i>Nicholson et Chambers, 2008</i> <i>Pantelopoulos et Aronsson 2020</i>
Traitement aérobie	↗ concentration du Cu et du Zn, par rapport à la MO et la MS Redistribution du Cu et du Zn entre les phases solide (refus de tamis) et liquides (surnageant et boues)	Type de séparateurs	<i>Levasseur, 2003</i> <i>Béline et al., 2004</i>
Méthanisation / Digestion anaérobie	↗ concentration du Cu et du Zn, par rapport à la MO et de la MS ↗ part du Cu et du Zn dans les particules solides ↗ concentration en Cu et Zn de la fraction oxydable → diminution de la phyto-disponibilité de ces éléments	Température pH Temps de rétention hydraulique Potentiel d'oxydo-réduction	<i>Marcato, 2007</i> <i>Marcato et al., 2009</i> <i>Amaral et al., 2014</i> <i>Matheri et al., 2016</i> <i>Legros et al., 2017</i> <i>Yang et al., 2020</i>
Traitement thermique	Accumulation du Cu dans la cendre résiduelle Concentration du Zn et du Cu dans les particules > 30 µm		<i>Møller et al., 2007</i> <i>Kuligowski et al., 2008</i>
Compostage	↗ concentration du Cu et du Zn, par rapport à la MO et la MS ↗ part soluble au début du processus puis ↘ du Cu sous cette forme à la fin du compostage Diminution de la part échangeable et de celle liée aux carbonates de Cu et de Zn Diminution de facteur de biodisponibilité du Cu et du Zn	Humidité pH Teneur en azote Teneur en carbone organique dissous Teneur en matière humique	<i>Hsu et Lo 2001</i> <i>He et al. 2009</i> <i>Santos et al., 2018</i> <i>Li et al., 2019</i>

##### 3.2.3. Séparation mécanique de phases

Environ 10 % du Zn et du Cu sont solubles et ces éléments sont principalement retrouvés dans la fraction solide après séparation du lisier (Nicholson et Chambers, 2008). Cette redistribution va toutefois dépendre du type de séparateur ou de la combinaison de processus de séparation utilisés (Møller *et al.*, 2007 ; Pantelopoulos et Aronsson, 2020). L'efficacité de séparation de phase est la plus élevée pour le traitement

chimique avec filtration (94,9% Cu et 99,5% Zn dans la phase solide) suivi de la centrifugation (31,1% Cu et 38,1% Zn) puis de la vis compacteuse (6,6% Cu et 7,1% Zn) (Møller *et al.*, 2007 ; Popovic *et al.*, 2012 ; Pantelopoulos et Aronsson, 2020). Plusieurs études évaluent l'effet de la combinaison de différents types de séparation associés à une station de traitement biologique aérobie (Levasseur, 2003 ; Béline *et al.*, 2004). Cette séparation et redistribution permet de réduire la charge annuelle des sols en Cu et Zn après épandage de la fraction

liquide comparativement à l'épandage d'un lisier brut (Béline *et al.*, 2004 ; Møller *et al.*, 2007 ; Popovic *et al.*, 2012). La fraction solide est ensuite exportée et utilisée comme fertilisant organique, généralement après un autre traitement (séchage ou compostage).

### 3.2.4. Méthanisation

Plusieurs éléments nutritifs comme N, P, Cu, Zn étant conservés au cours de la méthanisation, le digestat issu de ce traitement peut être valorisé comme fertilisant (Marcato, 2007 ; Marcato *et al.*, 2009 ; Amaral *et al.*, 2014). Toutefois, la transformation d'une partie de la MO en biogaz entraîne une augmentation des teneurs en Cu et en Zn par rapport à la MS et un effet sur leur spéciation dont il est important de tenir compte. Par ailleurs, le Cu et le Zn peuvent également stimuler ou inhiber les bactéries responsables de la digestion anaérobie (Matheri *et al.*, 2016), modifiant ainsi la production de biogaz.

### 3.2.5. Séchage par incinération ou traitement thermique

Après incinération de la fraction solide du lisier ou du digestat de méthanisation, deux cendres sont obtenues, une cendre résiduelle (qui tend à être plus riche et à accumuler le Cu) et une cendre dite « volante » (Møller *et al.*, 2007).

### 3.2.6. Compostage

Le Cu a une meilleure affinité pour l'acide humique que le Zn, ce qui influence leur distribution (He *et al.*, 2009) dans le compost. Hsu et Lo (2001) observent une augmentation de la part soluble de Cu les 18 premiers jours du processus de compostage (jusqu'à 16% du Cu sous cette forme) puis une diminution de cette part jusqu'à atteindre 3% du Cu sous forme soluble dans le compost final. Un effet moindre est observé sur la part soluble du Zn qui atteint un maximum de 2%. Le compostage semble donc avoir un effet important sur le risque de lessivage du Cu, mais moins sur celui du Zn. Hsu et Lo (2001) ont observé que la plus grande partie du Cu et du Zn se trouvait dans la fraction liée à la MO du compost. Un ajout de matériel, comme de la paille ou d'autres substrats organiques, ou d'additifs minéraux, permet de réduire l'activité des métaux lourds pendant le compostage et facilite leur transfert vers des formes plus stables. Ceci est lié à la formation de composés ayant une affinité avec la matière humique du compost (Santos *et al.*, 2018 ; Li *et al.*, 2019). Par ailleurs l'ajout de MO s'accompagne également d'une réduction des teneurs en Cu et Zn par dilution. Une des finalités de ces différents traitements est la production d'engrais ou amendements organiques qui sont exportés en dehors des exploitations d'élevage dans des systèmes de cultures dans lesquels la MO fait défaut, comme par exemple le maraichage. Ceci permet d'atténuer les risques d'accumulation des éléments, tels que le Cu et le Zn dans les sols des exploitations porcines en optimisant leur valorisation. Toutefois ceci nécessite que ces produits soient normalisés et prennent en compte l'impact de ces traitements sur la spéciation des ETM et donc leur biodisponibilité pour les plantes.

## 4. EPANDAGE DES EFFLUENTS PORCINS ET CONSEQUENCES SUR LES SOLS

### 4.1. Apport de Cu et Zn sur les sols et réglementation

En France, 78% du Zn et 50% de Cu apportés en surface des sols agricoles proviennent de l'épandage des effluents d'élevage (Belon *et al.*, 2012).

#### 4.1.1. Plusieurs sources d'apports

Le Cu et le Zn présents dans les sols peuvent provenir de sources naturelles ou exogènes (apport de fertilisants par exemple). En

effet, des métaux se retrouvent naturellement dans les sols après altération de la roche mère (Legros, 2008 ; Kumar *et al.*, 2021). La composition en Cu et Zn et leur comportement dépendent du type de sol et de la roche mère sur lequel il se développe (Legros, 2008). Des apports exogènes sont aussi sources d'enrichissement des sols en Cu et Zn : engrais phosphatés, apports de fumiers et de lisiers, épandages de boues d'épuration, composts « urbains » et traitements phytosanitaires (Baize, 1997). Il est alors important de contrôler les apports en Cu et Zn, qui peuvent devenir toxiques pour les plantes ou les micro-organismes du sol.

#### 4.1.2. Réglementation sur l'épandage des effluents d'élevage

Compte tenu des risques associés à l'apport de Cu et de Zn par l'épandage des engrais et amendements organiques, des teneurs maximales en ces éléments ont été fixées pour leur commercialisation (Tableau 4). Toutefois ces normes ne s'appliquent pas aux effluents d'élevage bruts épandus dans le cadre d'un plan d'épandage.

Le lisier de porc à l'engraissement contient environ 300 mg.kg<sup>-1</sup> MS de Cu et 955 mg.kg<sup>-1</sup> MS de Zn quand les animaux reçoivent un aliment respectant la réglementation européenne en vigueur (25 mg.kg<sup>-1</sup> Cu et 120 mg.kg<sup>-1</sup> Zn) pour les porcs à l'engraissement, ces valeurs étant un peu plus élevées si l'on considère la totalité de la période post-sevrage/engraissement (Figure 3). Mais les traitements des effluents vont généralement fortement concentrer ces éléments et donc augmenter leur teneur. Ainsi, compte tenu des teneurs actuelles en Cu et en Zn dans les aliments, ces teneurs dépassent les normes Afnor et encore plus l'Ecolabel Européen pour les produits issus de certains traitements. Une règle spécifique a ainsi été établie récemment pour les digestats de méthanisation avec des seuils plus élevés fixés à respectivement 600 et 1500 mg.kg<sup>-1</sup> de MS pour Cu et Zn (NF U44-051). Toutefois, même avec ces différentes réglementations, les quantités de Cu et Zn épandues demeurent supérieures aux besoins des cultures.

**Tableau 4** – Teneurs maximales autorisées (mg.kg<sup>-1</sup> MS) dans les fertilisants selon différentes réglementations ou normes.

Type de fertilisant	Cuivre	Zinc
<b>Engrais organique</b>		
Ecolabel <sup>1</sup>	100	300
Afnor <sup>2</sup>	300	600
<b>Digestat de méthanisation<sup>3</sup></b>	600	1500

<sup>1</sup>Ecolabel européen et Cerafel. <sup>2</sup>Norme AFNOR NF U44-051 (avril 2006).

<sup>3</sup>Arrêté du 13 juin 2017 (NF U44-051 d'avril 2006).

### 4.2. Impacts de l'apport exogène de Cu et de Zn

Le Cu et le Zn sont des éléments traces essentiels pour la bonne croissance des plantes, mais ce sont également des métaux lourds avec un haut potentiel de pollution environnementale (Kicking *et al.*, 2009). En forte concentration dans les effluents, le Cu et le Zn peuvent s'accumuler dans les sols et devenir toxiques pour les plantes ou les micro-organismes. Leur concentration excessive dans le sol peut entraîner des baisses de rendement à l'hectare sur certaines cultures comme les légumineuses ou les céréales à paille (McGrath, 1981), les formes libres du Cu et du Zn étant les plus phytotoxiques (Suttle, 2010 ; Kumar *et al.*, 2021). Généralement, le lisier de porc est épandu sur les sols en considérant un épandage de N à hauteur de 170 kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Cela correspond à des flux de Cu d'environ 1,53 kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> et de Zn d'environ 2,38 kg.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Ces apports dépassent très largement les besoins des cultures (Marcato, 2007) puisque l'on estime, par exemple pour le blé,

les exportations de Cu et de Zn à environ 50 et 200 g.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Par ailleurs, la microflore du sol est également très sensible à une augmentation de la teneur en ETM. Le Cu et le Zn une fois épandus peuvent présenter différents comportements : ils peuvent s'accumuler dans les sols, être prélevés par les plantes ou être lessivés. Cela va dépendre de leur spéciation, du type de sol et du type de plante (Jondreville *et al.*, 2002 ; Legros, 2008).

#### 4.2.1. Prélèvement par les plantes

Le Cu et le Zn sont des minéraux essentiels à la bonne croissance des plantes et sont donc prélevés par ces dernières. Les plantes requièrent en moyenne entre 5 et 20 mg.kg<sup>-1</sup> de Cu (Legros, 2008 ; Kumar *et al.*, 2021). Elles contiennent entre 10 et 100 mg.kg<sup>-1</sup> de Zn (Gräber *et al.*, 2005). Une carence en Cu des plantes entraîne une réduction de la croissance des plantes, favorise la chlorose des feuilles et est cause de cytotoxicité (Kumar *et al.*, 2021). Dans certaines régions il existe des risques de carence en Cu et Zn (GIS Sol, 2001), avec une variabilité importante selon la présence d'élevages de porcs ou de volailles et de viticulture. Des amendements riches en Cu et Zn peuvent alors présenter un intérêt. Ce sont le Cu et le Zn de la fraction échangeable du sol qui sont les plus phytodisponibles (Jondreville *et al.*, 2002). Les lisiers de porcs ont une plus grande teneur en Zn qu'en Cu, ce qui entraîne un accroissement plus rapide de la teneur des sols en Zn qu'en Cu (De Conti *et al.*, 2016). Il n'existe pas de risque de contamination de Cu dans la chaîne alimentaire humaine, car il est peu mobile dans la plante et atteint donc rarement les parties consommables des plantes (Marcato, 2007).

#### 4.2.2. Flux vers les nappes

Le Cu et le Zn accumulés dans les sols après épandage peuvent par la suite être lessivés et être transférés vers le réseau hydrographique. Cela dépend de la spéciation de ces éléments qui seront plus ou moins solubles selon les caractéristiques physico-chimiques du milieu. Ces transferts vers les écosystèmes aquatiques sont également favorisés par les phénomènes d'érosion, le Cu et le Zn étant transféré avec les particules de sol ou de MO. De cette manière, le Cu et le Zn peuvent être prélevés par les organismes marins et contribuer à la contamination de la chaîne alimentaire (Jondreville *et al.*, 2002 ; Legros *et al.*, 2013).

#### 4.2.3. Accumulation dans les sols

De nombreuses études mettent en avant le fait que le Cu est un élément beaucoup moins accessible et moins mobile que le Zn (Gräber *et al.*, 2005 ; Mallmann *et al.*, 2014 ; Marszałek *et al.*, 2019). En effet, le Cu a une plus grande affinité pour la MO (Kumar *et al.*, 2021) et est donc plus sensible aux propriétés du sol telles que la teneur en MO ou le pH. Il peut donc devenir plus ou moins mobile lorsque ces caractéristiques varient, mais il va principalement s'accumuler. Le Zn est également un élément peu mobile dans les sols, mais il est moins sensible aux variations des caractéristiques du sol (Marszałek *et al.*, 2019). Dans la solution du sol, le Zn sera majoritairement sous forme libre Zn<sup>2+</sup> tandis que le Cu sera majoritairement sous forme complexée avec de la MO (De Conti *et al.*, 2016 ; Kumar *et al.*, 2021).

Le Cu et le Zn provenant du lisier porcin épandu s'accumulent en grande majorité dans la couche arable (0-20cm), c'est-à-dire la couche superficielle des sols (Jondreville *et al.*, 2002 ; Revy, 2003, Marszałek *et al.*, 2019). Selon McGrath (1981), seuls 2 à 10 % du Cu amené par épandage sont ensuite lessivés ou prélevés par les plantes. Dans des sols ayant reçu du lisier de porcs pendant de nombreuses années, De Conti *et al.* (2016) ont observé une accumulation de carbone sur la surface, ayant une forte affinité avec les métaux, en particulier avec le Cu. Ceci

peut expliquer l'accumulation de ces éléments dans cette couche de sol. De plus, étant peu mobiles, le Cu et le Zn sont donc transférés en faible quantité dans les couches plus profondes du sol. Contrairement au Cu, le transport du Zn dans les différentes couches du sol est affecté par les caractéristiques du sol (Gräber *et al.*, 2005 ; Legros *et al.*, 2013). En effet, le Cu et le Zn peuvent être transportés par l'acide humique après formation de complexes chélatés et ces complexes sont plus stables quand ils sont formés avec le Cu plutôt qu'avec le Zn (Gräber *et al.*, 2005). Cette complexation du Cu et du Zn dans les sols réduit la teneur de ces éléments sous forme libre et donc leur phytotoxicité (De Conti *et al.*, 2016). Le pH du sol est également un facteur qui a une forte influence sur la solubilité du Cu et du Zn. Son augmentation améliore l'adsorption des minéraux et donc diminue leur mobilité (Levasseur, 1998 ; De Conti *et al.*, 2016). Les sols acides, comme c'est souvent le cas en Bretagne, présentent donc une solubilité plus importante du Cu et du Zn. Mallmann *et al.* (2014) ont évalué l'effet des pratiques de travail du sol sur la répartition du Cu et du Zn suite à des apports de lisier de porcs sur une longue période. Ils ont montré que les pratiques de cultures sans labour amplifient le phénomène d'accumulation du Cu et du Zn à la surface des sols et réduit leur mobilité vers des profondeurs dépassant 20 cm.

De nombreuses études ont évalué l'effet d'une application à long terme de lisier de porcs sur l'accumulation de Cu et Zn (Coppenet *et al.*, 1993 ; L'Herroux *et al.*, 1997 ; McGrath *et al.*, 2000 ; Gräber *et al.*, 2005 ; De Conti *et al.*, 2016 ; Formentini *et al.*, 2016 ; Benedet *et al.*, 2019 ; Benedet *et al.*, 2020). Selon Coppenet *et al.* (1993), entre 1973 et 1988, soit après 15 ans d'épandage régulier de lisier de porcs, les sols du Finistère (France) se sont enrichis en Zn de près de 0,37 mg.kg<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> et en Cu de près de 0,22 mg.kg<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Ils ont également montré que cette augmentation est d'autant plus élevée que la quantité de lisier épandue est importante. L'Herroux *et al.* (1997) se sont intéressés à la spéciation du Cu et du Zn dans les sols de Bretagne (France), après 6 ans d'application de lisier de porcs, et à leur distribution dans les différentes fractions (Tableau 2) : sur le long terme, le Cu est principalement retrouvé dans la fraction liée à de la MO et avec le temps la part de Zn augmente dans la fraction réductible et en moindre quantité dans celle liée à des carbonates. Ces observations sur la spéciation du Cu et du Zn ou sur leur comportement dans les sols sont importantes afin de prédire leur effet sur l'environnement (Formentini *et al.*, 2016). En effet, l'effet toxique du Cu dans les sols est un problème environnemental de long terme (López Alonso *et al.*, 2000). De Conti *et al.* (2016) ont évalué cet effet de l'accumulation du Cu et du Zn sur les sols et ont mis en évidence que l'effet phytotoxique du Cu et du Zn n'apparaît pas même après plusieurs années d'épandage de lisier de porcs, car les plantes modifient les conditions du sol de sorte que les espèces chimiques peuvent se complexer avec du carbone organique dissous. Une certaine stabilité du Cu et du Zn est alors observée. Les plantes tolèrent généralement des teneurs en Cu des sols allant de 2 à 40 mg.kg<sup>-1</sup> MS et en Zn allant de 10 à 100 mg/kg MS (Gräber *et al.*, 2005). Selon Coppenet *et al.* (1993), certaines plantes sensibles au Zn, comme le maïs, peuvent subir des carences en cet élément quand la teneur du sol est inférieure à 1,5 mg.kg<sup>-1</sup> MS et un effet phytotoxique est observé quand cette teneur dépasse 120 mg.kg<sup>-1</sup> MS. Sur les sols bretons, à pH proche de 6, cet effet phytotoxique est observé quand la teneur accumulée en Cu et Zn dépasse 120 mg.kg<sup>-1</sup> MS. Le Cu a tendance à s'accumuler dans les tissus racinaires et peut être transférés à la tige ; la toxicité du Cu sur les plantes affecte ainsi la croissance racinaire et la morphologie de la plante (Kumar *et*

*al.*, 2021). McGrath *et al.* (1995) ont rapportés que l'activité microbienne du sol est perturbée lorsque les teneurs du Zn du sol dépassent 100 à 200 mg.kg<sup>-1</sup> MS. Zhang *et al.* (2016) ont étudié l'effet de l'épandage de lisier de porcs sur la communauté microbienne du sol et ont mis en avant que le Zn a une influence négative sur la microflore du sol.

L'activité des vers de terre dans les sols est réduite quand la concentration en Cu dépasse 50 mg.kg<sup>-1</sup> (Gräber *et al.*, 2005). La toxicité du Cu et du Zn peut aussi toucher les espèces animales après épandage de lisier de porcs sur des pâtures. López Alonso *et al.* (2000) ont démontré que dans des régions où l'élevage de porc est intensif, plus de 20 % du bétail présentent des concentrations hépatiques en Cu excédant la concentration potentiellement toxique de 150 mg.kg<sup>-1</sup>. En particulier les ovins sont extrêmement sensibles aux excès de Cu et des cas d'empoisonnement de moutons ayant pâturé des prairies fertilisées avec du lisier de porc riche en Cu ont été relatés (Poulsen, 1998).

#### 4.3. Cas spécifique du retour au sol des produits issus du traitement des effluents porcins

Comme indiqué précédemment, le traitement des effluents porcins n'élimine pas le Cu et le Zn mais le concentre dans certaines fractions. Møller *et al.* (2007) indiquent que

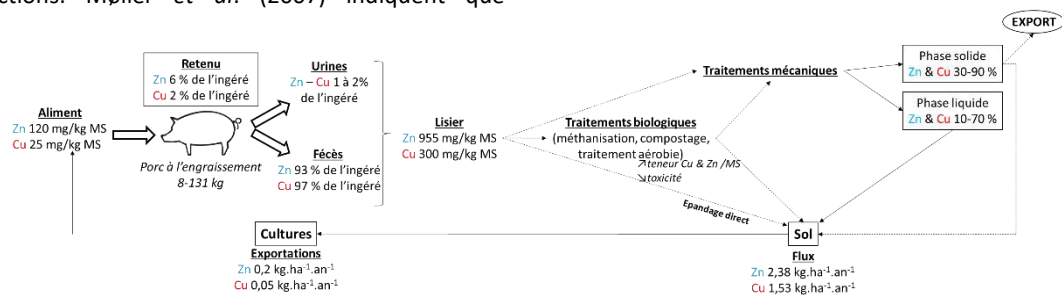


Figure 6 – Flux de cuivre (Cu) et de zinc (Zn) à travers la filière porcine et les filières de gestion de ses effluents.

Approche de bioéconomie circulaire

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amaral A.C., Kunz A., Radis Steinmetz R.L., Justi K.C., 2014. Zinc and copper distribution in swine wastewater treated by anaerobic digestion. *J. Environ. Manage.*, 141, 132-137.
- Baize D., 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA Eds, Paris, France, 408 p.
- Béline F., Daumer M.L., Guiziou F., 2004. Biological aerobic treatment of pig slurry in France: Nutrients removal efficiency and separation performances. *ASAE*, 47 (3), 857-864.
- Belon E., Boisson M., Deportes I.Z., Eglin T.K., Feix I., Bispo A.O., Galsomies L., Leblond S., Guellier C.R., 2012. An inventory of trace elements inputs to french agricultural soils. *Sci. Total Environ.*, 439, 87-95.
- Benedet L., De Conti L., Ribeiro Lazzari C.J., Müller Júnior V., Pinheiro Dick D., Lourenzi C.R., Lovato P.E., Klein F., 2019. Copper and zinc in rhizosphere soil and toxicity potential in white oats (*Avena sativa*) grown in soil with long-term pig manure application. *Water Air Soil Pollut.*, 230 (209), 3-10.
- Benedet L., Pinheiro Dick D., Brunetto G., dos Santos Júnior, Ferreira G.W., Lourenzi C.R., Comin J.J., 2020. Copper and zinc distribution in humic substances of soil after 10 years of pig manure application in south of Santa Catarina, Brazil. *Environ. Geochem. Health*, 42, 3281-3301.
- Bikker P., Jongbloed A.W., Thissen J.T.N.M., 2012. Meta-analysis of effects of microbial phytase on digestibility and bioavailability of copper and zinc in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 134-136.
- Bikker P., Jongbloed A.W., van Baal J., 2016. Dose-dependent effects of copper supplementation of nursery diets on growth performance and fecal consistency in weaned pigs. *J. Anim. Sci.*, 94, 181-186.
- Ciesinski L., Guenther S., Pieper R., Kalisch M., Bednorz C., Wieler L.H., 2018. High dietary zinc feeding promotes persistence of multi-resistant *E. coli* in the swine gut. *PLOS ONE*, 13 (1), 1-18.
- Commission Regulation (EC) N° 1334/2003 of 25 July 2003. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32003R1334&qid=1609770259077>
- Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1095 of 6 July 2016. [https://eur-lex.europa.eu/eli/reg\\_impl/2016/1095/oj](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2016/1095/oj)
- Commission Implementing Regulation (EU) 2018/1039 of 23 July 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1039&from=EN>
- Coppenet M., Golven J., Simon J., Le Corre L., Le Roy M., 1993. Evolution chimique des sols en exploitations d'élevage intensif : exemple du Finistère. *Agronomie, EDP Sciences*, 13 (2), 77-83.
- Couturier C., 2002. Effets de la digestion anaérobie sur les micropolluants et germes pathogènes. *Solagro*, 2 juillet 2002, 5 p.
- Creech B.L., Spears J.W., Flowers W.L., Hill G.M., Lloyd K.E., Armstrong T.A., Engle T.E., 2004. Effect of dietary trace mineral concentration and source (inorganic vs. chelated) on performance, mineral status, and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing. *J. Anim. Sci.*, 82 (7), 2140-2147.

- Cromwell G.L., 1997. Copper as a nutrient for animals. In: H.W. Richardson (Ed), Handbook of copper compounds and applications, 177-202. Marcel Dekker Inc. Publisher, New-York, USA.
- Dalto D.B., Guay F., Martel-Kennes Y., Talbot G., Lessard M., Matte J.J., Lapointe J., 2021. Effets des niveaux d'oxyde de zinc dans l'aliment des porcelets en post-sevrage sur le métabolisme du zinc, du cuivre et du fer. Journées Rech. Porcine, 53, 237-238.
- De Conti L., Ceretta C.A., Ferreira P.A.A., Lourenzi C.R., Girotto E., Lorenzini F., Tiecher T.L., Marchezan C., Anchieta M.G., Brunetto G., 2016. Soil solution concentrations and chemical species of copper and zinc in a soil with a history of pig slurry application and plant cultivation. Agric. Ecosyst. Environ., 216, 374-386.
- Dourmad J.Y., Pomar C., Masse D., 2002. Modélisation du flux de composés à risque pour l'environnement dans un élevage porcin. Journées Rech. Porcine, 34, 183-194.
- Dourmad J.Y., Garcia-Launay F., Nancy A., 2013. Pig nutrition: impact on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure and on emissions of ammonia, greenhouse gas and odours. BATFarm Workshop, Rennes, 19-20 March 2013, 13 p.
- Dourmad J.Y., Levasseur P., Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y., Espagnol S., 2015. Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, Paris, France, 26 p.
- Espinosa C.D., Stein H.H., 2021. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. J. Anim. Sci. Biotechnol., 12 (13), 1-12.
- Formentini T.A., Legros S., Fernandes C.V.S., Pinheiro A., Le Bars M., Levard C., Mallan F.J.K., da Veiga M., Doelsch E., 2016. Radical change of Zn speciation in pig slurry amended soil: Key role of nano-sized sulfide particles. Environ. Pollut., 222, 495-503.
- GIS Sol, 2001, Le risque de carence en cuivre pour une culture exigeante, <https://www.gissol.fr/donnees/cartes/le-risque-de-carence-en-cuivre-pour-une-culture-exigeante-1915>
- Gräber I., Hansen J.F., Olesen S.E., Petersen J., Østergaard H.S., Krogh L., 2005. Accumulation of copper and zinc in Danish agricultural soils in intensive pig production areas. Dan. J. Geogr., 105 (2), 15-22.
- Hahn J. D., Baker D. H., 1993. Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacologic levels of zinc. J. Anim. Sci., 71, 3020-3024.
- He M., Li W., Liang X., Wu D., Tian G., 2009. Effect of composting process on phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead in sewage sludge and swine manure. Waste Manage., 29, 590-597.
- Hernández A., Pluske J.R., D'Souza D.N., Mullan B.P., 2008. Levels of copper and zinc in diets for growing and finishing pigs can be reduced without detrimental effects on production and mineral status. Animal, 2 (12), 1763-1771.
- Hill G. M., Mahan D. C., Carter S. D., Cromwell G.L., Ewan R. C., Harrold R. L., Lewis A. J., Miller P.S., Shurson G. C., Veum T. L., 2001. Effect of pharmacological concentrations of zinc oxide with or without the inclusion of an antibacterial agent on nursery pig performance. J. Anim. Sci., 79, 934-941.
- Hodges R.T., Fraser A.J., 1983. Some observations on the liver copper status of pigs in the northern part of New Zealand. New Zeal. Vet. J., 31 (6), 96-100.
- Hsu J.H, Lo S.L., 2001. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. Environ. Pollut., 114, 119-127.
- Jensen J., Kyvsgaard N.C., Battisti A., Baptiste K.E., 2018. Environmental and public health related risk of veterinary zinc in pig production – Using Denmark as an example. Env. Int., 114, 181-190.
- Jondreville C., Revy P.S., Jaffrezic A., Dourmad J.Y., 2002. Le cuivre dans l'alimentation du porc : oligoélément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'Homme et l'environnement. INRA Prod. Anim., 15 (4), 247-265.
- Jongbloed A.W., 2010. Comparison of copper and zinc sources in pig diets. Livestock research Wageningen, Internal report 201005.
- Kickinger T., Würzner H., Windisch W., 2009. Zinc and copper in feeds, slurry and soils from Austrian pig fattening farms feeding commercial complete feed or feed mixtures produced on-farm. Die Bodenkultur, 60 (4), 47-56.
- Kirchgessner M., 1993. Homeostasis and homeorhesis in trace element metabolism. In: M. Anke, D. Meissner, C.F. Mills (Eds), Trace Elements in Man and Animals, 4-21. TEMA 8, Verlag Media Touristik, Gersdorf, Deutschland.
- Kuligowski K., Poulsen T.G., Stoholm P., Pind N., Laursen J., 2008. Nutrients and heavy metals distribution in thermally treated pig manure. Waste Manage. Res., 26, 347-354.
- Kumar V., Pandita S., Singh Sidhu G.P., Sharma A., Khanna K., Kaur P., Bali A.S., Setia R., 2021. Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. Chemosphere, 262 (127810), 24 p.
- Legros S., 2008. Evaluation multi-échelle de l'impact environnemental de l'épandage de lisier de porc sur un sol tropical (Ile de la Réunion), spéciation et modélisation du comportement du cuivre et du zinc. Thèse de doctorat, 236 p.
- Legros S., Doelsch E., Feder F., Moussard G., Sansoulet J., Gaudet J.-P., Rigaud S., Basile Doelsch I., Saint Macary H., Bottero J.-Y., 2013. Fate and behaviour of Cu and Zn from pig slurry spreading in a tropical water-soil-plant system. Agric. Ecosyst. Environ., 164, 70-79.
- Legros S., Levard C., Marcato-Romain C.E., Guiesse M., Doelsch E., 2017. Anaerobic digestion alters copper and zinc speciation. Environ. Sci. Technol., 51 (18), 10326-10334.
- Levasseur P., 1998. Composition des lisiers de porc, facteurs de variation et méthodes d'évaluation. TechniPorc, 21 (3), 19-25.
- Levasseur P., 2003. Bilan matière d'une station de traitement biologique par boue activée avec ou sans séparation de phase en tête. Journées Rech. Porcine, 35, 35-40.
- Levasseur P., Texier C., 2001. Teneurs en éléments-trace métalliques des aliments et des lisiers de porcs à l'engrais, de truies et de porcelets. Journées Rech. Porcine, 33, 57-62.
- L'Herroux L., Leroux S., Appriou P., Martinez J., 1997. Behaviour of metals following intensive pig slurry applications to a natural field treatment process in Brittany (France). Environ. Pollut., 97 (1-2), 119-130.
- Li R., Meng H., Lixin Z., Zhou H., Shen Y., Zhang X., Ding J., Cheng H., Wang J., 2019. Study of the morphological changes of copper and zinc during pig manure composting with addition of biochar and a microbial agent. Bioresour. Technol., 291 (121752), 8 p.
- Likiliki C., Convers B., Béline B., 2020. Dataset on the characteristics of the liquid effluent issued from separation of faeces and urine under slats using V-shaped scraper in swine buildings. Data in Brief, 30 (105530), 7 p.
- Liu B., Xiong P., Chen N., He J., Lin G., Xue Y., Li W., Yu D., 2016. Effects of replacing of inorganic trace minerals by organically bound trace minerals on growth performance, tissue mineral status, and fecal mineral excretion in commercial Grower-Finisher pigs. Biol. Trace Elem. Res., 173 (2), 316-324.
- López Alonso M., Benedito J.L., Miranda M., Castillo C., Hernández J., Shore R.F., 2000. The effect of pig farming on copper and zinc accumulation in Cattle in Galicia (North-Western Spain). Vet. J., 160, 256-266.
- Loussouarn A., Lagadec S., Robin P., Hassouna M., 2014. Raclage en « V » : bilan environnemental et zootechnique lors de sept années de fonctionnement à Guernévez. Journées Rech. Porcine, 46, 199-204.
- Loyon L., 2017. Overview of manure treatment in France. Waste Manage., 61, 516-520.

- Mallmann F.J.K., dos Santos Rheinheimer D., Ceretta C.A., Cella C., Gomes Minella J.P., Guma R.L., Filipović V., van Oort F., Šimůnek J., 2014. Soil tillage to reduce surface metal contamination – model development and simulations of zinc and copper concentration profiles in a pig slurry-amended soil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 196, 59-68.
- Männer K., 2008. Bioavailability of trace minerals sources in swine. In: P. Schlegel, S. Durosoy, A.W. Jongbloed (Eds), Trace elements in animal production systems, 177-186. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Marcato C.E., 2007. Origine, devenir et impact du cuivre et zinc des lisiers porcins. Rôle de la digestion anaérobie. Thèse de doctorat, 184 p.
- Marcato C.E., Pinelli E., Pinelli E., Cecchi M., Winterton P., Guireesse M., 2009. Bioavailability of Cu and Zn in raw and anaerobically digested pig slurry. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 72, 1538-1544.
- Marszałek M., Kowalski Z., Makara A., 2019. The possibility of contamination of water-soil environment as a result of the use of pig slurry. *Ecol. Chem. Eng. Science*, 26 (2), 313-330.
- Matheri A.N., Belaid M., Seodigeng T., Ngila J.C., 2016. The role of trace elements on anaerobic co-digestion in biogas production. Proceedings of the world congress on engineering Vol II WCE 2016, June 29 - July 1, London, U.K.
- McGrath M.C., 1981. Implications of applying copper rich pig slurry to grassland; effects on plant and soil. In : P. L'Hermite, J. Dehandtschutter (Eds), Copper in animal wastes and sewage sludge, 144-153. Proc. EEC Workshop, INRA Publisher, Bordeaux, France.
- McGrath S.P., Chaudri A.M., Giller K.E., 1995. Long term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. *J. Ind. Microbiol.*, 14, 94-104.
- McGrath S.P., Zhao F.J., Dunham S.J., Crosland A.R., Coleman K., 2000. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. *J. Environ. Qual.*, 29, 875-883.
- Møller H.B., Jensen L.S., Tobiasen L., Hansen M.N., 2007. Heavy metal and phosphorus content of fractions from manure treatment and incineration. *Environ. Technol.*, 28, 1403-1418.
- National Research Council (NRC), 2012. Nutrient Requirement of Swine. The National Academies Press, Washington D.C., USA, 389 p.
- Nicholson F.A, Chambers B.J, 2008. Livestock manure management and treatment: implications for heavy metal inputs to agricultural soils. In : P. Schlegel, S. Durosoy, A.W. Jongbloed (Eds), Trace elements in animal production systems, 55-62. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Oberleas D., 1973. Phytates. In: Toxicants occurring naturally in foods, 363–371. 2nd Ed. National Academies Press, Washington DC.
- O'Dell, 1989. Mineral Interactions Relevant to Nutrient Requirements. *J. Nutr.*, 1832–1838.
- Paboeuf F., Calvar C., Landrain B., Roy H., 2001. Impact de la réduction des niveaux alimentaires en matière azotée totale, en phosphore, en cuivre et en zinc sur les performances et les rejets des porcs charcutiers. *Journées Rech. Porcine*, 33, 49-56.
- Pantelopoulos A., Aronsson H., 2020. Two-stage separation and acidification of pig slurry – Nutrient separation efficiency and agronomical implications. *J. Environ. Manage.*, 280 (111653), 8 p.
- Popovic O., Jensen L.S., 2012. Storage temperature affects distribution of carbon, VFA, ammonia, phosphorus, copper and zinc in raw pig slurry and its separated liquid fraction. *Water Res.*, 46, 3849-3858.
- Popovic O., Hjorth M., Jensen L.S., 2012. Phosphorus, copper and zinc in solid and liquid fractions from full-scale and laboratory-separated pig slurry. *Environ. Technol.*, 33 (18), 2119-2131.
- Poulsen H.D, 1998. Zinc and copper as feed additives, growth factors or unwanted environmental factors. *J. Anim. Feed Sci.*, 7, 135–142.
- Regulation (EU) 2019/4 of the european parliament and of the council of 11 december 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0004&from=EN>
- Regulation (EU) 2019/6 of the european parliament and of the council of 11 december 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0006&from=EN>
- Revy P.S., 2003. Diminution des rejets de zinc chez le porc : estimation des besoins et voies d'amélioration de la disponibilité. Thèse de doctorat, 147 p, Agrocampus Ouest.
- Revy P.S., Jondreville C., Dourmad J.Y. and Nys Y., 2004. Assessment of dietary zinc requirement of weaned piglets fed diets with or without microbial phytase. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 90, 50-59.
- Roméo A., Durosoy S., van Baal J., Bikker P., 2018. Effet de deux sources de cuivre sur les performances et le statut en cuivre de porcelets sevrés. *Journées Rech. Porcine*, 50, 131-136.
- Santos A., Fanguero D., Moral R., Pilar Bernal M., 2018. Composts produced from pig slurry solids: Nutrient efficiency and N-leaching risks in amended soils. *Front. Sustainable Food Syst.*, 2, 12p.
- Schlegel P., 2010. Facteurs de variation de la biodisponibilité du zinc, ajouté sous forme organique ou inorganique, chez deux espèces monogastriques en croissance (poulet et porcelet). Thèse de doctorat, 177 p.
- Schlegel P., Jondreville C., 2011. Interactions phytates - zinc chez le porcelet. *Journées Rech. Porcine*, 43, 95–98.
- Spears J.W., Hansen S.L., 2008. Bioavailability criteria for trace minerals in monogastrics and ruminants. In: P. Schlegel, S. Durosoy, A.W. Jongbloed (Eds), 161–175. Trace elements in animal production systems. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Suttle N.F., 2010. Mineral nutrition of livestock. 4th Edition. Cabi, Oxfordshire, United Kingdom, 579 p.
- Swinkels J.W.G.M., Kornegay E.T., Verstegen M.W.A., 1994. Biology of zinc and biological value of dietary organic zinc complexes and chelates. *Nutr. Res. Rev.*, 7, 129-149.
- Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51 (7), 844-850.
- Van Heugten E., O'Quinn P.R., Funderburke D.W., Flowers W.L., Spears J.W., 2004. Growth performance, carcass characteristics, plasma minerals, and fecal mineral excretion in grower finisher swine fed diets with levels of trace minerals lower than common industry levels. *J. Swine Health Prod.*, 12 (5), 237-241.
- Villagómez-Estrada S., Pérez J.F., Darwich L., Vidal A., van Kuijk S., Melo-Durán D., Solà-Oriol D., 2020a. Effects of copper and zinc sources and inclusion levels of copper on weanling pig performance and intestinal microbiota. *J. Anim. Sci.*, 98, 1-15.
- Villagómez-Estrada S., Pérez J.F., van Kuijk S., Melo-Durán D., Karimirad R., Solà-Oriol D., 2020b. Effects of two zinc supplementation levels and two zinc and copper sources with different solubility characteristics on the growth performance, carcass characteristics and digestibility of growing-finishing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 105, 1–13.
- Yang S., Wen Q., Chen Z., 2020. Impacts of Cu and Zn on the performance, microbial community dynamics and resistance genes variations during mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresour. Technol.*, 312, 11 p.
- Zhang S., Hua Y., Deng L., 2016. Nutrient status and contamination risks from digested pig slurry applied on a vegetable crops field. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13 (406), 11 p.

# La méthanisation passive : facteurs de réussite et de rentabilité en élevage porcin

Anne-Sophie LANGLOIS

Chambre régionale d'agriculture de Bretagne, Rond Pont Maurice Le Lannou, 35 000 Rennes, France

*anne-sophie.langlois@bretagne.chambagri.fr*

## **La méthanisation passive : facteurs de réussite et de rentabilité en élevage porcin**

La méthanisation passive consiste à récupérer le biogaz naturellement émis par les effluents à température ambiante grâce à une couverture flottant à la surface des fosses de stockage. L'énergie captée peut notamment être valorisée sous forme d'eau chaude pour chauffer les bâtiments d'élevage. Le biogaz peut aussi être capté depuis des fosses de stockage en amont ou en aval d'une unité de méthanisation mésophile pour améliorer le rendement de l'unité. Trois élevages porcins équipés de ce système ont été suivis par la Chambre régionale d'agriculture de Bretagne entre 2018 et 2020. Des bilans techniques, économiques et environnementaux ont été dressés. Les résultats confirment ceux issus du suivi de la méthanisation passive à la station de Guernévez (29) obtenus dans le cadre du Projet Promethis (2016-2018). Les apports de lisier frais fréquents permettent de maintenir une production de biogaz même au cœur de l'hiver, sous un climat semi-tempéré et pour une fosse enterrée ou semi-enterrée. Le temps de suivi du dispositif, environ 30 min/semaine, est très réduit, mais nécessaire à l'optimisation du procédé. Une configuration adéquate de l'exploitation permet d'optimiser le fonctionnement du procédé : taille de la fosse suffisamment grande par rapport à la taille de l'élevage, fosse pas trop éloignée des bâtiments d'élevage, possibilité d'apporter du lisier frais régulièrement tout au long de l'année. Lorsque ces conditions sont réunies, le temps de retour sur investissement est d'environ 5 ans par rapport à un système de chauffage tout électrique. Placée en amont d'un digesteur mésophile, la méthanisation passive améliore le rendement de la cogénération et le temps de retour sur investissement est estimé à 4 ans.

## **Passive anaerobic digestion: success and profitability factors in pig farming**

Passive anaerobic digestion consists of recovering the biogas naturally emitted by animal waste at ambient temperature using a cover that floats on the surface of storage pits. The energy captured can be used to heat water to ultimately heat livestock buildings. Biogas can also be captured from storage pits upstream or downstream of a mesophilic anaerobic digestion unit to improve the unit's efficiency. Three equipped pig farms were monitored by the Regional Chamber of Agriculture of Brittany from 2018-2020. Technical, economic and environmental assessments were performed. The results confirmed those obtained from the monitoring of passive anaerobic digestion at the Guernévez station (Finistère department) obtained during the Promethis project (2016-2018). Frequent fresh slurry inputs maintained minimum biogas production, even in the middle of winter under a semi-temperate climate and for a buried or semi-buried pit. The monitoring time, ca. 30 min/week, is short, but necessary to optimise the process. A suitable farm configuration allows the process to be optimised: size of the pit sufficiently large in relation to the size of the farm, pit not too far from the farm buildings, and the ability to input fresh manure regularly throughout the year. When these conditions are met, the payback time is ca. 5 years compared to an all-electric heating system. Placed upstream of a mesophilic digester, passive anaerobic digestion improves the efficiency of cogeneration, thus decreasing the payback time to ca. 4 years.

## INTRODUCTION

La méthanisation passive se développe depuis quelques années en France. Elle consiste en une couverture de fosse flottant à la surface des effluents liquides dans les fosses de stockage existantes et capable de récupérer le biogaz naturellement émis à température ambiante. Les intérêts et la faisabilité de ce procédé ont déjà été testés en station expérimentale (Toudic *et al.*, 2018). Lorsqu'il est valorisé sous forme d'eau chaude, le biogaz permet de réaliser jusqu'à 80% d'économies d'énergie sur le poste chauffage (maternité + post-sevrage) en conditions de fonctionnement optimisées. Des apports de lisier frais et fréquents, un climat tempéré et une fosse enterrée ou semi-enterrée ont déjà été identifiés comme facteurs d'optimisation. Dans ces conditions, l'activité des bactéries est maintenue, notamment en hiver quand la température du lisier chute et que les besoins en chauffage augmentent. Le temps de retour sur investissement est alors estimé entre 7 et 8 ans par rapport à un chauffage tout électrique.

Pour faire suite à ces premiers résultats expérimentaux, la Chambre régionale d'agriculture de Bretagne a suivi, entre 2018 et 2021, trois élevages de porc bretons ayant choisi de mettre en place des procédés de méthanisation passive sur leurs exploitations. L'objectif était de faire ressortir et de préciser les facteurs de réussite et de rentabilité et les bénéfices environnementaux à travers l'étude de cas concrets.

## 1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

### 1.1. Principe

Une couverture de fosse étanche posée à la surface des effluents de la fosse de stockage existante capte le biogaz émis par l'effluent. Contrairement à la méthanisation classique mésophile, l'objectif de la méthanisation passive est de valoriser l'existant sans chercher à maximiser la production de biogaz. La fosse n'est pas chauffée et seul un minimum d'agitation est requis (Figure 1). Une population de bactéries dites psychrophiles capables de produire du biogaz sur de larges gammes de température se développe. La production de méthane est bien moindre qu'en méthanisation mésophile pour un temps de séjour plus long. L'investissement est également moindre et le mode de valorisation sera différent. Lorsque la production de méthane ne suffit pas à couvrir les besoins, un complément de propane permet généralement de prendre le relais.

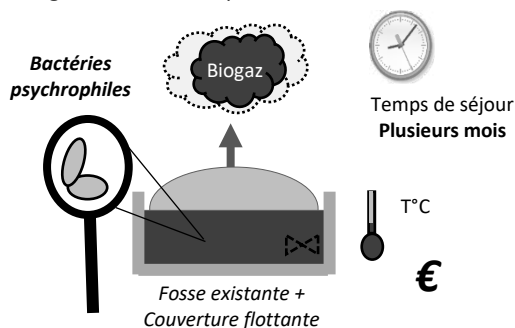


Figure 1 – Principe de la méthanisation passive

### 1.2. Intérêts et applications

La méthanisation passive présente les mêmes atouts qu'une couverture de fosse souple classique. Elle réduit les odeurs au stockage. Elle évite en partie le stockage et l'épandage des eaux de pluie et diminue aussi les émissions d'ammoniac au

stockage, tout en augmentant le pouvoir fertilisant de l'effluent épandu. Elle présente aussi des atouts spécifiques. Le biogaz capté peut être brûlé par une chaudière dans l'objectif de produire de l'eau chaude et chauffer les bâtiments d'élevage. La rentabilité provient alors des économies d'énergie réalisées sur la facture de chauffage. Placée sur une fosse de stockage de lisier ou de digestat en amont ou en aval d'un digesteur mésophile, le biogaz capté est envoyé vers le système de valorisation existant. Dans ce cas, la rentabilité provient de l'augmentation de la recette de revente d'énergie. Enfin, le méthane valorisé n'est pas émis dans l'air. La baisse d'émissions de ce gaz à effet de serre 25 fois plus puissant que le CO<sub>2</sub> contribue à améliorer le bilan carbone des exploitations.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Description des installations

Quatre installations ont été suivies au cours de l'étude. Elles sont décrites au tableau 1.

Le premier cas étudié « élevage 1 » est un élevage naisseur-engraisseur partiel de 300 truies. La méthanisation passive flotte sur une fosse enterrée de 1 200 m<sup>3</sup>. L'eau chaude produite par la chaudière bi-gaz de 70 kW sert à chauffer les 1 300 places de post-sevrage et 10 places de maternité. Une cuve de propane prend le relais lorsque le lisier de la fosse ne produit plus assez de méthane.

L'« élevage 2 » correspond à un élevage naisseur-engraisseur multiplicateur de 600 truies. La couverture de méthanisation passive est installée sur une fosse aérienne de 1 800 m<sup>3</sup> en amont d'une unité de traitement biologique de lisier. La chaudière de 120 kWh permet de produire l'eau chaude destinée à chauffer les 2 528 places de post-sevrage et des 98 places de maternité de l'élevage. Une cuve de propane prend le relais lorsque le lisier de la fosse ne produit plus assez de méthane.

L'« élevage 3 » est un élevage de 420 truies naisseur-engraisseur partiel, où 20% des porcs sont engraisés à façon. La couverture de méthanisation passive flotte sur sa fosse enterrée de 2 400 m<sup>3</sup>. Le biogaz sert à chauffer les 1 800 places de post-sevrage de cet élevage. Une cuve de propane prend le relais lorsque le lisier de la fosse ne produit plus assez de méthane.

La méthanisation passive de l'« élevage 4 » a été placée sur une fosse semi-enterrée de 500 m<sup>3</sup> positionnée en amont d'un digesteur mésophile. L'ensemble du lisier mixte de l'élevage de 350 truies naisseur engraisseur y transite avant d'être envoyé vers le digesteur mésophile. Le biogaz capté est valorisé par cogénération.

### 2.2. Suivi des installations

Trois installations ont été suivies dès le début des travaux puis pendant un an au minimum. Des échanges réguliers ont eu lieu avec les éleveurs pour suivre l'évolution de la production de biogaz et les éventuels incidents techniques rencontrés. Les consommations de biogaz et de propane ont été relevées à l'aide des compteurs de temps de fonctionnement du surpresseur. Les résultats d'analyses de la qualité du biogaz (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>S) réalisées par les éleveurs ont également été consignés. L'objectif était d'estimer les consommations mensuelles de biogaz et de méthane. Une installation supplémentaire associant méthanisation passive et station de traitement biologique a été visitée une fois. Les consommations de biogaz et de propane annuelles recueillies sont également présentées dans cet article.



### 2.3. Réalisation des bilans techniques, économiques et environnementaux

A l'issue de la période de suivi, un entretien a été réalisé avec chaque éleveur dans le but de recueillir les données économiques nécessaires à l'estimation du temps de retour sur investissement : montant de l'investissement et des aides, temps de suivi, consommation de charbon actif, coût de la maintenance.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre au stockage des effluents avec méthanisation passive a été estimée à partir d'une méthode basée sur les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> de la base carbone de l'ADEME de 2014.

## 3. RESULTATS

### 3.1. Atouts de la méthanisation passive

#### 3.1.1. Réduire sa facture chauffage

D'après le bilan annuel de l'élevage 1, 78% des besoins en eau chaude ont été couverts par le biogaz et 22% par le propane. La qualité du biogaz était constante, avec 57% de méthane après passage du biogaz dans le filtre à charbon actif. La consommation de méthane suit l'évolution des températures extérieures. La période critique correspond à la période hivernale, lorsque les températures extérieures baissent, diminuant de fait l'activité des bactéries (Figure 2). La fosse est uniquement alimentée par le lisier d'engraisement, plus méthanogène que le lisier de truies ou de porcelets. Les apports de lisier ont lieu deux fois par mois en hiver et une fois par mois le reste de l'année. Le trop-plein de lisier de cette fosse est pompé vers une deuxième fosse de 1 000 m<sup>3</sup> à proximité. Ainsi la fosse équipée de méthanisation passive peut recevoir régulièrement du lisier frais tout au long de l'année.

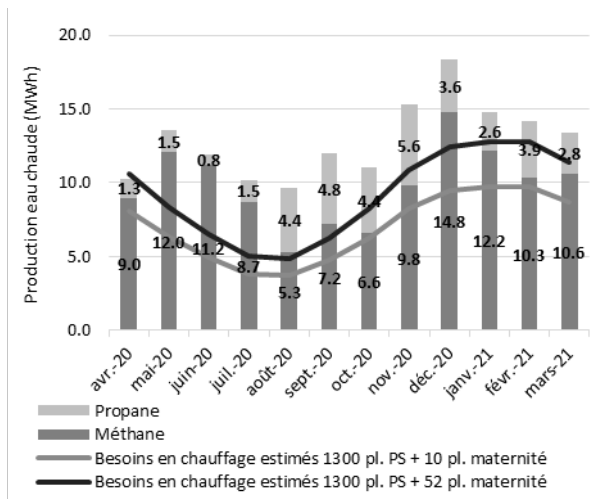


Figure 2 – Production d'eau chaude et besoins en chauffage théoriques : Répartition des sources d'énergie entre avril 2019 et mars 2020 – Elevage 1

A partir de l'été 2019, les besoins en chaleur réels sont supérieurs aux besoins théoriques estimés sur la base de l'étude IFIP (2008). Cela pourrait s'expliquer par des conditions d'ambiance différentes de celles considérées dans l'étude de l'IFIP, par exemple une température de consigne de chauffage plus élevée, un chauffage continu lors du vide sanitaire, ... D'après ces résultats, la méthanisation passive couvre 93% des besoins théoriques en chauffage hors équipements de réduction des consommations d'énergie de 1 300 places de post-sevrage et 10 places de maternité (IFIP, 2008). Par rapport à ces mêmes références, elle couvrirait 84% des besoins

théoriques en chauffage de 1 300 places de post-sevrage et de 52 places de maternité, soient la totalité des besoins en eau chaude de ces deux stades.

#### 3.1.2. Complémentarité en amont d'un système de traitement du lisier

Les fosses de stockage de lisier placées en amont de systèmes de traitement du lisier tels qu'un digesteur mésophile ou une station de traitement biologique par boues activées peuvent être équipées de méthanisation passive. En effet, elles reçoivent quotidiennement ou hebdomadairement un volume de lisier très frais quand un volume équivalent est envoyé vers l'unité de traitement. C'est le cas de l'élevage 2 où la méthanisation passive a permis de couvrir 72 % des besoins annuels en chauffage. La fosse couverte reçoit quotidiennement du lisier très frais trois semaines sur quatre. De plus, son volume important semble contribuer à créer une certaine inertie thermique même en hiver.

### 3.2. Facteurs de réussite et de rentabilité

#### 3.2.1. Configuration de l'élevage

Dans le cas de l'élevage 3, la fosse se situant loin des bâtiments et de l'autre côté d'une route, le suivi n'est pas aisé. Par ailleurs, le lisier mixte qui arrive dans la fosse a préalablement transité par des fosses intermédiaires et a perdu une partie de son pouvoir méthanogène lorsqu'il arrive dans la fosse finale couverte par la méthanisation passive. Dans cette configuration seulement 40% des besoins annuels en eau chaude ont été couverts par le biogaz et 60% par le propane (Figure 3). Le défaut de suivi est particulièrement visible en été, lorsqu'une dérive du capteur de tension est également survenue.

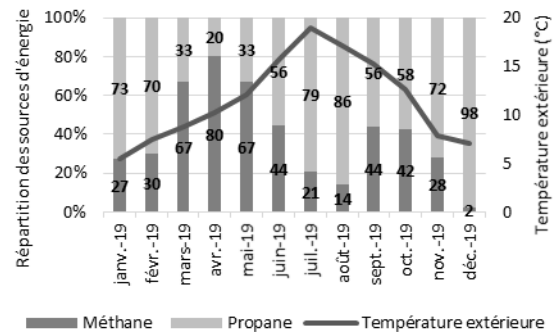


Figure 3 – Energie thermique valorisée et estimation des besoins en chauffage théoriques – Elevage 3

Ainsi, la consommation de méthane par jour de l'élevage 3 est cinq fois moins élevée par rapport à l'élevage 1 (Tableau 1). La configuration de l'élevage et le suivi de l'installation impactent aussi les émissions de GES évitées au stockage. Elles sont six fois moins élevées pour l'élevage 3 que pour l'élevage 1 (Tableau 2). A l'inverse, les consommations de méthane et les émissions de GES évitées au stockage des élevages 1 et 2 sont les plus élevées des cas suivis. Les configurations de ces deux élevages permettent en effet d'apporter du lisier frais ou à fort potentiel méthanogène fréquemment tout en conservant une certaine inertie thermique dans la fosse, permettant ainsi d'optimiser le procédé.

#### 3.2.2. Piloter son installation

Le temps de suivi est relativement limité : environ 30 minutes par semaine. Il correspond à une analyse hebdomadaire de biogaz et à une inspection visuelle globale de l'installation (gonflement de la bache, suivi des compteurs de temps de fonctionnement, réglage de l'injection d'air dans le gazomètre).

A cela s'ajoute le temps supplémentaire passé en cas d'incidents ponctuels. Cette inspection hebdomadaire est importante. On a ainsi observé dans l'élevage 1 une augmentation de 30% de la consommation de propane suite à une dérive du capteur de tension. Le déclenchement du surpresseur permettant l'envoi du biogaz jusqu'à la chaudière a été perturbé ce qui a favorisé le basculement de la chaudière vers le propane. Ce défaut n'a pas été détecté tout de suite et les effets se sont prolongés sur plusieurs mois.

La fosse de l'élevage 4 reçoit un volume de lisier de 8 à 10 m<sup>3</sup>/j remplaçant un volume identique envoyé vers le digesteur. Le lisier mixte qui arrive dans cette fosse est comparable à celui de l'élevage 2 en termes de fraîcheur. Toutefois, la bâche de la

méthanisation passive de l'élevage 4 a probablement été endommagée par l'agitateur placé en fond de fosse suite à une vidange trop importante. A cela s'est ajoutée la présence d'une croûte à la surface du lisier qui a perturbé l'étanchéité de la méthanisation passive nécessaire à son bon fonctionnement. Ces défauts qui n'ont pas été repérés tout de suite ont affecté la récupération journalière de méthane. Le tableau 1 fait ainsi état d'une production de méthane presque quatre fois moins élevée pour cet élevage que pour l'élevage 1. Les émissions de GES sont 5,3 fois moins élevées que pour l'élevage 1. Cela peut s'expliquer par les défauts observés et par un rendement de 70% de l'énergie valorisée par cogénération contre 95% pour les chaudières bi-gaz.

**Tableau 1** – Synthèse des configurations et des consommations de méthane des installations présentées

	Elevage 1	Elevage 2	Elevage 3	Elevage 4
<b>CONFIGURATION DE L'ELEVAGE</b>				
Volume lisier + eaux de lavage, m <sup>3</sup>	3 450	13 380	7 833	7 805
Taille fosse avec méthanisation passive, m <sup>3</sup>	1 200	1 800	2 400	500
Présence 2 <sup>ème</sup> fosse pour évacuation du trop-plein de lisier	Oui	Oui (station de traitement biologique)	Non	Oui (digesteur mésophile)
Type et fraîcheur de lisier	Engrais	Mixte frais	Mixte	Mixte frais
Utilisation de l'énergie issue de la méthanisation passive	Chauffage 1 300 places PS + 10 places maternité	Chauffage 2 258 places PS + 98 places maternité	Chauffage 1 800 places PS	Cogénération
<b>VALORISATION DU BIOGAZ</b>				
Volume moyen de CH <sub>4</sub> valorisé, m <sup>3</sup> /an	12 184	40 764	5 672	6 093
Volume moyen de CH <sub>4</sub> valorisé, m <sup>3</sup> /j	33	112	16	17
Volume moyen de CH <sub>4</sub> valorisé, m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de lisier ayant transité par la fosse	3,5	3,0	0,7	0,8
Energie thermique valorisée, kWh/an	117 572	621 747	54 731	58 797
Autonomie en chauffage (%)	78 %	72 %	40 %	<sup>1</sup> NC

<sup>1</sup> NC : non concerné.

**Tableau 2** – Emissions de gaz à effet de serre évitées au stockage grâce à la méthanisation passive

	Elevage 1	Elevage 2	Elevage 3	Elevage 4
Energie thermique produite grâce au biogaz, kWh thermique/an	117 572	406 009	54 731	2 285
Electricité produite grâce au biogaz, kWh/an	0	0	0	19 723
<sup>1</sup> Volume annuel de méthane valorisé, Nm <sup>3</sup> /an	12 426	42 909	5 784	4 874
<sup>2</sup> Emissions de GES évitées, t équivalent CO <sub>2</sub> /an	211	729	98	73
<sup>3</sup> Emissions de GES évitées par la substitution d'électricité par la chaleur de la chaudière, t équivalent CO <sub>2</sub> /an	7	25	3	0
<sup>3</sup> Emissions évitées par la production d'électricité, t équivalent CO <sub>2</sub> /an	0	0	0	1
<sup>4</sup> Emissions de GES liées à la consommation électrique de la méthanisation passive, t équivalent CO <sub>2</sub> /an	0,12	0,12	0,12	0,12
Emissions de GES évitées par la méthanisation passive, t équivalent CO <sub>2</sub> /an	222	754	102	74
Energie thermique produite par le propane, kWh thermique/an	37 059	156 642	80 713	0
<sup>5</sup> Emissions liées à la consommation de propane, t équivalent CO <sub>2</sub> /an	10	42	22	0
Emissions évitées par la substitution de l'électricité par le propane, t équivalent CO <sub>2</sub> /an	2	10	5	0
Emissions de GES évitées au poste « stockage du lisier », t équivalent CO <sub>2</sub> /an	206	702	75	73
Emissions de GES évitées au poste « stockage du lisier », kg équivalent CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> de lisier ayant transité par la fosse	60	52	10	11

Références :

<sup>1</sup> PCI méthane = 9,96kWh/Nm<sup>3</sup>, rendement chaudière bi-gaz = 95 %

<sup>2</sup> PRG méthane = 25 (Base carbone GIEC, rapport 4), masse volumique d'un Nm<sup>3</sup> de méthane = 0,00068 kg/Nm<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Emissions de CO<sub>2</sub> liées à la production d'un kWh électrique = 0,0000607 (ADEME 2014, Base Carbone, SCOPE1 -Emissions directes. Facteurs d'émissions amont + combustion des combustibles fossiles liquides pour le périmètre France, p.37. MAJ 07/2021)

<sup>4</sup>Consommation électrique liée à la méthanisation passive = 2 004 kWh/an (Consommation électrique : référence issue du projet Promethis (Toudic et al., 2018)

<sup>5</sup> Emissions de CO<sub>2</sub> liées à la production d'un kWh issu du propane = 0,00027 (ADEME 2014, Base Carbone, SCOPE1 -Emissions directes. Facteurs d'émissions amont + combustion des combustibles fossiles liquides pour le périmètre France, p.37. MAJ 07/2021)

**Tableau 3** – Temps de retour sur investissement des installations de méthanisation passive suivies

		Elevage 1	Elevage 3	Elevage 4
Investissement, €	Couverture de fosse et équipements	41 800	<sup>1</sup> 20 668	<sup>1</sup> 23 800
	Ligne biogaz et chaudière mixte biogaz/propane	39 800	39 500	8 000
	Agitateur(s)	15 000	25 000	5 500
	Equipements chauffage eau chaude	30 000	92 000	0
	Total hors aides	126 600	177 168	37 300
	Montant des aides	32 640	24 067	2 200
	TOTAL aides incluses	93 960	153 101	35 100
Consommations énergétiques, kWh/an	Méthane	117 572	54 731	58 798
	Propane	37 059	80 713	0
	TOTAL	154 631	135 444	58 798
Facture énergétique de référence tout électrique, €/an		18 556	16 253	2 731
Nouvelle facture énergétique, €/an		1 742	3 794	0
Charges de fonctionnement, €/an	Electricité	<sup>2</sup> 288	<sup>2</sup> 288	<sup>2</sup> 288
	Main d'œuvre	1 063	177	177
	<sup>3</sup> Charbon actif	0	0	0
	<sup>3</sup> Entretien analyseur biogaz	0	0	0
	<sup>3</sup> Maintenance chaudière	250	250	0
	TOTAL	1 601	715	465
Gains, €/an	Epargne épandage eaux de pluie	478	460	1 063
	Recette de revente d'énergie	0	0	3 945
Economie réalisée sur nouvelle facture chauffage, gains et charges inclus, €/an		16 577	11 319	6 211
Temps de retour sur investissement aides incluses, années		5,7	13,5	5,7

<sup>1</sup>Seul le surcoût de la méthanisation passive par rapport à une couverture de fosse souple classique est compté du fait de l'obligation réglementaire de couvrir la fosse.

<sup>2</sup>Consommation électrique : référence issue du projet Promethis (Toudic et al., 2018)

**Références de coût :** Coût du kWh électrique : 12 cents/kWh HT ; tarif propane : 4.7 cents/kWh ; Coût main d'œuvre : 2\*SMIC horaire brut 2019 : 2 \* 10.03 = 20.06 €/h ; rendement chaleur valorisable d'un moteur de cogénération : 37,5% ; rendement électricité vendue d'un moteur de cogénération : 32,5% ; tarif de rachat de l'électricité issue de la cogénération : 0,20 €/kWh HT

<sup>3</sup>Ces 3 postes de charges sont susceptibles d'augmenter au cours du temps. Les coûts de remplacement du charbon actif, de l'entretien de l'analyseur de biogaz et de la maintenance de la chaudière seront alors estimés en moyenne à 700 €/an, 300 €/an et 600 €/an respectivement (Toudic et al., 2018).

### 3.2.3. Conditions de rentabilité

En conditions optimisées, le temps de retour sur investissement est inférieur à 6 ans pour une valorisation du biogaz par la production d'eau chaude (cas de l'élevage 1, Tableau 3). Lorsque le fonctionnement n'est pas optimisé, le temps de retour sur investissement double pour une taille de fosse deux fois plus grande (cas de l'élevage 3). Les coûts de certaines charges de fonctionnement vont potentiellement augmenter au cours du temps. Les coûts de remplacement du charbon actif, de l'entretien de l'analyseur de biogaz et de la maintenance de la chaudière seront alors estimés en moyenne à 700 €/an, 300 €/an et 600 €/an respectivement (Toudic et al., 2018).

Pour une valorisation du biogaz par cogénération, le temps de retour sur investissement peut être inférieur à 6 ans, malgré des conditions de fonctionnement non optimisées. Ces types de projet sont les plus rapides à rentabiliser. L'investissement initial ne comprend pas la chaudière, ni les équipements de chauffage eau chaude. De plus, il n'y a pas de pertes de biogaz en été, puisque l'intégralité du biogaz capté sous le gazomètre est valorisée. Le lisier qui transite par ces fosses est très frais.

Enfin le tarif de rachat de l'électricité issue de la cogénération est supérieur au tarif du kWh électrique, utilisé pour le calcul du temps de retour sur investissement des installations avec chaudière. Ces facteurs compensent le rendement moindre des moteurs de cogénération comparé à celui des chaudières bi-gaz.

## CONCLUSION

Le suivi d'élevages équipés de méthanisation passive confirme les résultats obtenus par Toudic et al. (2018). Différents facteurs sont à prendre en compte avant d'investir. La configuration de l'élevage doit permettre des apports de lisier frais et fréquents et une inertie thermique minimale du lisier dans la fosse.

L'installation doit être pilotée quotidiennement pour être optimisée. Cette étude montre que la méthanisation passive peut être placée sur une fosse en amont d'un procédé de traitement du lisier (station de traitement biologique, digesteur mésophile). Des économies d'énergie et des bénéfices environnementaux peuvent être tirés de la méthanisation passive lorsque les conditions sont réunies.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Toudic A., Lavenan K., Dabert P., Lendormi T., 2018. Méthanisation passive des lisiers de porcs en hiver : résultats de l'installation « Nénufar » de Guernévez et Temps de retour sur investissement du procédé « Nénufar ». Journées Rech. Porcine, 50, 45-46.
- IFIP, Chambres d'agriculture de Bretagne et Pays de la Loire, 2008. Consommations d'énergie des bâtiments porcins : comment les réduire ? Edition IFIP, 20 p.

# Évaluation des performances environnementales d'élevages porcins de demain

*Sandrine ESPAGNOL (1), Nadine GUINGAND (1), Yvonnick ROUSSELIÈRE (1), Pascal LEVASSEUR (1), Valérie COURBOULAY (1), Laurent ALIBERT (1), Christine ROGUET (1), Christophe DURAND (2)*

*(1) IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35360 Le Rheu, France*

*(2) Midiporc, 2 Allée Brisebois, Auzeville Tolosan, 31322 Castanet-Tolosan, France*

[sandrine.espagnol@ifip.asso.fr](mailto:sandrine.espagnol@ifip.asso.fr)

## Évaluation des performances environnementales d'élevages porcins de demain

La filière porcine d'Occitanie a construit, avec des experts et des parties prenantes, des modèles d'élevage pour demain, répondant notamment à des enjeux de bien-être animal et d'impacts environnementaux. La conception des bâtiments intègre, du grand volume en lumière naturelle, des zones de vie différenciées selon les besoins des porcs, une surface plus grande par animal, des matériaux manipulables organiques, la liberté de déplacement des animaux, l'accès à une courette pour les porcs à l'engrais, l'utilisation de ressources alimentaires non associées à la déforestation, des équipements réduisant les émissions gazeuses et les consommations d'énergie, et une production d'énergie renouvelable. Différents prototypes sont construits et évalués par modélisation concernant, les impacts de la production des aliments, les consommations d'énergie de l'élevage, et les émissions gazeuses (NH<sub>3</sub> et GES) de la gestion des effluents. Pour ces dernières, des facteurs d'émissions de la bibliographie sont appliqués aux excréments, ventilés entre les zones de vie, suivant deux hypothèses : une première d'utilisation appropriée des zones de vie par les porcs et une version dégradée où des déjections se font en partie sur les zones de repos. Les résultats montrent une conciliation possible des enjeux bien-être et environnement, avec des améliorations environnementales par rapport à des élevages conventionnels, à l'exception des émissions de GES qui sont augmentées dans le cas d'une utilisation de litière accumulée pour les truies en gestation. Les performances environnementales sont également fragilisées avec des émissions de NH<sub>3</sub> augmentées en cas de déjections sur les zones de repos. Il en ressort que les performances environnementales de ces élevages seront globalement fortement dépendantes de la gestion de l'ambiance et des matériaux manipulables conditionnant la bonne appropriation des porcs. Des mesures terrain s'avèrent nécessaires pour acquérir des références.

## Environmental assessment of pig farms for the future

With the help of experts and stakeholders, the pig industry in southwestern France has built models of pig farms for the future that address animal welfare and environmental issues in particular. The design of buildings includes large open spaces with natural daylight, several housing areas adapted to pig needs, more surface area per animal, use of organic enrichments, freedom of movement for animals, access to a yard for fattening pigs, feed with ingredients not related to deforestation, equipment to reduce gaseous emissions and energy consumption, and production of renewable energy. Several prototypes have been built, and their impacts of feed production, energy consumption and gaseous emissions (NH<sub>3</sub>, GHG) of the pig unit were assessed. To estimate gaseous emissions, emissions factors from the literature were applied to animal excretions, which were allocated among floor types based on one of two assumptions: pigs excreted mainly in an area designed for it, or pigs excreted partly in resting areas. Results showed the potential of prototypes to reconcile welfare and environmental issues, with lower environmental impacts than those of conventional pig units, except for the prototype with some gestating sows in deep litter (increased GHG emissions). Performances were also lower due to increased NH<sub>3</sub> emissions if pigs excreted in resting areas. This study illustrates that environmental performances of such pig units depend greatly on managing the indoor climate and organic enrichment to that pigs use them. Field observations and measurements will be necessary to obtain reference values.

## INTRODUCTION

La question du modèle d'élevage porcin pour demain se pose et Midiporc (l'Interprofession Porcine d'Occitanie), accompagné de l'IFIP sur les aspects techniques, a cherché à y répondre avec les acteurs de la filière d'Occitanie. L'objectif était de trouver un modèle répondant à la fois aux attentes des éleveurs, de la filière, des consommateurs et des citoyens, et également aux évolutions réglementaires. Les éleveurs et la filière souhaitaient des modes d'élevage maintenant le tissu humain et économique tout en accroissant l'attrait, la durabilité et la résilience des exploitations porcines. Leur demande allait vers le maintien d'acquis comme les performances techniques et la sécurité sanitaire, avec un souhait d'amélioration sur l'ergonomie du travail, la prise en compte du bien-être des animaux et la réduction des incidences environnementales. Les attentes sociétales convergeaient sur l'importance des enjeux environnement, bien-être animal et sécurité sanitaire mais s'exprimaient également sur les moyens, avec l'arrêt de certaines pratiques d'élevage (castration, coupe de queue...) et le souhait d'un accès au plein air pour les animaux (Roguet *et al.*, 2020).

Dans ce contexte, des modèles d'élevage ont été imaginés, déclinés en versions techniques et évalués du point de vue de leurs performances environnementales.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Construction de modèles d'élevage de demain

Une démarche de co-design a été menée par Midiporc avec une animation confiée à l'agence de communication ICOM. Une douzaine d'éleveurs volontaires y ont participé ainsi que des interlocuteurs de la filière, des conseillers de Chambre d'Agriculture et des consommateurs. À l'issue de six rencontres organisées sous forme d'ateliers itératifs, des lignes directrices ont émergé. Les attentes sur le bien-être animal se traduisent par des bâtiments grand volume avec lumière naturelle, des zones de vie répondant aux besoins des porcs (alimentation et activité, repos, excrétion), l'accès à des matériaux manipulables organiques, des surfaces par animal augmentées par rapport aux standards actuels d'élevage conventionnel, des maternités « liberté » et un accès à l'air libre au cours de la croissance des porcs. Les enjeux environnementaux sont pris en compte avec l'utilisation de ressources alimentaires non associées à la déforestation, une maîtrise des émissions gazeuses et des

consommations d'énergie, et une production d'énergie renouvelable.

Sur la base de ces principes, l'IFIP a décliné à dire d'experts des prototypes d'élevage. Chacun est une combinaison de leviers techniques compatibles dont les principales caractéristiques sont précisées dans le tableau 1. Des leviers sont spécifiques du bien-être animal et d'autres de l'environnement. Deux versions de salle de verraterie et de maternité sont prises en compte avec une évacuation gravitaire des lisiers (V1 et M1) ou du lisier flottant (V2 et M2). Deux options structurelles, « DAC » et « réfectoire », sont considérées pour les truies gestantes, avec des râteliers de paille pour l'option « DAC » (G1) et de la paille raclée (G2) ou accumulée (G3) sur une zone de gisoir pour l'option « réfectoire ». Six versions de post-sevrage (PS) sont retenues croisant deux modalités d'apport de matériaux manipulables (paille ou rondin), deux modalités d'évacuation des effluents (lisier flottant ou raclage en V), et deux destinations possibles des effluents en cas de raclage (fosse couverte ou méthanisation) : râtelier et lisier flottant (PS1), rondin et lisier flottant (PS2), râtelier et raclage en V, avec destination en fosse couverte (PS3), ou en méthanisation (PS4), et rondins avec raclage en V suivi, d'un stockage en fosse couverte (PS5), ou d'une méthanisation (PS6). En engraissement, le bâtiment est divisé en deux zones de vie intérieure et extérieure : deux options structurelles sont configurées. L'option 1 est un bâtiment avec 1/3 de la zone de vie en intérieure sur gisoir plein et 2/3 sur une courette extérieure. Quatre versions sont prises en compte, croisant deux versions de courette extérieure (caillebotis intégral ou partiel) et deux destinations des effluents issus du raclage (fosse couverte ou méthanisation) : courette sur caillebotis intégral et destination des effluents en fosse couverte (E1) ou en méthanisation (E2), et courette avec caillebotis partiel et fosse couverte pour le stockage (E3) ou méthanisation (E4). L'option 2 inverse les proportions avec une partie bâtiment sur 2/3 de la zone de vie et une partie courette extérieure pour 1/3. Six versions résultent de la combinaison de modalités d'évacuation des effluents en bâtiment, de types de sol sur la partie courette, et de destination des effluents en cas de raclage en V :

- lisier flottant, courette sur gisoir plein (E5) ou caillebotis partiel (E6) ;
- raclage en V, courette sur gisoir plein, gestion extérieure des effluents en fosse couverte (E7) ou en méthanisation (E8)
- raclage en V, courette sur caillebotis partiel, gestion des effluents en fosse couverte (E9) ou en méthanisation (E10).

**Tableau 1** – Description de l'élevage de demain avec les options (cellules gris foncé) et sous-options (cellules gris clair), liées à des bonnes pratiques dédiées au bien-être animal (*en italique*) et à l'environnement (**en gras**)

Stades physiologiques	Verraterie	Gestantes		Maternité	Post-sevrage	Engraissement			
		Option 1	Option 2			Option 1		Option 2	
Type bâtiment	BF	BF		BF	BF	$\frac{1}{3}$ BF	$\frac{2}{3}$ C	$\frac{2}{3}$ BF	$\frac{1}{3}$ C
Surface (m <sup>2</sup> /animal)	2,25	2,25	3,37	6,76	0,4	1,5		1,5	
Types sol	CI	CI&GP	CI&GP	CI	CI	GP	CI / CI&GP	CI	GP / CI&GP
Matériaux manipulables	<i>Ra</i>	<i>Ra</i>	<i>PR / PA</i>	<i>Ra</i>	<i>Ra / Ro</i>	<i>Ra / Ro</i>		<i>Ra / Ro</i>	<i>P</i>
Gestion animaux et équipements	<i>Groupe REF</i>	<i>Groupe DAC</i>	<i>Groupe REF</i>	<i>Case liberté</i>	<i>Niche</i>				<i>Niche</i>
Gestion air	Ventilation	<b>dyn.</b>	<b>dyn.</b>	<b>dyn.</b>	<b>dyn.</b>	stat.	stat.	<b>dyn.</b>	stat.
	Lavage air	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	non	non	<b>oui</b>	non
Gestion effluents	Bâtiment	<b>G / LF</b>	<b>LF</b>	<b>LF &amp; R</b>	<b>G</b>   <b>LF</b>	<b>LF / RV</b>		<b>RV</b>	
	Stockage	<b>FC</b>	<b>FC</b>	<b>FC</b>	<b>FC</b>	<b>FC / M</b>		<b>M</b>	
	Épandage	Pendillard							

Signes utilisés : types bâtiment (BF : bâtiment fermé ; C : courette extérieure), types de sol (CI : caillebotis intégral ; GP : gisoir plein), matériaux (Ra : râtelier à paille ; Ro : rondins de bois), gestion de la paille (PR : raclée ; PA : accumulée), gestion des animaux (REF : réfectoire ; DAC : distribution automatique de concentrés), gestion de l'air (dyn : dynamique ; stat : statique), gestion des effluents (G : gravitaire ; LF : lisier flottant ; RV : raclage en V ; R : raclage ; FC : fosse couverte ; M : méthanisation)

## 1.2. Évaluation des performances environnementales

L'évaluation des performances est réalisée par modélisation et concerne exclusivement l'environnement. L'intérêt vis-à-vis du bien-être se mesure davantage à ce stade par la liste des bonnes pratiques mises en œuvre dans la construction technique (Tableau 1). Les performances environnementales sont estimées sur trois postes : la production des aliments, les émissions gazeuses directes de l'élevage liées à la gestion des effluents (ammoniac et gaz à effet de serre), et les consommations d'énergie directes. Pour la quantification des flux, un élevage naisseur-engraisseur de 225 truies a été pris en compte avec 176 places en verrerie-gestante, 52 en maternité, 1 008 en post-sevrage et 2 016 en engraissement.

### 1.2.1. Alimentation des animaux

Une alimentation biphasée est retenue pour les truies et les porcelets en post-sevrage, et triphasée pour l'engraissement. Les aliments sont formulés avec une basse teneur en protéines et l'utilisation de phytases afin de réduire les excréments azotés et phosphorés des animaux (Tableau 2). Ils sont fabriqués à la ferme (FAF), avec une utilisation de céréales produites localement (blé, orge et maïs), à l'exception de l'aliment 1<sup>er</sup> âge qui est acheté. Une utilisation de sources de protéines non associées à la déforestation est prise en compte en substitution du tourteau de soja brésilien, avec soit une utilisation de soja expeller régional soit une importation de tourteau de soja garanti sans OGM et sans déforestation.

**Tableau 2** – Caractéristiques des aliments

(kg/t)	G	M	PS2	N	C	F
Céréales	857	761	734	782	786	818
Tt. Tournesol	109	150	150	150	150	150
Tt. soja expeller		46	72	28	30	
CMV	31,8	34,9	30,1	26,7	26,1	25,2
Acides aminés	2,2	8,1	13,9	13,4	8,0	6,9
Protéines (g/kg)	128	150	170	145	142	131
EN (MJ/kg)	9,2	9,8	9,4	9,9	9,9	9,9
Lys.dig. (g/kg)	5,05	8,82	11,28	9,92	8,41	7,43

G : gestantes ; M : maternité ; PS2 : post-sevrage 2<sup>ème</sup> âge ; N : nourrain ; C : croissance ; F : finition. EN : Énergie nette ; Lys.dig : lysine digestible

### 1.2.2. Performances et excrétion des animaux

Les performances techniques des animaux sont celles de la GTE 2016 réactualisées pour 2019 à partir des tendances d'évolution observées dans l'intervalle (Badouard, 2021, communication personnelle). Sur la base de l'alimentation et des performances techniques des animaux, les excréments d'azote sont calculés avec les équations de Dourmad *et al.* (2015) en considérant une répartition entre une fraction urinaire et une fraction fèces ; l'excrétion de matière organique est calculée par celles du Tier 2 de l'IPCC (2019).

Deux hypothèses de localisation des déjections sont considérées selon l'appropriation effective des différentes zones de vie par les porcs en engraissement et les truies gestantes : une hypothèse *h+* avec 90% des déjections (urines et fèces) dans les zones dédiées ; une hypothèse dégradée *h-* avec 60% des urines et 80% des fèces dans ces zones. Pour *h+* et *h-*, les fractions restantes des effluents sont réparties de façon équivalente entre les autres types de sol.

### 1.2.3. Impacts environnementaux des aliments

Les impacts environnementaux des aliments sont estimés à partir des formulations des aliments, des quantités consommées et des impacts de chaque matière première donnés par ECOALIM v7 (Wilfart *et al.*, 2016) pour les impacts sur le changement climatique (ILCD), l'acidification (CML) et la

consommation d'énergie non renouvelable (CED1.8).

### 1.2.4. Émissions gazeuses de la gestion des effluents

Les émissions gazeuses calculées concernent l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et les gaz à effet de serre (GES), protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et méthane (CH<sub>4</sub>), exprimés en équivalent CO<sub>2</sub>, tout au long de la gestion des effluents (bâtiment, stockage et épandage). Afin de prendre en compte les types de sol et modalités de gestion des effluents, des facteurs d'émission (en % de l'azote total, de l'azote ammoniacal ou de la matière organique excrétée(e)) et d'abattement spécifiques (en % de réduction) proviennent de la bibliographie.

Les facteurs d'émissions de NH<sub>3</sub> proviennent du Tier 2 de l'EMEP (2019). Les émissions peuvent être réduites via des coefficients d'abattement publiés par le RMT élevages et environnement (2019) qui sont, au bâtiment, de 25% avec du lisier flottant et de 45% avec du raclage en V, au stockage de 80% avec une couverture de fosse et à l'épandage de 60% avec un épandage des lisiers avec pendillard. En cas de lisier flottant combiné avec des râteliers de paille en bâtiment, une réduction de 10% supplémentaire est prise en compte, conformément aux résultats de Guingand et Courboulay (2019). Pour le sol avec paille raclée vs paille accumulée, une augmentation de 10% est prise en compte suivant les résultats de Philippe *et al.* (2012).

Les facteurs d'émissions CH<sub>4</sub> proviennent essentiellement de l'IPCC Tier2 (2019) en répartissant une fraction émise au bâtiment et une fraction émise au stockage au prorata du temps respectif passé (1/3 au bâtiment pour les itinéraires avec stockage des effluents sous les animaux pendant l'engraissement ou 1/5 au bâtiment en cas de litière raclée). Le bâtiment et le stockage sont respectivement considérés à 22°C et 12°C en moyenne sur l'année. Spécifiquement pour le raclage en V en engraissement, le facteur d'émission de Lagadec *et al.* (2019) de 1,95 g CH<sub>4</sub>/j/animal est utilisé. Des facteurs d'abattement sont pris en compte, de 50% pour le bâtiment avec du raclage en V en post-sevrage, et de 95% pour l'étape méthanisation (vs un stockage en fosse) en se basant sur les résultats de Espagnol *et al.* (2019). Aucune émission de CH<sub>4</sub> n'est considérée à l'épandage des effluents.

Les facteurs d'émissions de N<sub>2</sub>O proviennent pour la partie bâtiment sur lisier de Philippe et Nicks (2015) et pour les autres types de sol du bâtiment (gisoir plein nu ou avec litière) de l'IPCC Tier2 (2019). Un abattement de 60% est considéré pour la litière raclée vs accumulée suivant les résultats de Philippe *et al.* (2012). Un abattement de 50% est également considéré en cas de raclage en V d'après les résultats de Landrain *et al.* (2009). Pour le stockage en fosse couverte et l'épandage les facteurs utilisés sont ceux de l'IPCC Tier 2 (2019). Les émissions N<sub>2</sub>O sont négligées pour le poste méthanisation.

### 1.2.5. Consommation et production d'énergie

Les performances énergétiques de l'élevage de demain sont considérées au regard de consommations de référence en y appliquant des économies permises par les bonnes pratiques (IFIP, 2013). Pour le photovoltaïque, une installation de 200 m<sup>2</sup> est prise en compte. Seules les consommations d'énergie en bâtiment sont considérées dans les calculs ; l'unité FAF et l'éventuelle méthanisation ne sont pas prises en compte.

### 1.2.6. Élevages de référence

Les performances environnementales des élevages de demain sont comparées à celles d'élevages de référence en production conventionnelle. Des aliments représentatifs des pratiques actuelles de fabrication à la ferme sont pris en compte avec

respectivement pour les truies et l'engraissement, 82-79% de céréales, 10-13% de tourteau de tournesol décortiqué et 4,2-5,5% de tourteau de soja importé. Les performances techniques des animaux, ainsi que leurs excréments (N et MO) sont considérées identiques à celles de l'élevage de demain. Deux références sont prises en compte : sans bonne pratique (Ref), et en combinant du lavage d'air pour réduire les émissions de NH<sub>3</sub> avec une couverture psychrophile au stockage pour réduire les émissions de GES (Ref env+). Les consommations d'énergie directes de référence considérées sont de respectivement 160, 900, 85 et 40 kWh/place/an pour la gestante, la maternité, le post-sevrage et l'engraissement (IFIP, 2013).

## 2. RESULTATS

### 2.1.1. Excrétion des animaux

L'excrétion azotée de l'élevage est de 25 038 kg N par an, soit 13% de moins qu'une excrétion standard calculée avec les références de Dourmad *et al.* (2015), respectivement de 20,3 kg N/truie, 0,55 kg N/porcelets en PS et 3,80 kg N/porc charcutier de 121 kg. L'azote urinaire (TAN) représente 17 699 kg, soit 71% de l'azote total. L'excrétion de matière organique (MO) est de 282 317 kg VS par an. Ces excréments sont identiques pour les deux stratégies d'alimentation testées car les caractéristiques nutritionnelles des aliments, sont également identiques.

### 2.1.2. Impacts liés à la production des aliments

Grâce à l'incorporation de sources de protéines non liées à la déforestation, l'impact des aliments sur le changement climatique est réduit de respectivement 7%, 15%, 19% et 11% par tonne d'aliment gestante, maternité, post-sevrage et engraissement, en comparaison à l'élevage de référence (Tableau 3). A l'échelle de l'élevage, en prenant en compte les quantités d'aliments consommés, cela fait une réduction annuelle de 108 t<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>.

**Tableau 3** – Impacts (moyenne et écart type entre les deux stratégies alimentaires) de la production des aliments et consommation d'énergie directe de l'élevage

Stades	Impacts ACV des aliments (/t)			Conso énergie, kWh/place
	CC, kg eqCO <sub>2</sub>	AC, molc H+	CE, MJ	
Gest.	368 (0)	8,68 (0)	2819 (0)	73,6
Mater.	425 (8,7)	10,21 (0,22)	4780 (68)	408,6
PS	471 (3,5)	9,63 (0,28)	5494 (70)	31,8
Eng.	424 (1,8)	10,93 (0,03)	4666 (3)	4 (opt1) 40-45 (opt2)

CC : changement climatique ; AC : acidification ; CE : consommation d'énergie fossile.

Les impacts acidification et consommation d'énergie des aliments de l'élevage de demain restent inchangés par rapport à l'élevage de référence (différence inférieure ou égale à 1%).

### 2.1.3. Consommation et production d'énergie sur l'élevage

Avec les bonnes pratiques de l'élevage de demain et en comparaison à l'élevage de référence, les consommations d'énergie (Tableau 3) sont réduites de respectivement 54%, 55%, 63% en verraterie-gestante, maternité et post-sevrage. Pour l'engraissement, l'option 1 permet une réduction de 90% contre 0% pour l'option 2. En effet, les économies sur la ventilation dues à la gaine centralisée de cette dernière sont annulées par le passage en surpression. La consommation d'énergie annuelle de l'élevage de demain s'élève à 74 320 kWh pour l'option 1 et 157 000 kWh pour l'option 2. Pour l'option 2, 200 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques permettent de produire environ 48 000 kWh/an, ce qui correspond à un taux

d'autoconsommation de 31% (fréquemment rencontré sur le terrain). Pour l'option 1 le taux sera le même mais avec moins de m<sup>2</sup> de panneaux. L'ensemble permet une réduction de pression environnementale sur les ressources en énergie fossile de respectivement 89% et 55% pour les options 1 et 2.

### 2.1.4. Émissions en ammoniac

Les postes d'émissions les plus importants sont le bâtiment et l'épandage (Figure 1). Les émissions lors du stockage sont fortement réduites du fait de l'utilisation d'une couverture des fosses extérieures ou d'une mobilisation des effluents dans une filière de méthanisation (dont les étapes de gestion des effluents se font dans des unités majoritairement couvertes). Les propositions d'élevage de demain ont toutes des émissions d'ammoniac identiques ou inférieures à celles de Ref env+ avec h+ pour tous les stades physiologiques. Les modalités qui émettent le moins pour les porcs en croissance sont celles qui combinent en bâtiment le raclage en V des effluents et le lavage d'air (cas des PS2, PS4, E7, E8, E9 et E10). Pour l'engraissement, toutes les modalités de l'option 2 avec 2/3 du logement des porcs en bâtiment (y compris le lisier flottant) sont moins émettrices que celles de l'option 1 avec 1/3 du logement en bâtiment. C'est la possibilité de lavage d'air dans l'option 2 qui fait la différence. Pour les truies gestantes, la version la moins émettrice est celle de l'option 2 en litière accumulée (G3) : la part d'azote des déjections excrétée dans la paille émet moins que sur du caillebotis et va se retrouver immobilisée pour le stockage (pas d'émission d'ammoniac). Pour les truies en verraterie et en maternité, les moindres émissions se font pour la version qui combine le lisier flottant et le lavage d'air ; pour ces animaux, il n'y a pas d'option de raclage en V.

**Tableau 4** – Émissions gazeuses (moyenne et écart type entre les différentes versions d'élevage) de la gestion des effluents bâtiment – stockage – épandage (kg/place/an)

Stades	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	eqCO <sub>2</sub>
Verrat.	1,11 (0,2)	0,07 (0)	3,45 (0)	116 (1)
Gest. h+	7,54 (0,13)	0,73 (0,13)	24,69 (1,21)	886 (68)
Gest. h-	9,48 (0,33)	1,16 (0,46)	23,86 (2,41)	976 (191)
Mater.	6,35 (0,8)	0,28 (0,01)	12,44 (0)	423 (2)
PS	0,61 (0,03)	0,06 (0)	2,29 (1,08)	79 (31)
Eng. h+	2,39 (0,15)	0,22 (0,02)	5,6 (3,94)	216 (116)
Eng. h-	3,09 (0,22)	0,25 (0,02)	5,6 (3,92)	224 (114)

Avec h- pour les porcs à l'engrais et les truies gestantes, les émissions de NH<sub>3</sub> des élevages de demain augmentent au-dessus des versions les plus élevées de l'hypothèse h+ et également de l'élevage Ref env+ (sauf pour G1). Pour autant, les émissions restent inférieures à Ref. En engraissement, la hiérarchie entre les options 1 et 2 reste la même avec h- et h+. Au sein de l'option 2, les émissions sont plus élevées dans les versions où la zone de repos est exclusivement en sol plein (vs sol plein + caillebotis) : le facteur d'émission de 53% de l'azote ammoniacal explique ce résultat. En gestante, les émissions deviennent plus importantes pour l'option 2 avec litière (G2 et G3). En effet, en cas d'hypothèse pessimiste, 40% des urines et 20% des fèces se font dans la partie litière, ce qui conduit à la formation d'un fumier qui émet davantage qu'un lisier lors du bâtiment et du stockage du fumier qui suit.

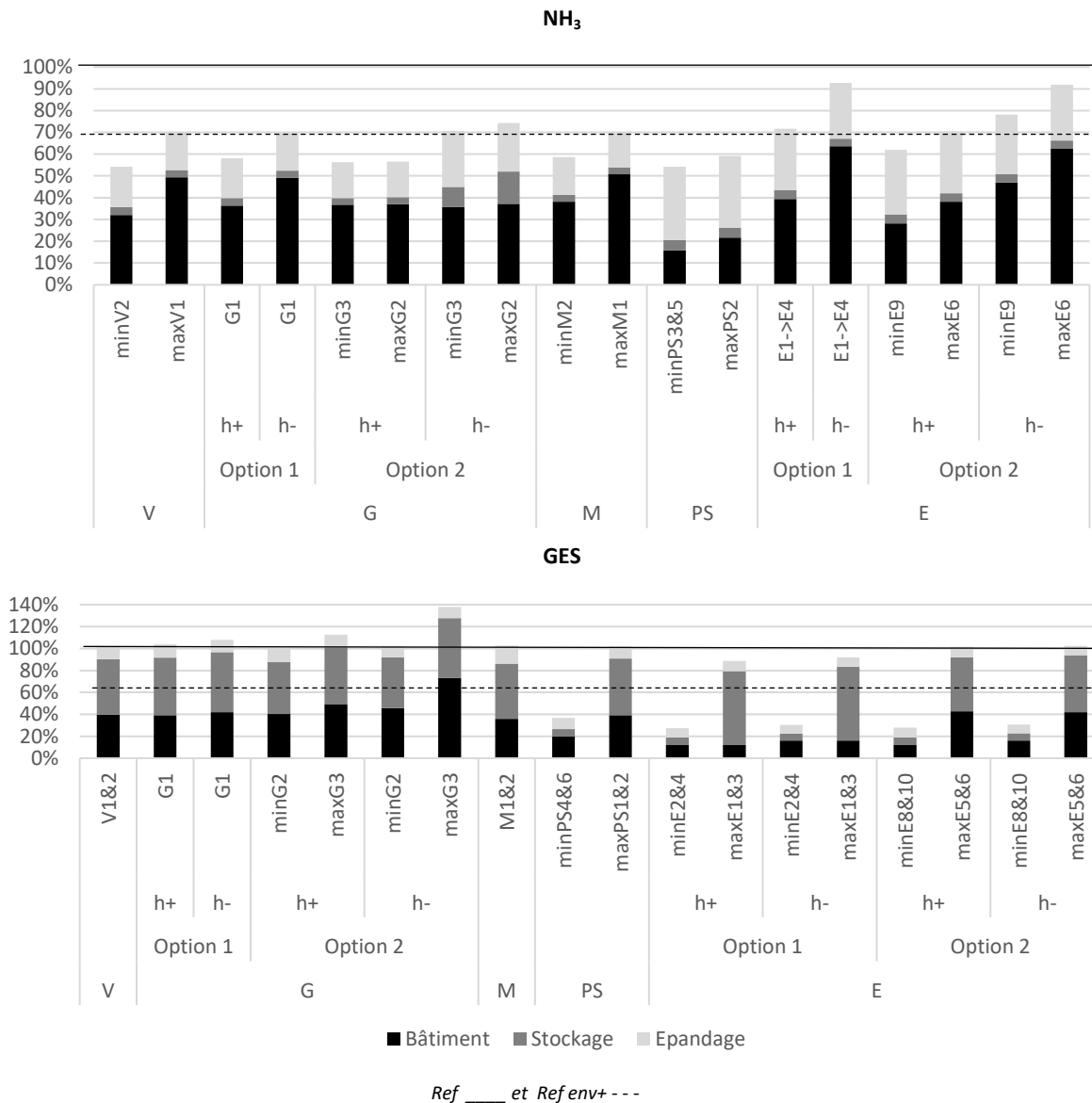
### 2.1.5. Émissions en gaz à effet de serre (GES)

Les émissions de GES des élevages de demain en verraterie, maternité, post sevrage et engraissement sont proches de celles de l'élevage Ref (figurées à 100%) pour les valeurs les plus élevées des diverses versions, ou inférieures de 30 à 50% par rapport à Ref env+ pour les valeurs les plus faibles des versions



d'élevage. Les versions pour lesquelles il y a une réduction sont celles avec du raclage en V au niveau du bâtiment suivi d'une méthanisation. En engraissement, les localisations des déjections des hypothèses h+ et h- ne montrent pas de différences concernant les émissions de GES.

Pour les gestantes, les émissions de GES sont supérieures à l'élevage Ref avec l'option2 (G2 et G3) : l'augmentation va jusque 10% en h+ et elle peut atteindre 61% en h-. Ceci est lié au fumier qui se forme lorsqu'une partie des déjections se fait au niveau de la zone paillée. Des processus de nitrification / dénitrification s'y opèrent et forment du protoxyde d'azote qui est un gaz à effet de serre avec un pouvoir de réchauffement global 298 supérieur à celui du dioxyde de carbone.



**Figure 1** – Émissions gazeuses (NH<sub>3</sub> et GES) de la gestion des effluents des modèles d'élevage de demain (avec les versions min et max de chaque stade pour les hypothèses h+ et h-) en pourcentage de l'élevage de référence (Ref) sans bonnes pratiques

### 3. DISCUSSION

L'approche par modélisation des performances d'élevage de demain présente des limites.

En l'absence de données, les hypothèses de performances zootechniques des élevages de demain n'ont pas été modifiées par rapport aux élevages conventionnels actuels. Or il est possible que ce soit le cas. La question se pose essentiellement en engraissement, où les bâtiments sont ouverts vers l'extérieur et où les animaux disposent de deux fois plus de surface que dans un élevage standard ce qui peut jouer sur leur niveau d'activité et donc leur besoin énergétique journalier. Pour l'option 1 où la zone d'activité physique est à l'extérieur, le mode d'élevage pourrait se rapprocher d'une configuration en ventilation statique classique.

Il pourrait s'y opérer une dégradation des performances, du même ordre que celle observée entre les systèmes sur litière accumulée et les systèmes sur caillebotis : 0,16 point d'indice de consommation en plus en 2016 (source GTE IFIP). Dans l'option 2, seule la zone de repos donne sur l'extérieur. Les 2/3 de la surface de vie restent en ventilation dynamique à l'intérieur. Les porcs iront là où c'est le plus confortable pour eux et cela devrait peu affecter les résultats.

Une autre limite rencontrée est l'existence de facteurs d'émissions spécifiques à chacun des types de sol, en configuration intérieure et extérieure. Les facteurs d'émissions NH<sub>3</sub> de l'EMEP (2019) des systèmes lisier sur caillebotis en bâtiment ont été utilisés pour les courettes extérieures sur caillebotis, et ceux des gisoirs pleins de courette extérieure ont

été utilisés pour les gisoirs à l'intérieur des bâtiments. Ces choix privilégient l'incidence des types de sol et modes de gestion des effluents comme démontré par Ivanova-Peneva *et al.* (2008) sur des courettes extérieures, mais induisent des biais car les températures et renouvellements d'air en surface du lisier, qui influencent fortement les émissions d'ammoniac, sont différentes en bâtiment et en extérieur.

L'ajout de matériaux manipulables est également un facteur de variation non négligeable du comportement des porcs et des émissions gazeuses comme l'ont montré Olsson *et al.* (2016a et 2016b) et Blanes-Vidal *et al.* (2008). Le type de matériau, sa quantité mise à disposition des porcs, la configuration des différentes zones de vie et le comportement des porcs (qui pourra changer d'une bande à l'autre, ainsi que d'une saison à l'autre) sont des éléments qui peuvent engendrer une utilisation de matériau plus ou moins importante, et également différentes destinations. De la paille mise à disposition peut réduire les émissions de NH<sub>3</sub> en passant sous le caillebotis et en « couvrant » le lisier comme démontré par Guingand et Courboulay (2019). Elle peut aussi rester en surface du caillebotis et l'obstruer en se mélangeant aux déjections et en formant une zone d'émissions de type « fumier », ce qui n'a pas été pris en compte dans les modélisations réalisées.

Ainsi, des facteurs de variabilité sont identifiés en lien avec les matériaux manipulables utilisés et le comportement des porcs, avec des conséquences sur les performances environnementales. Le pilotage du système (choix des matériaux, des zones d'apports, des quantités et de la fréquence d'apport) sera tout aussi déterminant que les choix structurels de départ (option de gisoirs thermorégulés, système de goutte à goutte) pour encadrer une bonne appropriation des zones de vie par les porcs.

## CONCLUSION

Les résultats des élevages de demain montrent une conciliation possible des enjeux de bien-être et d'environnement (avec une réduction des impacts) par rapport à des élevages conventionnels, sur les postes fabrication des aliments, consommations d'énergie et gestion des effluents de l'élevage. Toutefois, le travail a pointé des fragilités dans les conclusions obtenues, notamment sur la partie émissions gazeuses directes. Il s'agira d'accompagner les éleveurs avec du conseil de pilotage de ce type de systèmes pour assurer une bonne appropriation des zones de vie par les porcs et de préciser les émissions gazeuses sur les différents types de sol et modalités de gestion des effluents, notamment sur courettes extérieures. Ces limites pointent la nécessité de réaliser des mesures sur des élevages pilotes pour acquérir des références. À noter qu'au-delà des questions de performance, ces bâtiments de demain présentent un surcoût élevé par place. L'acceptabilité effective de ces nouveaux élevages et surtout le consentement à payer des consommateurs seront donc également déterminants sur leur émergence et leur durabilité.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Fonds Européen pour le Développement Rural pour le soutien financier apporté à ce travail dans le cadre du projet GOPEI Occitanie. Les auteurs remercient également le bureau d'étude ICOM pour sa contribution au projet et notamment l'organisation des ateliers de concertation entre les acteurs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blanes-Vidal V., Hansen M.N., Pedersen S., Rom H.B., 2008. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agr. Ecosys. Envir.*, 124, 237-244
- Dourmad J-Y., Levasseur P., Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y., Espagnol S., 2015. Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT élevages et environnement, Paris. 26 p.
- EMEP, 2019. Guidebook 2019: Manure management. 70 p.
- Espagnol S., Wilfart A., Gac A., Aissani L., Levasseur P., 2019. Analyse environnementale d'installations de méthanisation agricole en élevage porcin. *Journées Rech. Porcine*, 51, 187-192.
- Guingand N., Courboulay V., 2019. Effet du fractionnement des apports d'eau dans la technique du lisier flottant pour réduire les émissions d'ammoniac et d'odeurs en engraissement. *Journées Rech. Porcine*, 51, 181-186.
- IPCC, 2019. Chapter 10: emissions from livestock and manure management. 225p.
- IFIP, 2013. Guide du bâtiment d'élevage à énergie positive (BEBE+) : solutions pour réduire sa consommation d'énergie et produire des énergies renouvelables dans la filière porcine. 72 p.
- Ivanova-Peneva S.G., Aarnink A.J-A., Verstegen M.W.A., 2008. Ammonia emissions from organic housing systems with fattening pigs. *Biosystems Engineering*, 99, 412-422.
- Lagadec S., Toudic A., Decoopman B., Espagnol S., Richard R., Genermont S., Trochard R., Voylokov P., Hassouna M., 2019. Évaluation des pertes d'azote et de carbone de filières de gestion de déjections porcines associées au raclage en V Émissions d'ammoniac et de GES au bâtiment, stockage et compostage des effluents produits, valorisations énergétique et agronomique. *Journées Rech. Porcine*, 51, 175-180
- Landrain B., Ramonet Y., Quillien J-P., Robin P., 2009. Incidence de la mise en place d'un système de raclage en « V » en préfosse dans une porcherie d'engraissement sur caillebotis intégral sur les performances techniques et les émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote. *Journées Rech. Porcine*, 41, 259-264.
- Olsson A-C., Botermans J., Andersson M., Jeppsson K-H., Bergsten C., 2016a. Use of different rooting materials to improve hygiene and to lower ammonia emission within the outdoor concrete area in organic growing finishing pig production. *Livest. Sci.*, 191, 64-71.
- Olsson A-C., Botermans J., Andersson M., Jeppsson K-H., Bergsten C., 2016b. Design of rooting yards for better hygiene and lower ammonia emissions within the outdoor concrete area in organic pig production. *Livest. Sci.*, 185, 79-88.
- Philippe F.X., Laitat M., Nicks B., Cabaraux J.F., 2012. Ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs kept on two types of straw floor. *Agr. Ecosys. Envir.*, 150, 45-53.
- Philippe F-X., Nicks B., 2015. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agr. Ecosys. Envir.*, 199, 10-25.
- RMT Élevage et Environnement, 2019. Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage. 356p.
- Roguet C., Delanoue E., Dockès A.-C., Magdelaine P., van Tilbeurgh V., Grannec M.-L., 2020. Acceptabilité des élevages par la société en France: cartographie des controverses, mobilisations collectives et prospective. *Innovations Agronomiques*, 79 (2020), 315-329.
- Wilfart A., Espagnol S., Daugey S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. ECOALIM: A Dataset of Environmental Impacts of Feed Ingredients Used in French Animal Production. *PLoS ONE* 11(12): e0167343. doi:10.1371/journal.pone.0167343

# Effet du système de chauffage en post-sevrage sur l'ambiance, les performances et l'intégrité physique des animaux

Frédéric KERGOURLAY (1), Alexis BIOY (2), Solène LAGADEC, Mathilde HAZON, Claire WALBECQUE, Nicolas VILLAIN (1)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France

(2) Calopor SAS, 1 rue des Frères Lumière, 29860 Bourg-Blanc, France

[frederic.kergourlay@bretagne.chambagri.fr](mailto:frederic.kergourlay@bretagne.chambagri.fr)

Avec la collaboration de Pierre Le Devehat, Philippe Lirzin, Erwan Bleunven, Aurore Connan, Chloé Lein

## Effect of the post-weaning heating system on air quality, performance and physical integrity of animals

The Brittany Chambers of Agriculture tested a heating device for post weaning piglets. This device allows fresh air to be heated when ventilation rate reaches 100% of the planned minimum value. To this end, a hot-water coil was installed in the attic over the room and supplied by a heat pump. New heated air was brought into the room from composite air vents installed in the ceiling. The effect of this system for preheating incoming air was compared to that of short-wave infrared radiant-heating equipment. We assessed environmental parameters, animal-production performance and physical integrity of the piglets (scratches, tail bites). For the four batches in the experiment, concentrations of carbon dioxide, ammonia, methane and were ca. 23%, 22% and 10% lower, respectively, in the room equipped with the new system. PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> particulate-matter concentrations were also ca. 22% lower. No significant difference in growth was observed between the two systems. The percentage of piglets with severe wounds caused by tail bites after post-weaning was significantly lower in the room with preheated air (3.3%) than in the other room (8.0%). The new heating system tested in post-weaning offers interesting answers to future challenges.

## INTRODUCTION

En élevage porcin, la maîtrise des conditions d'ambiance participe au confort des animaux et à l'amélioration des performances techniques des élevages. La ventilation a pour objectifs d'apporter toute l'année l'oxygène indispensable à la respiration, d'évacuer la vapeur d'eau, les gaz et les particules émis par les animaux, et quand c'est nécessaire, d'évacuer le trop plein de chaleur, notamment en été. Le chauffage a, quant à lui, pour objectif d'apporter la chaleur nécessaire au confort des jeunes animaux. Maîtriser l'ambiance, c'est gérer le couple chauffage-ventilation de manière optimale.

Les Chambres d'agriculture de Bretagne ont testé un nouveau dispositif de chauffage dans l'un des post-sevrages de la station expérimentale de Crécom. Ce dispositif permet de chauffer la totalité de l'air « neuf » entrant lorsque le débit est au minimum de ventilation. Pour cela, une batterie eau chaude est installée dans les combles. Elle est alimentée par une pompe à chaleur qui récupère l'énergie des calories de l'air extérieur. L'entrée dans les salles de l'air neuf réchauffé se fait depuis des bouches de soufflage en matériaux composites intégrées au plafond.

Cet essai vise à évaluer l'effet de ce système de chauffage par rapport à un chauffage par radiant infra-rouge court (IRC) sur les paramètres d'ambiance, les performances techniques et l'intégrité physique des animaux.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

L'essai, mené du 15 octobre 2020 au 12 avril 2021 par les Chambres d'Agriculture de Bretagne, a porté sur quatre bandes de porcelets de race (Large White x Landrace) x Piétrain logés dans deux salles de post-sevrage de 110 places chacune, soit 856 animaux au total. Chaque salle compte 10 cases de 11 porcelets maximum avec une densité de 0,55 m<sup>2</sup>/place. Une première salle dite « essai » est chauffée à partir du nouveau dispositif de chauffage tandis que l'autre salle dite « témoin » est chauffée par radiants IRC. A chaque bande, l'assignation du système de chauffage a été inversée pour s'affranchir de l'effet salle. Les règles de gestion de la ventilation sont identiques entre les 2 salles. La température de consigne ventilation et chauffage à l'entrée des porcelets est de 27°C pour progressivement atteindre 24°C à la sortie. Le régime de ventilation est fixé entre 3 m<sup>3</sup>/h par porcelet (débit mini) et 30 m<sup>3</sup>/h par porcelet (débit maxi) avec une plage de 6°C.

#### 1.1.1. Mesures des performances techniques

Les porcelets identifiés individuellement sont pesés à l'entrée et à la sortie du post-sevrage permettant le calcul du gain moyen quotidien (GMQ). La consommation d'aliment est enregistrée par demi-salle, soit pour 55 places, permettant le calcul de l'indice de consommation (IC).

### 1.1.2. Mesures des paramètres d'ambiance

Les concentrations en gaz (dioxyde de carbone - CO<sub>2</sub>, ammoniac - NH<sub>3</sub> et méthane - CH<sub>4</sub>) sont mesurées dans l'air ambiant (en entrée, milieu et fond de salle) toutes les 10 minutes au cours des quatre bandes par un analyseur de gaz INNOVA 1412 couplé à un échantillonneur d'air INNOVA 1303. Les concentrations en particules (PM<sub>2,5</sub> - diamètre inférieure à 2,5 µm et PM<sub>10</sub> - diamètre inférieure à 10 µm) sont mesurées dans l'air ambiant toutes les 5 minutes sur l'ensemble de la période de post-sevrage par des enregistreurs de la marque COPEEKS. Le point de prélèvement se situe en milieu de salle à 1,50 m de hauteur au-dessus des animaux.

### 1.1.3. Évaluation du bien-être animal

La mesure de l'état de la queue des animaux, réalisée à J0, J7 et J33, s'appuie sur la grille de notation à quatre niveaux établie par IFIP *et al.* (2016). Note 0 : absence de marque visible ; 1 : présence de quelques griffures ; 2 : queue rouge, tuméfiée, apparence humide ou plaie saignante de taille réduite ; 3 : plaie importante, perte d'une partie de la queue.

### 1.1.4. Analyse des résultats

Une analyse statistique de comparaison de moyennes a été effectuée sur les performances zootechniques et les

paramètres d'ambiance. Les résultats relatifs au bien-être animal ont été testés en utilisant un test de Khi2.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Performances zootechniques

En moyenne, les porcelets sont entrés en post-sevrage à 8,8 kg et sont sortis à 28,6 kg après 33 jours. Le GMQ moyen sur les quatre bandes est de 604 g/j pour les animaux de la salle témoin contre 598 g/j pour les animaux de la salle essai. L'indice de consommation est quant à lui de 1,50 kg aliment/kg croît pour la salle témoin contre 1,48 kg aliment/kg croît pour la salle essai. Ces différences entre les deux salles ne sont pas statistiquement significatives.

### 2.2. Concentration en gaz et particules

Sur l'ensemble des quatre bandes, les concentrations en CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> et CH<sub>4</sub> sont réduites respectivement de 23 %, 22 % et 10 % dans la salle essai par rapport à la salle témoin. Dans l'air ambiant de la salle essai, les concentrations en particules PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub> sont également inférieures de l'ordre de 22 % par rapport à la salle témoin (Tableau 1).

**Tableau 1** – Températures ambiantes et concentrations en gaz (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>) et en particules (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>) des 4 bandes suivies

		Température ambiante (°C)	CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	NH <sub>3</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CH <sub>4</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Bande 1	Témoin	25,43 ± 0,96	2435 ± 339	3,13 ± 1,50	9,81 ± 1,95	10,67 ± 13,45	15,82 ± 16,38
	Essai	26,97 ± 0,96	2402 ± 532	2,04 ± 0,99	9,73 ± 2,49	10,20 ± 13,58	15,03 ± 15,82
Bande 2	Témoin	23,95 ± 0,79	3434 ± 952	3,01 ± 1,65	10,23 ± 1,88	16,89 ± 13,37	27,12 ± 22,26
	Essai	24,79 ± 1,11	2432 ± 728	2,66 ± 1,53	8,15 ± 1,90	12,03 ± 10,54	19,87 ± 18,13
Bande 3	Témoin	23,97 ± 1,00	2926 ± 583	3,40 ± 1,90	8,53 ± 2,12	15,27 ± 11,97	21,21 ± 19,05
	Essai	24,90 ± 1,30	2425 ± 694	1,86 ± 1,00	7,89 ± 2,60	11,16 ± 10,13	16,17 ± 16,08
Bande 4	Témoin	24,18 ± 1,02	3432 ± 548	3,65 ± 2,44	8,47 ± 1,07	13,71 ± 9,38	20,05 ± 15,28
	Essai	25,13 ± 1,27	2210 ± 477	3,66 ± 2,86	7,60 ± 1,32	9,70 ± 7,51	14,41 ± 12,56
Moyenne des bandes	Témoin	24,38 ± 1,13	3059 ± 765	3,30 ± 1,92	9,25 ± 1,96	13,90 ± 12,39	21,08 ± 18,92
	Essai	25,45 ± 1,57	2367 ± 623	2,56 ± 1,73	8,34 ± 2,29	10,78 ± 10,72	16,40 ± 15,94

### 2.3. Intégrité physique des animaux

Le nombre d'animaux présentant des morsures de queues (caudophagie) avec plaies sévères (note 2 et 3) en sortie de post-sevrage représente 3,26 % des effectifs pour la salle essai contre 7,98 % pour la salle témoin (Tableau 2). Cette différence est significative au niveau statistique (khi-deux = 11.1, ddl = 3, P-value = 0,011).

**Tableau 2** – Pourcentage et effectifs de porcelets avec notes sévères (2 et 3) de morsures de queue en sortie de post-sevrage

n	%	Effectifs
Essai	3,26%	14 sur 430
Témoin	7,98%	34 sur 426

## CONCLUSION

Les résultats de cette étude sont encourageants concernant les effets du nouveau dispositif de chauffage sur les performances zootechniques, les concentrations en gaz et particules, et l'intégrité physique des animaux. Une différence dans la dispersion et le renouvellement de l'air entrant avec ce nouveau système ou la modification de la composition du microbiote en salle liée à une homogénéité des paramètres d'ambiance pourraient expliquer l'amélioration de la qualité de l'air. L'analyse à venir d'échantillons prélevés tout au long de ces tests permettra d'étudier ces hypothèses. Concernant la maîtrise de la caudophagie, il convient de rester prudent sur l'interprétation de ces résultats, puisque de nombreux facteurs sont impliqués dans ce phénomène.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les financeurs du projet, le Conseil Régional de Bretagne et Bpifrance Bretagne.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- IFIP, CA Bretagne, 2008. Maîtrise de la ventilation et du chauffage en porcherie. 56 p.
- IFIP. Mémento de l'éleveur de porc, 7<sup>ème</sup> édition, 2013. 366 p.
- IFIP, INRA, Chambres d'agriculture, RMT bien-être animal, 2016. Prévenir la douleur chez le porc. 34 p.

# Efficacité d'un additif alimentaire phytogénique sur les émissions d'ammoniac en phase d'engraissement des porcs

Sandra CHAMUSCO, Anja KEINER, Roberto MONTANHINI NETO, Tobias AUMILLER

Delacon Biotechnik GmbH, Langwiesen 24, 4209 Engerwitzdorf, Autriche

[sandra.chamusco@delacon.com](mailto:sandra.chamusco@delacon.com)

## Efficacy of a phytogenic feed additive on ammonia emissions of growing-finishing pigs

Environmental pollution is one of the greatest challenges facing the world. In this regard, ammonia (NH<sub>3</sub>) emissions from the livestock production sector play an important role. Aerial NH<sub>3</sub> negatively impacts the health of animals and farm workers, and it contributes to soil and water acidification. Pig production is responsible for a large proportion of these NH<sub>3</sub> emissions. Phytogenic feed additives (PFA) have improved feed efficiency, which helps reduce nitrogen excretion. In addition, specific plant bioactive compounds can exert a direct effect on manure to reduce NH<sub>3</sub> formation. The present study evaluated effects of a PFA on feed efficiency during all grower/finisher periods (11 weeks) and NH<sub>3</sub> emissions during the final two weeks of the finisher period. In this trial, eight climatic chambers (4 chambers per treatment, 3 pens × 3 animals) were used to allocate 72 barrows and female pigs to one of two treatment groups (Control or PFA). Zootechnical performance was measured per chamber. NH<sub>3</sub> emissions were measured by a photoacoustic gas monitor (INNOVA). Pigs fed diets containing PFA showed no significant differences in feed efficiency compared to the control group. However, the amount of NH<sub>3</sub> produced was significantly ( $P=0.01$ ) reduced by 19.8% (from 17.95 to 14.40 g/animal/day). These findings suggest that the PFA used significantly reduces NH<sub>3</sub> formation and emission.

## INTRODUCTION

La pollution de l'environnement est l'un des plus grands défis auxquels le monde est confronté. Les émissions d'ammoniac du secteur des productions animales jouent un rôle important à cet égard. Dans l'élevage, l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) peut avoir un impact négatif sur la santé et le bien-être des animaux et des éleveurs. Ce gaz contribue également à l'acidification du sol et de l'eau, ressources vitales. La production porcine est responsable d'une partie significative de ces émissions d'ammoniac, provenant principalement des effluents.

Les additifs alimentaires phyto-géniques (AAP) ont montré des avantages sur l'amélioration de l'efficacité alimentaire, protéique en particulier, contribuant à une réduction de l'excrétion d'azote. De plus, certains composés bioactifs végétaux exercent un effet direct sur les déjections et les effluents, en réduisant la formation d'ammoniac (Chen *et al.*, 2021). Le but de l'étude était d'évaluer l'effet d'un AAP à base d'huiles essentielles et saponines (*Quillaja saponaria*) sur les émissions d'ammoniac des porcs à l'engraissement.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Schéma expérimental

L'étude était réalisée au sein du centre de recherche de l'entreprise Delacon Biotechnik GmbH. Ce centre dispose de

chambres climatiques (avec conditions environnementales contrôlées) pour l'évaluation des teneurs et de émissions des gaz émis par les animaux et leurs déjections.

Dans cet essai, huit chambres climatiques (3 parcs de 3 porcs dans chacune) ont été utilisées pour héberger 72 mâles castrés et femelles issues du croisement (YxLR)xDu. Deux traitements ont été testés : Témoin (T) et Témoin supplémenté avec l'AAP (AAP). Les animaux ont été répartis entre des traitements selon leur poids initial (n=36, 26,2±1,85 kg) et du sexe. Dans chaque traitement deux chambres ont été occupées par des mâles castrés et deux par des femelles. Les performances zootechniques ont été mesurées par chambre pendant 11 semaines.

Les émissions d'ammoniac ont été mesurées par chambre pendant les deux dernières semaines d'essai. Chaque chambre climatique est équipée d'un système de mesure de gaz photoacoustique (INNOVA, recalibré une à deux fois par an selon les recommandations du fabricant), avec des lectures toutes les 13 minutes pendant toute la durée de l'essai.

Le groupe Témoin a été nourri avec des aliments croissance et finition formulés à base de blé, d'orge, de tourteaux de soja et colza. Les valeurs nutritionnelles calculées des aliments sont présentées dans le tableau 1. Les animaux du groupe AAP ont reçu ces mêmes aliments supplémentés de l'additif phyto-génique (Delacon Biotechnik GmbH, Autriche) à base d'huiles essentielles et saponines (*Q. saponaria*) à la dose de 100 g/t.

**Tableau 1** – Valeur nutritionnelle des aliments

Aliment	Croissance	Finition
Énergie métabolisable, MJ/kg	13,15	13,00
Protéines brutes, %	17,7	15,5
Cellulose brute, %	3,9	4,5
Cendres, %	5,3	4,9
Matières grasses, %	3,9	3,7
Lysine digestible standardisée, %	0,96	0,80

## 1.2. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du programme SAS version 9.4 (SAS Institute Inc.), la chambre étant l'unité expérimentale. Tous les paramètres ont été analysés avec la procédure MIXED.

Pour les performances zootechniques, le traitement, le sexe, de leur interaction, et du poids corporel initial en covariable ont été utilisés comme effet fixes. Les mesures d'ammoniac ont été réalisées pendant les 2 dernières semaines d'essai. À partir des émissions moyennes par heure (g/h) des chambres individuelles, les émissions par animal et par jour ont été calculées. Pour les émissions, le traitement, le sexe et de leur interaction, ont été utilisés comme effet fixes, avec la chambre comme effet aléatoire. Les différences sont considérées statistiquement significatives pour  $P < 0,05$ .

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances zootechniques

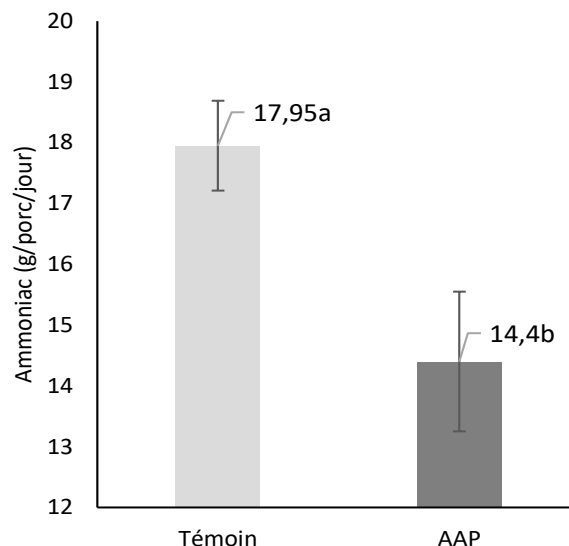
La durée de l'engraissement était la même pour les deux traitements (77 jours) et les porcs avaient des poids similaires en fin d'expérience (T : 101,1 vs. AAP : 101,9 kg,  $P=0,667$ ). De même, aucune différence significative n'était observée entre les traitements pour l'indice de consommation (T : 2,46 vs. AAP : 2,41,  $P=0,159$ ).

### 2.2. Émissions d'ammoniac

Les valeurs moyennes d'émission d'ammoniac obtenues à partir des mesures effectuées pendant les deux dernières semaines

d'engraissement, montrent que l'émission a été significativement réduite de 19,8% pour le traitement AAP comparativement au traitement témoin (T : 17,95 vs. AAP : 14,40 g/animal/jour,  $P=0,01$ ) (Figure 1).

Ces résultats confirment ceux de l'étude de Bartoš *et al.* (2016) qui observaient une réduction de 21% de l'émission journalière d'ammoniac par porc.



**Figure 1** – Influence du traitement expérimental sur l'émission moyenne journalière d'ammoniac

Notes : <sup>a,b</sup> signifie une différence significative entre les traitements  $P < 0,05$

## CONCLUSION

Les résultats de notre étude mettent en évidence que l'AAP utilisé réduit significativement la formation et l'émission d'ammoniac dans les bâtiments des porcs. Les éleveurs peuvent bénéficier de l'utilisation de cet additif alimentaire naturel pour réduire efficacement les émissions de leurs animaux et réduire l'impact environnemental.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chen F., Lv Y., Zhu P., Cui C., Wu C., Chen J., Zhang S., Guan W., 2021. Dietary Yucca schidigera Extract Supplementation During Late Gestating and Lactating Sows Improves Animal Performance, Nutrient Digestibility, and Manure Ammonia Emission. *Front. Vet. Sci.* 8:676324
- Bartoš P., Dolan A., Smutný L., Šístková M., Celjak I., Šoch M., Havelka Z., 2016. Effects of phytogenic feed additives on growth performance and on ammonia and greenhouse gases emissions in growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 212, 143–148.

# Effet d'une baisse du taux protéique sur les performances, la qualité de carcasse et les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre durant la période d'engraissement

Sam MILLET (1), Josselin LE COUR GRANDMAISON (2), William LAMBERT (2), Aude SIMONGIOVANNI (2), Peter DEMEYER (1), Loes LAANEN (1), Shaajie ZHUANG (1), Carolien DE CUYPER (1), Laid DOUIDAH (1), Marijke ALUWE (1), Eva BRUSSELMAN (1)

(1) ILVO, Animal Sciences Unit, Scheldeweg 68, 9090 Melle, Belgique

(2) METEX NØØVISTAGO, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

[sam.millet@ilvo.vlaanderen.be](mailto:sam.millet@ilvo.vlaanderen.be)

## Effect of reducing the dietary protein level on the performance, carcass quality, ammonia and greenhouse gas emissions of growing-finishing pigs

The aim of this study was to evaluate the effect of dietary crude protein (CP) reduction on the performance, carcass quality, ammonia (NH<sub>3</sub>) and greenhouse gas (GHG) emissions of fattening pigs. In two rooms, 8 pens/room (4 with 6 entire males and 4 with 6 females) were allocated to 2 dietary treatments differing in their CP level (-1 percentage point). The pigs received, *ad libitum*, a Grower1 diet (10-15 wk of age), a Grower2 diet (15-21 wk) and a Finisher diet (21 wk to slaughter). Pigs were weighed individually at start (10 wk of age) and at slaughter. Daily feed intake (DFI) and feed conversion ratio (FCR) were calculated per pen. At slaughter, carcass characteristics were individually collected. From wk 21 to slaughter, treatments were allocated per room to measure NH<sub>3</sub> and GHG emissions per treatment. An FTIR gas analyser was used to measure concentrations of exhaust gases (NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O). Mean emissions were calculated by multiplying these concentrations with the ventilation rate. For the overall period, reduction of dietary CP had no effect on DFI, daily gain or FCR. However, pigs that received the lowest CP level had a lower lean meat percentage, mainly due to higher backfat thickness. Due to the lack of replicates, emission measurements could not be analysed statistically, but ammonia emissions numerically decreased by 5%, while CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions were similar between compartments. When using equations from the literature and meta-analysis, nitrogen excretion and N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions decreased by 10% and NH<sub>3</sub> emission decreased by 13% due to CP reduction of 1 percentage point during the overall fattening period.

## INTRODUCTION

La baisse de la matière azotée totale (MAT) des aliments est une méthode reconnue pour réduire les rejets azotés des porcs et les impacts environnementaux associés. Cette stratégie nutritionnelle, identifiée par la Commission Européenne comme une des Meilleures Techniques Disponibles pour réduire les émissions des élevages porcins (BREF IRPP, 2017), ne doit pas être réalisée aux dépens des performances des animaux. L'objectif de cet essai est d'évaluer l'effet d'une baisse de MAT de l'aliment sur les performances de croissance, la qualité de carcasse et les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre de porcs en engraissement.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et aliments

A 10 semaines d'âge en moyenne, 96 porcs (verrat Piétrain × truies hybrid TN70) sont répartis dans 2 salles de 8 cases (4 cases de 6 mâles entiers et 4 cases de 6 femelles). Dans chaque salle, les 8 cases sont réparties entre deux traitements alimentaires différant par leur niveau de MAT (Tableau 1). Les porcs reçoivent, *ad libitum*, un aliment Croissance1 de 10 à 15 semaines d'âge, Croissance2 de 15 à 21 semaines et Finition de 21 semaines à l'abattage. A partir de la semaine 21, les aliments

sont assignés par salle afin de mesurer les émissions de gaz par traitement.

**Tableau 1** – Composition et caractéristiques nutritionnelles des régimes utilisés

Phase	Croissance1		Croissance2		Finition	
	Ctrl	MAT-1	Ctrl	MAT-1	Ctrl	MAT-1
<b>Régimes<sup>1</sup></b>						
<b>Ingrédients principaux, %</b>						
Céréales <sup>2</sup>	69,5	72,3	72,5	75,6	76,7	80,2
T. de soja <sup>3</sup>	16,6	13,4	11,9	7,7	9,3	5,6
L-AA usuels <sup>4</sup>	0,82	1,05	0,82	1,08	0,80	1,08
L-Ile, L-Leu, L-His	-	0,09	-	0,17	-	0,16
<b>Caractéristiques nutritionnelles<sup>6</sup></b>						
MAT <sup>5</sup> , %	16,8	15,8	15,3	14,3	14,0	13,0
Lys DIS <sup>7</sup> , %	0,95	0,95	0,86	0,86	0,78	0,78

<sup>1</sup>Ctrl = aliment contrôle ; MAT-1 = réduction de la matière azotée totale de 1 point ; <sup>2</sup>15% maïs, 15% orge et le reste de blé ; <sup>3</sup>tourteau de soja ; <sup>4</sup>L-Lys HCl, DL-Met, L-Thr, L-Trp et L-Val ; <sup>5</sup>MAT = matière azotée totale ; <sup>6</sup>Energie nette (CVB, 2007) à 9,6 MJ/kg en Croissance1 et 9,5 MJ/kg en Croissance2 et Finition ; <sup>7</sup>Lys DIS = Lysine digestible iléale standardisée.

### 1.2. Variables mesurées et calculées

Les porcs sont pesés individuellement au début de l'essai et au départ à l'abattoir. Le gain moyen quotidien (GMQ) est calculé sur la période entre les deux pesées. La consommation alimentaire est mesurée par case pour calculer la

consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC). A l'abattoir, les épaisseurs de lard dorsal (ELD) et de muscle sont mesurées puis utilisées pour calculer le taux de muscle des pièces (TMP).

Pour mesurer les concentrations de NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O, un analyseur de gaz FTIR (Gasmeter CX4000, Gasmeter Technology Oy, Helsinki, FI) est utilisé. Combinées au taux de ventilation, ces concentrations mesurées permettent de calculer les émissions moyennes par traitement. La performance environnementale

est également évaluée par calcul sur la période complète d'engraissement (Tableau 3).

### 1.3. Analyses statistiques

La CMJ, le GMQ et l'IC par case sont soumis à une ANOVA avec le régime et le sexe en effets principaux. Pour les données de carcasse, le poids à l'abattage (effet fixe) et la case (effet aléatoire) sont ajoutés au modèle. Du fait du manque de répétitions sur les mesures d'émissions, il n'est pas réalisé d'analyses statistiques.

**Tableau 2** – Effet du régime alimentaire (Tableau 1) et du sexe sur les performances de croissance et la qualité de carcasse des porcs à l'engrais (de 10 semaines d'âge à l'abattage<sup>1</sup>)

Régimes <sup>3</sup>	Ctrl		MAT-1		ETR <sup>4</sup>	P <sup>2</sup>	
	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles		Régime	Sexe
Consommation moyenne journalière, g/j	1795	1685	1765	1748	49	0,519	0,028
Gain moyen quotidien, g/j	803	807	796	842	19	0,227	0,037
Indice de consommation, kg/kg	2,24	2,09	2,22	2,08	0,03	0,320	<0,001
Épaisseur de lard dorsal, mm	6,5	6,0	7,5	6,7	1,6	0,015	0,290
Épaisseur de muscle, mm	69,7	62,6	68,8	62,9	3,2	0,453	<0,001
Taux de muscle des pièces, %	65,7	66,5	64,9	65,8	1,6	0,039	0,218

<sup>1</sup>à 25 semaines d'âge pour les 8 cases les plus lourdes et à 27 semaines d'âge pour les autres ; <sup>2</sup>P-value de l'analyse de variance ; effets principaux : le régime alimentaire et le sexe. <sup>3</sup>Ctrl = aliment contrôle ; MAT-1 = réduction de la matière azotée totale de 1 point. <sup>4</sup>ETR : écart-type résiduel.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les performances de croissance ainsi que le dépôt musculaire des porcs sont restées stables lors de la baisse de MAT (Tableau 2). En revanche, l'ELD a augmenté, conduisant à un TMP réduit.

Concernant les émissions, des problèmes de mesure des gaz ont été rencontrés : les fortes chaleurs en début d'essai ont nécessité de tenir les portes ouvertes, empêchant la mesure des émissions. Deux jours après la fermeture des portes, l'utilisation d'un insecticide a perturbé les mesures. L'analyse des émissions débute donc le jour suivant et finit au dernier départ à l'abattoir, avec une pause de 4 jours due à un problème de l'analyseur. Sur cette période, les émissions de NH<sub>3</sub> étaient 5% plus faibles pour le régime MAT-1 par rapport au contrôle et sans effet sur les émissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O. Sur la période complète, les calculs révèlent une réduction de 10% de l'azote

excrété, du potentiel de réchauffement climatique et des émissions de N<sub>2</sub>O et de 13% des émissions de NH<sub>3</sub> pour 1 point de baisse de MAT (Tableau 3). La différence entre les mesures et le calcul peut s'expliquer par les problèmes de mesure rencontrés ainsi que par les hypothèses ayant servies à l'établissement des équations des calculs du Tableau 3.

## CONCLUSION

Les résultats de l'essai indiquent qu'une réduction de MAT de 1 point n'impacte pas les performances de croissance des porcs, malgré une réduction du TMP. Les modèles utilisés confirment l'impact positif de la réduction de MAT sur les critères environnementaux d'intérêt, tels que les émissions d'ammoniac et de N<sub>2</sub>O ainsi que le potentiel de réchauffement climatique.

**Tableau 3** – Calcul des effets de la baisse de matière azotée totale (MAT) dans les aliments porcs à l'engrais de 10 semaines d'âge à l'abattage (Tableau 1) sur la performance environnementale

	Équations	Références	Régimes <sup>1</sup>		Réduction (% du Ctrl)
			Ctrl	MAT-1	
Excrétion azotée, g/porc	Azote ingéré – Azote retenu <sup>2</sup>	Dourmad <i>et al.</i> (2015)	2398	2157	10,1
N-NH <sub>3</sub> bâtiment, g/porc	Azote urinaire excrété <sup>3</sup> × 0,28	Cappelaere <i>et al.</i> (2021)	469	410	12,6
N-NH <sub>3</sub> stockage, g/porc	(Azote urinaire excrété – azote volatilisé) × 14%	EMEP (2019)	920	805	12,6
N <sub>2</sub> O direct + indirect, g/porc	N <sub>2</sub> O direct + indirect	IPCC (2019)	60	54	10,1
Potentiel réchauffement climatique (PRC), kgCO <sub>2</sub> eq/porc	Somme (taux d'inclusion ingrédient i × PRC ingrédient <sup>4</sup> i) × CMJ × durée	GFLI et EcoAlim	181	163	9,7

<sup>1</sup>Ctrl = aliment contrôle ; MAT-1 = réduction de la MAT de 1 point ; <sup>2</sup>azote retenu = ADG × 16%/6,25 ; azote ingéré = MAT/6,25 × CMJ ; <sup>3</sup>azote urinaire excrété = 114 - 0,9 × Efficacité azotée ; <sup>4</sup>GFLI pour les matières premières principales (Blonk Consultants, 2019) et EcoAlim pour les micro-ingrédients (Wilfart *et al.*, 2017).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blonk Consultants, 2019. GFLI Database of Animal Feed Production. LCA Feed database. <https://globalfeedlca.org/gfli-database/lcia-download/>.
- BREF IRPP, 2017. Best Available Techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs.
- Cappelaere L., van Milgen J., Syriopoulos K., Simongiovanni A., Lambert W., 2021. Quantification des bénéfices de la baisse de protéine sur les rejets azotés des porcs à l'engrais : approche par méta-analyse. Journées Rech. Porcine, 53, 323-328.
- Dourmad J.Y., Levasseur P., Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y. Espagnol S., 2015. Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Élevages et Environnement, Paris, 26 pages.
- EMEP/EEA, 2019. Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (3. B Manure Management). EEA Report No 13/2019.
- IPCC, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Wilfart A., Espagnol S., Daugey S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. ECOALIM: A Dataset of Environmental Impacts of Feed Ingredients Used in French Animal Production. PLoS ONE 11(12): e0167343. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167343>.



# Potentiel méthanogène des effluents porcins

Pascal LEVASSEUR (1), Vincent BLAZY (2), François GERVAIS (3), Olivier AZAM (4),  
Bastien ZENNARO (4), Sevan KABAKIAN (4), Hélène CARRERE (5)

(1) IFIP-Institut du Porc, la Motte au Vicomte, 35650 Le Rheu, France

(2) ITAVI, rue Maurice Le Lannou, 35000 Rennes, France

(3) IDELE, 42 rue Georges Morel, 49071 Beaucaouzé, France

(4) INRAE Transfert Environnement, 60 rue Nicolas Leblanc, 11100 Narbonne, France

(5) INRAE LBE, 102 avenue des étangs, 11100 Narbonne, France

Pascal.levasseur@ifip.asso.fr

## Methane potential of pig slurry and manure

To optimize the efficiency of agricultural biogas units, 54 samples of pig slurry and manure were collected, and their methane potential (MP) was evaluated. They were characterized by the type of floor in the piggery, the physiological stage of animals, the management and the freshness of slurry and manure. The MP of the slurry of gestating sows, fattening pigs and piglets was 4, 13 and 28 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t raw material, respectively. Many factors can explain this large difference, but the main one could be the water content, which also greatly affected the MP of slurry. The MP was 67 ± 3, 52 ± 13 et 41 ± 8 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t raw material for accumulated solid manure of piglets, fattening pigs and gestating sows, respectively, but less differences were observed when expressed on an organic-matter basis (245, 197 and 230 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t OM respectively). The MP of the faeces of fattening pigs was twice as high as that of the solid fraction of decanted-centrifuged slurry (71 ± 10 vs 37 ± 0.2 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t raw material, respectively). The MP of slurry decreased as its duration of storage increased, for example, by 57% when stored for 4-5 months (MP expressed on an organic-matter basis). The MP of manure also decreased as its duration of storage increased, for example, by 16-41% depending on its type when stored for 2-3 months.

## INTRODUCTION

La méthanisation constitue un levier d'action pour réduire les émissions de GES des effluents d'élevage (MTES, 2019). Toutefois, le dimensionnement des installations nécessite de bien connaître leur Potentiel Méthanogène (PM). Les instituts techniques animaux (Ifip, Idele, Itavi) ont collecté plus de 160 échantillons de déjections porcines, bovines et avicoles, de nature très contrastée. Ces effluents ont fait l'objet d'une analyse chimique et d'une détermination de leur PM par INRAE Transfert Environnement de Narbonne. Dans ce poster, seuls seront présentés les PM des 54 échantillons d'effluents porcins.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Les critères d'échantillonnage pris en compte sont les suivants : le type de sol et le mode de gestion des effluents (lisier, fumier, issue de séparation de phases par raclage en V et par décanteuse-centrifuge), le stade physiologique (engraissement, post-sevrage, gestante) et le mode de gestion des fumiers (raclé/accumulé). L'état de fraîcheur des déjections a également été pris en compte par des prélèvements ayant eu lieu entre quelques heures à quelques mois après l'excrétion. L'échantillonnage s'est déroulé en stations expérimentales (Romillé, Crécom) et en élevages de production. Chaque PM des lisiers et issues de séparation de phases a été réalisé sur des lots d'animaux ou des élevages distincts compte tenu des bonnes conditions de prélèvement permettant d'obtenir des échantillons représentatifs. Chaque lot de fumier a, par contre,

fait l'objet de deux échantillonnages distincts - avec détermination du PM - afin de sécuriser leur représentativité. Tous les échantillons ont été congelés puis envoyés par lot à INRAE Transfert. Le protocole de détermination du PM est décrit par Cresson *et al.* (2014).

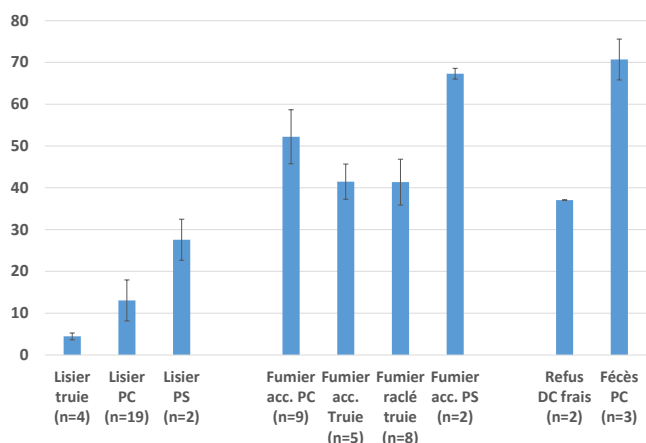
## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les 54 effluents porcins présentent des PM, exprimés par rapport à la Matière Brute, très contrastés (de 2 à 80 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB). Les différences sont moins contrastées lorsque les PM s'expriment par rapport à la teneur en Matière Organique (de 105 à 400 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MO).

### 2.1. Potentiel méthanogène selon le stade physiologique et le mode de production

Les lisiers de post-sevrage ont un PM plus élevé que les lisiers de porcs charcutiers (moyennes et écarts-types respectivement de 28 ± 10 vs 13 ± 10 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB), à fortiori par rapport au lisier de truies (4 ± 2 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB, figure 1). Le taux de dilution, conséquence notamment des pratiques d'abreuvement, constitue l'un des premiers facteurs de variation de ce PM, les taux de matière sèche (MS) étant respectivement de 9, 5 et 4% (valeurs non présentées). La hiérarchie des PM exprimés par rapport à la MO est similaire mais les différences sont proportionnellement moindres. Les PM pour les lisiers de porcelets, porcs charcutiers et truies sont respectivement de 390, 327 et 151 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MO. Sur cette base de comparaison, au moins trois hypothèses sont envisageables pour expliquer

ces différences : (1) la durée de stockage des déjections, (2) le nettoyage ou non des fonds de fosse entre deux vidanges (effet ensemencement) et, (3) l'aptitude des porcs à digérer les nutriments.



**Figure 1** – Potentiels méthanogènes (en Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB) des effluents porcins selon leur origine (moy. et écarts-types)

PC : porc charcutier, PS : post-sevrage, DC : décanteuse-centrifuge

Les fumiers ont des PM supérieurs aux lisiers compte tenu notamment de teneurs en MS et MO plus élevées (valeurs non présentées). Comme pour les lisiers, nous constatons la même hiérarchie entre stades physiologiques. Les différences sont toutefois moins contrastées, les PM s'établissant à  $67 \pm 3$ ,  $52 \pm 13$  et  $41 \pm 8$  Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB pour respectivement les fumiers accumulés de porcelet, de porc charcutier et de truie (Figure 1). Rapportés à la MO, les écarts de PM sont moindres et une inversion de hiérarchie est observée (245, 197 et 230 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MO respectivement).

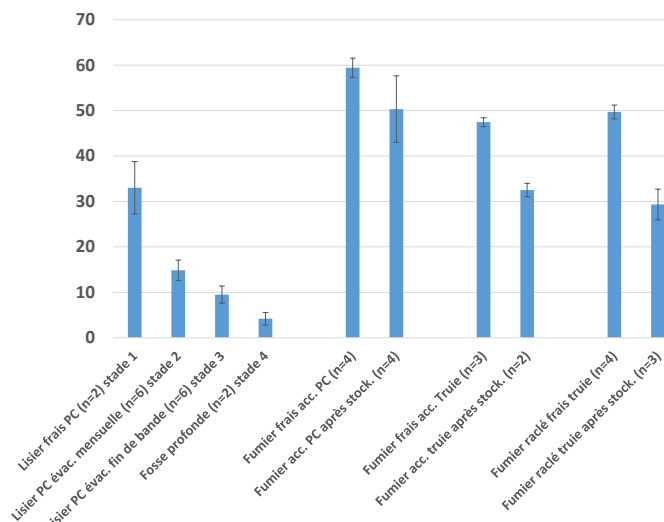
Deux échantillons issus de séparation de phases ont également été analysés avec des PM très contrastés. Les fèces de porc charcutier, correspondant à la fraction solide d'un raclage en V, ont un PM environ deux fois supérieur au refus solide de décanteuse-centrifuge, respectivement  $71 \pm 10$  vs  $37 \pm 0,2$  Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB (Figure 1) et  $342$  vs  $168$  m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MO. Le lisier centrifugé ayant été préalablement stocké en pré-fosse sous les animaux, a déjà perdu du méthane.

## 2.2. Potentiel méthanogène selon l'état de fraîcheur

La figure 2 indique le PM des effluents porcins selon leur état de fraîcheur. Les lisiers frais (2 jours de stockage, stade 1) ont un PM de  $33 \pm 12$  Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB. Ce PM ne cesse de se réduire au cours du temps puisqu'il est de  $15 \pm 5$ ,  $10 \pm 4$  et  $4 \pm 3$  Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB respectivement à l'issue du premier mois de production (stade 2), après la sortie des porcs charcutiers (plus de 3 mois, stade 3) et en fosse profonde (plus de 4 à 5 mois sans qu'il y ait eu vidange complète du fond de fosse, stade 4). Toutefois, rapporté à la MO, il n'y a plus de différences entre les trois premiers stades (355, 376 et 339 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MO) ; seul le lisier issu de fosse profonde présente un PM notablement plus réduit ( $154$  Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MO). Le lisier du stade 1 a été prélevé sur un site distinct des stades 2 et 3. Sa teneur en MS très élevée (12 contre 5,0 et 3,8 g/l respectivement, valeurs non présentées), due à un mode d'abreuvement distinct, explique la

différence apparente de hiérarchie entre le mode d'expression du PM relativement à la MB et à la MO.

La détermination de la MS nécessite un séchage ce qui provoque une perte de matières volatiles (AGV, NH<sub>3</sub>, ...) entraînant une sous-estimation des teneurs en MS et MO. Ainsi pour les substrats très liquides chargés en composés volatils, il peut être préférable d'exprimer le PM par rapport à la MB. Les lisiers de porc charcutier des stades 2 et 3 sont plus liquides que le lisier de stade 1. A ce titre, leurs PM rapportés à la MO sont peut-être surestimés ce qui n'exclut pas une baisse du PM relativement à la MO au cours des 3 premiers mois.



**Figure 2** – Potentiels méthanogènes (en Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB) des effluents porcins selon leur fraîcheur (moy. et écarts-types)

Les mêmes lots de fumiers ont pu être suivis à l'état frais et après une période de stockage de 2 à 3 mois (selon les échantillons). Le PM baisse pour toutes les catégories de fumier suivis, tant relativement à la MB (Figure 2) qu'à la MO. Ainsi, après ce stockage, le PM sur MB d'un fumier accumulé de porc charcutier diminue de 15% (30% relativement à la MO). Le PM sur MB du fumier accumulé de truies diminue de 30% (16% relativement à la MO). La perte de PM sur MB du fumier raclé de truie est plus élevée (41%). L'état de fraîcheur de ces deux catégories de fumiers « frais » (accumulé vs raclé) ne sont toutefois pas comparables. Le fumier raclé quotidiennement a conservé tout son PM alors que le fumier accumulé a déjà subi une dégradation par fermentation aérobie sous les animaux, le prélèvement ayant eu lieu au curage.

## CONCLUSION

Les PM mesurés sur 54 échantillons d'effluents porcins montrent toute leur étendue en lien avec le stade physiologique des animaux et la diversité des conduites d'élevage. Même si certaines situations doivent être éclaircies afin de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu, les résultats montrent notamment l'impact notable de la teneur en eau sur le PM de la MB et de celui de la durée de stockage sur la perte de PM.

*Cette étude a été menée avec le soutien financier du CASDAR. La responsabilité du ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée.*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2019. Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.
- Cresson R., Pommier S., Béline F., Bouchez T., Bougrier C., Buffière P., Cacho J., Camacho P., Mazéas L., Pass A., Pouech P., Ribeiro T., Rouez M., Torrijos M., 2014. Étude inter-laboratoire pour l'harmonisation des protocoles de mesure du potentiel bio-méthanogène des matrices solides hétérogènes. Rapport final. Ademe. 121 pages.

# Évolutions des formes azotées dans le mélange lisier-eaux de lavage des laveurs d'air

Anne-Sophie LANGLOIS (1), Solène LAGADEC (1), Mathilde HAZON (1), Ninog MARECHAL (1), Ludovic MASSON (2)

(1) Chambres régionales d'agriculture de Bretagne, Rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France

(2) 4E Conseils, 80 rue du Général Mangin, 29400 Landivisiau, France

*anne-sophie.langlois@bretagne.chambagri.fr*

## Dynamics of nitrogen forms in mixed slurry and washing water

When the nitrogen (N) concentration in water used to wash air scrubbers becomes too high, the water needs to be emptied and replaced to optimize the efficiency of the process. In practice, the water is usually emptied into the slurry in pits under the pigs or in external storage. The N accumulated in washing water is likely to be oxidised by slurry bacteria into nitrites or nitrates or to be volatilised into ammonia. It has been hypothesised that conductivity in liquids, such as washing water, is correlated with ammoniacal N concentration. The conductivity and pH of 15 slurry + washing water mixes concentrated at 2%, 5%, 10%, 20% and 30% N in washing water were monitored experimentally for 48 h under "covered" or "uncovered" pit conditions. They were compared to dynamics of raw slurries and washing water. Nitrite and nitrate concentrations were also monitored in eight samples for 48 h. Good correlation was found between conductivity and ammoniacal N concentration. Under all conditions, ammoniacal N concentration remained stable in raw washing water. Under "uncovered" pit conditions, it decreased in the mixes and raw slurries. Under "covered" pit conditions, it increased, remained stable or decreased in the mixes and raw slurries. The pH and nitrite concentrations remained stable. Nitrate concentrations increased up to T+29 h and then decreased, they were lower than those of the other N forms. In mixes, the higher the N concentration in washing water was, the lower the decrease in ammoniacal N concentration. These initial results showed no additional N losses after emptying washing water into the slurry. Additional studies would strengthen the robustness of these results.

## INTRODUCTION

Les eaux de lavage (EL) des laveurs d'air, une fois chargées en azote, doivent être vidangées. En pratique, elles sont mélangées au lisier des fosses ou des pré-fosses. Une fois au contact des bactéries du lisier, l'azote est susceptible de se volatiliser en ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) ou d'être oxydé en nitrites ou en nitrates. Le suivi expérimental de mélanges d'EL et de lisier a permis de mesurer l'évolution des formes azotées et les éventuelles pertes azotées pendant 48h, en conditions de fosse couverte ou découverte. Sur la base de la corrélation entre conductivité et concentration en azote ammoniacal ( $\text{N-NH}_4$ ) des EL démontrée par Dumont *et al.* (2019), l'hypothèse d'une corrélation entre concentration en  $\text{N-NH}_4$  et la conductivité des mélanges a aussi été testée.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Échantillonnage

Les échantillons d'EL et de lisiers d'engraissement de fosse ou de pré-fosse ont été prélevés dans six élevages porcins équipés de laveurs d'air.

### 1.2. Mesure et analyses

Pour chaque élevage numéroté X, les échantillons suivants ont été réalisés : lisier de fosse brut (LFX 100%), EL brute (ELX 100%) et différents mélanges ( $\text{ELXn\%}$ ) à n% d'EL et 100-n% de lisier brut.

#### 1.2.1. Analyses des échantillons

Tous les échantillons ont été analysés à cinq pas de temps pendant 48 heures. Pour les élevages 1 et 6, les échantillons ont été déposés au laboratoire Capinov pour une mesure du pH, de la conductivité, et des concentrations en  $\text{N-NH}_4$ , nitrites et en nitrates. Pour les élevages 4 et 5, le pH et la conductivité ont été mesurés à l'aide du conductimètre pH/Cond 3320 (WTW). Pour les élevages 2 et 3, les concentrations en  $\text{N-NH}_4$  ont été mesurées au Quantofix et le pH et la conductivité à l'aide du conductimètre pH/cond 3320 (WTW).

#### 1.2.2. Corrélation entre conductivité et azote ammoniacal

L'analyse statistique a été réalisée sous le logiciel R (R Core Team, 2018). L'hypothèse de corrélation entre conductivité et concentration en  $\text{N-NH}_4$  a été testée par régression linéaire. Soixante résultats d'analyses de conductivité et 60 résultats d'analyses de concentration en  $\text{N-NH}_4$  sur des échantillons de lisiers purs et de mélanges ont été inclus dans le modèle.

## 2. RESULTATS

Aucune différence de composition n'a été notée entre le lisier de fosse et le lisier de pré-fosse.

### 2.1. Corrélation entre conductivité et N-NH<sub>4</sub>

La corrélation entre la conductivité et la concentration en N-NH<sub>4</sub> est élevée ( $r^2 = 0,97$  ;  $P < 0,0001$ ). Sur cette base, la conductivité a été utilisée pour estimer la concentration en N-NH<sub>4</sub> pour tous les échantillons.

### 2.2. Évolution des teneurs en azote ammoniacal et du pH

En fosse couverte, l'évolution des concentrations en N-NH<sub>4</sub> des lisiers et des mélanges est variable : stable, en augmentation ou

en baisse (Tableau 1). En fosse découverte, les concentrations en N-NH<sub>4</sub> des lisiers et des mélanges baissent au cours du temps témoignant soit d'une volatilisation du N-NH<sub>4</sub> sous forme de NH<sub>3</sub> soit d'une oxydation des ions ammonium en nitrites ou nitrates à la surface du lisier (Tableau 2).

Plus la part d'EL est élevée dans le mélange, moins la concentration en N-NH<sub>4</sub> diminue. En fosse couverte, le pH des lisiers et des mélanges augmente faiblement, jusqu'à 4%.

En fosse découverte, les échantillons des élevages 4, 5 et 6 montrent une réduction de la concentration en N-NH<sub>4</sub> au cours du temps, couplée à une forte augmentation du pH jusqu'à 13%, témoignant d'une volatilisation du N-NH<sub>4</sub> en NH<sub>3</sub>.

**Tableau 1** – Suivi du pH et de la concentration en azote ammoniacal dans les eaux de lavage (EL) et le lisier de fosse (LF) pendant 48h en condition « fosse couverte » dans trois élevages (1 à 3)

Paramètre	Pas de temps	LF1 100%	EL1 100%	EL1 5%	EL1 30%	LF2 100%	EL2 100%	EL2 5%	EL2 30%	LF3 100%	EL3 100%	EL3 5%
pH	T0	7,8	7,1	7,8	7,7	ne	ne	ne	ne	7,4	7,1	7,5
	T48	7,9	7,0	8,1	8,0	ne	ne	ne	ne	7,4	7,3	7,7
Variation de pH entre T0 et T48, %		1%	-1%	4%	4%	-	-	-	-	0%	3%	3%
<sup>1</sup> N-NH <sub>4</sub> , g/L	T0	2,27	6,44	2,46	3,38	2,60	2,32	2,64	2,56	2,81	3,36	2,76
	T48	2,17	6,46	2,29	3,25	2,97	1,34	2,61	2,75	3,03	3,41	2,94
Variation de <sup>1</sup> N-NH <sub>4</sub> entre T0 et T48, %		-4%	0%	-7%	4%	14%	1%	-1%	7%	8%	2%	6%

<sup>1</sup>N-NH<sub>4</sub> : concentration en azote ammoniacal, ne : non exploitable

**Tableau 2** – Suivi du pH et de la concentration en azote ammoniacal dans les eaux de lavage (EL) et lisier fosse (LF) pendant 48h en condition « fosse découverte » dans trois élevages (4 à 6)

Paramètre	Pas de temps	LF4 100%	<sup>2</sup> EL4 100%	EL4 2%	EL4 30%	LF5 100%	EL5 5%	EL5 30%	LF6 100%	EL6 100%	EL6 2%	EL6 30%
pH	T0	8,4	7,8	8,4	8,4	8,6	8,6	8,5	7,8	7,4	7,9	7,8
	T48	9,2	8,2	9,3	9,4	9,3	9,4	9,1	8,2	7,5	8,4	8,3
Variation de pH entre T0 et T48, %		9%	6%	10%	13%	9%	10%	7%	5%	2%	8%	6%
<sup>1</sup> N-NH <sub>4</sub> , g/L	T0	2,68	2,96	2,74	2,77	2,19	2,21	2,40	2,24	6,47	2,38	3,48
	T48	2,05	2,90	2,22	2,62	1,93	1,90	2,16	2,16	6,58	2,19	3,36
Variation de <sup>1</sup> N-NH <sub>4</sub> entre T0 et T48, %		-24%	-2%	-19%	-6%	-12%	-14%	-10%	-4%	2%	-8%	-3%

<sup>1</sup>N-NH<sub>4</sub> : concentration en azote ammoniacal. <sup>2</sup>Même eau de lavage pour les élevages 4 et 5. <sup>3</sup>ELXn% : x% indique pour l'élevage X le pourcentage d'eau de lavage rajouté dans le lisier brut.

### 2.3. Évolution des teneurs en nitrites et nitrates

La concentration en nitrates augmente jusqu'à T29 puis diminue dans les EL et les mélanges. Cela témoigne d'une nitrification des ions ammonium sans toutefois entraîner de réduction de la concentration en N-NH<sub>4</sub>. Les concentrations en anions (NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont proches des concentrations en cations (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) à T48 confirmant ainsi l'hypothèse de Ottosen *et al.* (2011). Plus la part d'EL augmente dans le mélange, plus l'effluent est chargé en nitrites et en nitrates.

## CONCLUSION

Le mélange de l'eau de lavage dans les lisiers n'entraîne pas systématiquement de pertes sous forme de NH<sub>3</sub>. L'évolution des concentrations en nitrite et nitrate confirme le phénomène de nitrification des ions ammonium dans les eaux de lavage. D'avantage de mesures permettraient de confirmer ces premiers résultats.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dumont E., Lagadec S., Guingand N., Loyon L., Couvert A., Amrane A., 2019. Lavage d'air en porcheries : contrôle du fonctionnement par mesure de conductivité. Journées Rech. Porcine, 52, 347-348.
- Ottosen L.D.M., Juhler S., Guldberg L.D., Feilberg A., Revsbech N. P., Nielsen L. P., 2011. Regulation of ammonia oxidation in biotrickling airfilters with high ammonium. Chem. Eng. J., 167, 198-205.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

# Réduction des émissions de gaz à effet de serre issues des déjections porcines : scénarios prospectifs de 2020 à 2050

Pascal LEVASSEUR et Nicolas QUERAL

IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35650 Le Rheu, France

pascal.levasseur@ifip.asso.fr

## Reducing greenhouse gas emissions from pig slurry: prospective scenarios from 2020-2050

This study reports the simulation of prospective scenarios from 2020-2050 to reduce direct greenhouse gas emissions through better management of pig slurry. Eight slurry management chains were determined with the support of seven building/environment experts. These chains combined different frequencies of slurry removal from buildings with different models of biogas units. Three scenarios were developed based on contrasting numbers of pigs in each of these management chains. Based on IPCC emission factors (2019), we estimated direct GHG emissions from pig manure at 3.3 million t CO<sub>2</sub> eq/year. The "Virtuous" scenario had the largest decrease in emissions from 2020-2050 (44%), followed by the "Trend" (25%) and "Eco" (15%) scenarios. In the simulations, none of slurry management chains was profitable; thus, all required financial outlays. The cost of the "Trend" scenario was 70 €/t of CO<sub>2</sub> eq. saved in 2050, compared to 32 € in 2030. In the "Eco" scenario, the cost was lower (24-36 €/t of CO<sub>2</sub> eq. saved). In the "Virtuous" scenario, biogas production was used extensively, especially in the most intensive models, which generated high costs (50 to 67 €/t CO<sub>2</sub> eq. saved in 2030 and 2050 respectively). Our simulations predicted higher efficiency (cost per t of CO<sub>2</sub> eq. saved) for large-scale collective biogas units - associated with V-scraping - but also for simplified individual biogas units, compared to intermediate intensification biogas models (with a combined heat and power unit).

## INTRODUCTION

Face à la nécessité de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES), l'Union Européenne et la France se sont fixées un objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 (JORF, 2019). L'agriculture sera mise à contribution, son émission devant diminuer de 46% entre 2015 et 2050 (MTES, 2020). Pour cela, un certain nombre de leviers d'action sont mentionnés, dont la gestion des effluents d'élevage. A ce titre, des scénarios prospectifs de réduction des émissions directes de GES par une meilleure gestion des effluents d'élevages porcins ont été réalisés pour la période 2020 - 2050.

### 1. MATERIEL ET METHODES

Les simulations reposent sur la mise en œuvre de techniques alternatives aux méthodes de gestion standard des lisiers, i.e. stockage sous les animaux en bâtiment puis en fosse extérieure. Toutes les filières alternatives ont été validées par des entretiens conduits auprès de sept experts en environnement, bâtiment et/ou énergie, issus de différents organismes (instituts de recherche, organisations professionnelles, etc.). Ces techniques concernent la fréquence d'évacuation des lisiers (mensuelle, quotidienne par raclage à plat et en V) et leur méthanisation en sortie de bâtiment. Différents modèles de méthanisation ont été retenus. Ils se distinguent par la température dans le digesteur (psychrophile, mésophile), le portage (individuel/collectif), et la destination du biogaz (torchage, chaudière, co-générateur, injection dans le réseau de gaz naturel). Les unités sont alimentées uniquement ou principalement avec les effluents de l'élevage. Seules les huit chaînes de gestion des effluents les plus cohérentes, d'un point de vue économique, ont été retenues. Les exploitations avec du

raclage en V transfèrent les fractions solides obtenues dans des unités de méthanisation collectives effectuant de l'injection de biométhane. Les élevages avec du raclage à plat sont associés à une unité de méthanisation individuelle, mésophile et valorisant le biogaz par cogénération. Les proportions de lisier traité biologiquement par boue activée, de porcs élevés en plein air et sur litière, sont maintenues à leurs niveaux actuels.

Trois scénarios, d'ambition contrastée en termes de réduction des GES, ont été construits. Ils se distinguent par la proportion de cheptel porcin engagée dans chacune des huit modalités mentionnées ci-dessus et à chacune des décennies : 2030, 2040 et 2050 en comparaison à la situation de 2020. Il en résulte un scénario dit « Vertueux » (V) où la priorité est de réduire significativement et rapidement les GES issus des déjections, le scénario « Eco+ » où sont prioritairement engagés les élevages de grandes tailles et les filières de gestion des lisiers les moins coûteuses et le scénario « Tendanciel » (T) qui est un compromis entre les deux précédents.

Les simulations prennent en compte exclusivement les émissions directes de GES issues des déjections et celles issues des fermentations entériques. Sont comptabilisés le CH<sub>4</sub>, le N<sub>2</sub>O, le NH<sub>3</sub> en tant que précurseur du NO<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> non biogénique.

Le Taux de Rentabilité Interne (TRI) de chacune des chaînes de gestion des déjections a par ailleurs été déterminé. Sur la base d'un seuil fixé à 4%, il a été déterminé « un reste à charge ». Il s'agit du complément financier nécessaire à atteindre ce seuil. Ce dernier est peu élevé mais cohérent avec les objectifs de ces simulations qui mettent la priorité sur une réduction de l'impact environnemental plutôt que la recherche d'une rentabilité. Nous avons exprimé ce reste à charge en euros par t d'équivalent CO<sub>2</sub> épargné. Les prix et coûts retenus pour la mise

en œuvre des différentes chaînes de gestion des effluents sont proches des références actuelles (Ademe *et al.*, 2019), compte tenu de la difficulté à connaître leurs évolutions. L'interprétation des résultats économiques n'aura de sens que via la comparaison entre les trois scénarios.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Bilan environnemental

Sur la base des facteurs d'émission de l'IPCC (2019), nous estimons les émissions directes de GES des effluents porcins à 3,3 millions de tonne d'éq. CO<sub>2</sub>/an en 2020. Le scénario V présente la baisse d'émissions la plus significative, - 44% entre 2020 et 2050, devant le scénario T, - 25%, puis le scénario Eco<sup>+</sup>, - 15%. Le taux d'engagement du cheptel porcine dans les différentes filières de gestion des effluents explique les différences observées. Ainsi, par rapport au scénario Eco<sup>+</sup>, le scénario V se distingue notamment par plus de 50% des places de porcs charcutiers engagées dans du raclage quotidien, en 2050, contre 7% en Eco<sup>+</sup>. Le scénario T est dans une situation intermédiaire. Les élevages du scénario Eco<sup>+</sup> ont encore 40% de leurs places de porcs charcutiers conduites de manière standard en 2050. Il s'agit notamment des plus petits élevages.

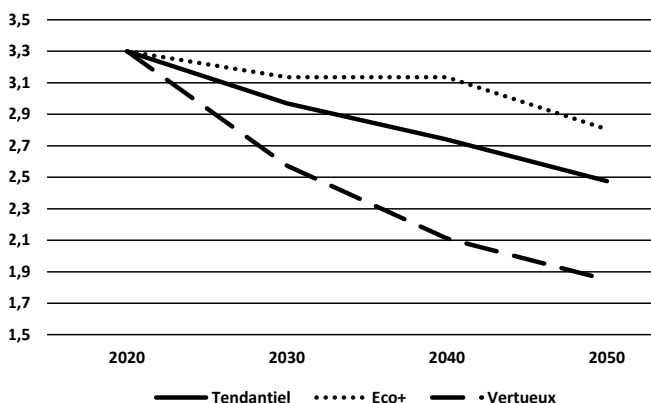


Figure 1 - Émissions directes de GES (en millions de tonnes d'éq. CO<sub>2</sub>/an) pour les trois scénarios de 2020 à 2050

### 2.2. Bilan économique

Dans nos simulations, aucune filière de gestion des déjections dépasse 4% de TRI, occasionnant ainsi systématiquement des restes à charge financiers. Toutefois, les filières disposant d'une unité de méthanisation collective et valorisant le biogaz par injection et les grands élevages ayant une unité de méthanisation simplifiée (psychrophile) et valorisant le biogaz par chaudière sont très proches de ce seuil. Les différences de rentabilité entre chaînes de gestion des effluents sont multifactorielles, comme les économies d'échelle et une adéquation du niveau d'équipement au potentiel de production de biogaz des effluents. La massification de l'offre de solutions (évacuation des déjections, méthanisation) pourrait toutefois procurer des gains de rentabilité, non pris en compte dans nos simulations.

Le reste à charge par t de CO<sub>2</sub> épargné constitue un indicateur de l'efficacité des filières de gestion des lisiers. Le tableau 1 montre que le reste à charge des mesures engagées dans le scénario T s'établit à 70 €/t d'éq. CO<sub>2</sub> en 2050 contre 32 € en 2030. Cette augmentation notable est principalement due à un engagement de plus de 50 % des places de porcs charcutiers dans des unités de méthanisation individuelle, mésophile avec cogénération dont la rentabilité est peu élevée compte tenu du potentiel méthanogène peu élevé des lisiers porcins.

Tableau 1 : Reste à charge en € par t d'éq. CO<sub>2</sub> épargné, selon les scénarios aux différentes échéances temporelles

Scénarios	2030	2040	2050
Tendanciel	32	48	70
Eco <sup>+</sup>	24	26	36
Vertueux	50	59	67

Dans le scénario Eco<sup>+</sup>, le coût est mieux maîtrisé puisque le reste à charge reste contenu entre 24 et 36 €/t d'éq. CO<sub>2</sub> épargné. Sur les 30% d'élevages engagés dans un dispositif de méthanisation, 37% se sont engagés dans une filière « évacuation mensuelle - méthanisation psychrophile - chaudière ». Si l'absence de raclage quotidien tempère la performance d'abattement des émissions de GES, cette filière se distingue par un coût très modéré relativement aux modèles de méthanisation plus intensifs, d'où un reste à charge par t d'éq. CO<sub>2</sub> épargné en moyenne mieux maîtrisé.

Dans le scénario Vertueux, la méthanisation est massivement favorisée, notamment les modèles les plus intensifs, ce qui génère des restes à charge assez élevés (50 à 67 €/t éq. CO<sub>2</sub> épargné respectivement en 2030 et 2050) compte tenu notamment de l'absence d'économie d'échelle.

## CONCLUSION

Les simulations montrent le potentiel assez conséquent de réduction des émissions directes de GES par une meilleure gestion des effluents d'élevage. La méthanisation peut être mise en œuvre plus rapidement que l'évacuation quotidienne des déjections par raclage, les raclers devant préférentiellement être intégrés dès la conception des bâtiments. Or le renouvellement du parc de bâtiment s'effectue sur une période de temps relativement longue. Les investissements devraient prioritairement s'adresser aux élevages de grandes tailles compte tenu de leur impact environnemental et des économies d'échelle. Nos simulations montrent une meilleure efficacité (coût moindre à la t d'éq. CO<sub>2</sub> épargné) des unités collectives de grandes tailles - associées à du raclage en V - mais aussi de la méthanisation simplifiée individuelle, par rapport aux modèles de méthanisation d'intensification intermédiaire (avec cogénération).

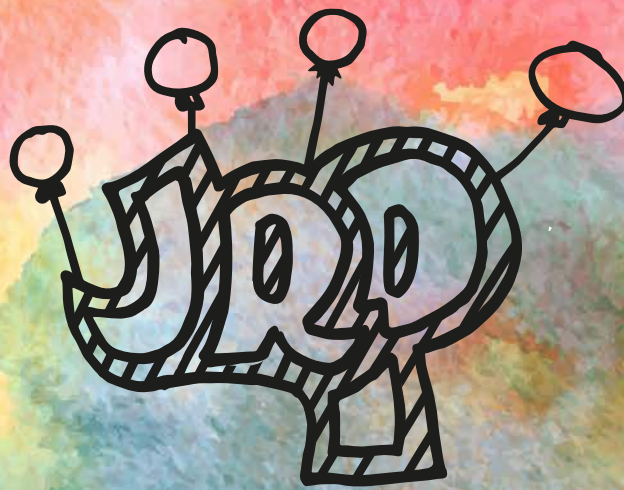
*Cette étude a été menée avec le soutien financier du CASDAR. La responsabilité du ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée.*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ademe, Decid&Risk, IFIP, 2019. Performances et potentiels de diffusion d'unités de méthanisation agricole, 44 p + annexes.
- JORF (Journal Officiel de la République Française), 2019. Loi n° 2019 – 1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.
- IPCC, 2019. Chapter 10 : emissions from livestock and manure management. 225 p.
- MTES (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire), 2020. Stratégie Nationale Bas-Carbone. Rapport de synthèse, 32 p.



**BIEN-ÊTRE ANIMAL,  
REPRODUCTION  
ET CONDUITE D'ÉLEVAGE**



# Hiérarchie dans les groupes de truies gestantes : méthodes de calcul, caractéristiques et lien avec les données d'alimentation

Mathilde LANTHONY, Maëva DURAND, Carole GUERIN, Charlotte GAILLARD, Céline TALLET

PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

*mathilde.lanthony@inrae.fr*

## Hiérarchie dans les groupes de truies gestantes : méthodes de calcul, caractéristiques et lien avec les données d'alimentation

L'objectif de ce projet est d'étudier la hiérarchie au sein de groupes de truies gestantes et son lien avec les données enregistrées par les distributeurs automatiques de concentré (DAC) et des indicateurs zootechniques (poids, parité). Une première analyse a été effectuée sur quatre groupes de 18 ( $\pm 1$ ) truies suivies de 71 à 106 jours de gestation, ayant subi une restriction d'accès au DAC à partir de 79 jours afin d'exacerber les comportements agonistiques permettant d'observer l'expression de la hiérarchie. Six heures d'observation hebdomadaires ont permis de calculer les rangs hiérarchiques et des variables sociométriques. Deux méthodes de calcul du rang hiérarchique (par score de David et elo-score) ont été comparées et donnent des classements équivalents ( $R = 0,96$ ,  $P < 0,01$ ). La hiérarchie est stable au sein d'une bande sur une gestation ( $Stab = 0,996 \pm 0,001$ ), assez raide ( $Raid = 0,54 \pm 0,09$ ), c'est-à-dire que deux individus de rangs adjacents diffèrent fortement dans leur capacité à remporter des combats, et quasi-linéaire et transitive ( $H' = 0,67 \pm 0,08$ ,  $Ptri = 0,97 \pm 0,02$ ), c'est-à-dire que si un individu A domine un individu B, et B domine C, alors la A domine C. Quatre bandes de 17 ( $\pm 2$ ) truies supplémentaires ont été suivies en début et fin de gestation (13-20 et 99-106 jours) pour compléter les données qui montrent que la hiérarchie est fortement corrélée à l'ordre de passage au DAC ( $R = 0,687$ ,  $P < 0,01$ ), anti-corrélée au poids en sortie de gestation ( $R = -0,66$ ,  $P < 0,01$ ), à la parité ( $R = -0,75$ ,  $P < 0,01$ ) et au nombre de visites du DAC ( $R = -0,19$ ,  $P < 0,01$ ). Cependant, aucun lien n'a été établi avec le temps passé dans le DAC.

## Hierarchy in groups of pregnant sows: calculation methods, characteristics and relations to feeding data

The aim of this project was to study the hierarchy in groups of pregnant sows and its relation to the data recorded by automatic feeders and animal-production indicators (parity, weight). Initial analysis was performed for four groups of 18 ( $\pm 1$ ) sows at the end of gestation (days 71-106) whose access to the feeders was restricted beginning on day 79 to exacerbate agonistic behaviour in order to observe the expression of dominance in the group. Six hours of continuous observations were collected and enabled calculation of scores used to classify the sows by dominance order, as well as several sociometric variables. Two methods for calculating dominance order were compared (elo-score and David's score), and they yielded similar rankings ( $R = 0.96$ ,  $P < 0.01$ ). The hierarchy remained stable within a batch and across one gestation ( $Stab = 0.996 \pm 0.001$ ), quite steep ( $Raid = 0.54 \pm 0.09$ ) (i.e. large absolute differences in overall success in winning dominance encounters between adjacently ranked individuals), and appeared to be transitive and linear ( $H' = 0.67 \pm 0.08$ ,  $Ptri = 0.97 \pm 0.02$ ) (i.e. if individual A dominates individual B, and B dominates C, then A dominates C). The data were supplemented with additional data from four batches followed at the beginning and end of gestation (days 13-20 and 99-106). Dominance order was strongly positively correlated with feeder order ( $R = 0.69$ ,  $P < 0.01$ ) and strongly negatively correlated with weight ( $R = -0.66$ ,  $P < 0.01$ ), parity ( $R = -0.75$ ,  $P < 0.01$ ) and the number of visits to feeders ( $R = -0.19$ ,  $P < 0.01$ ). However, no correlation between hierarchy and time spent in the feeder was found.



## INTRODUCTION

La plupart des animaux grégaires sont soumis à la mise en place de relations de dominance au sein du groupe (Langbein et Puppe, 2004). Drews (1993) a défini la dominance comme étant une résultante du schéma d'interactions agonistiques répétées entre deux individus, caractérisé par une issue constante en faveur d'un des deux membres de la dyade et par une absence de riposte de son adversaire plutôt que par l'escalade de l'agressivité. La connexion sociale qui en résulte est alors appelée relation de dominance. Dans des conditions stables, les relations de dominance au sein du groupe sont généralement structurées de manière hiérarchique (Boissy, 2012). Par reconnaissance interindividuelle, chaque membre du groupe se situe par rapport aux autres, ce qui dévie les conduites agressives vers des formes bénignes moins préjudiciables aux individus et donc à l'espèce, en permettant la résolution des conflits à moindre coût tout en offrant la priorité d'accès à l'alimentation ou d'autres ressources limitées à certains individus (Boissy, 2012). Toutefois, la compétition pour l'accès à des ressources, notamment à l'alimentation pour les truies gestantes rationnées, peut exacerber les comportements agonistiques et l'expression des relations de dominance, ce qui pourrait être préjudiciable pour les truies de bas rangs (Kranendonk *et al.*, 2007). Ainsi, il peut être utile pour l'éleveur d'avoir accès aux informations relevant de la hiérarchie au sein des groupes d'animaux pour s'assurer de leur état de bien-être.

Il existe plusieurs méthodes permettant de calculer les rangs hiérarchiques dans un groupe, notamment le classement grâce au score de David (David, 1987), basé sur des matrices de dominance construites à un instant T et fixées dans le temps, et le classement grâce au elo-score (Neumann *et al.*, 2011), calculé à partir de la séquence chronologique des interactions agonistiques. Ces deux méthodes permettent le calcul de variables sociométriques intéressantes (ex : stabilité et linéarité) pour décrire les relations de dominance au sein du groupe. Malheureusement, elles nécessitent toutes deux des observations régulières et chronophages. Il paraît donc intéressant d'identifier des indicateurs simples et plus rapides à obtenir pour décrire la hiérarchie d'un groupe. Norring *et al.* (2019) ont par exemple montré une corrélation positive entre le poids vif, et par conséquent la parité, et la capacité d'une truie gestante à remporter des interactions agonistiques. La structure hiérarchique étant liée à la priorité d'accès aux ressources, plusieurs études exploitent l'accès à l'alimentation comme indicateur hiérarchique en considérant par exemple l'ordre d'accès et le temps de détention de la ressource (Kranendonk *et al.*, 2007 ; Parent *et al.*, 2012). Dans un système à distributeur automatique de concentré (DAC) où la truie est protégée une fois entrée dans le distributeur, l'ordre de passage pourrait être un bon indicateur. Cependant, utiliser cet ordre à un instant T pour décrire la structure hiérarchique du groupe nécessite de s'assurer en amont que la hiérarchie est stable, linéaire et raide et que l'ordre de passage au DAC est stable également. Une structure hiérarchique est stable si le rang d'un individu varie peu au cours du temps (Neumann *et al.*, 2011). Une hiérarchie est linéaire si et seulement si pour chaque dyade (A ; B) le résultat est connu, A domine B ou B domine A et si chaque triade est transitive, c'est-à-dire que pour trois individus (A ; B ; C), si A domine B et B domine C alors A domine C (de Vries, 1995). La raideur d'une hiérarchie se réfère quant à elle à la différence de succès global lors des interactions agonistiques entre deux individus de rangs adjacents. Plus des individus de rangs adjacents sont différents dans leur capacité de

dominance globale plus la hiérarchie est raide (De Vries *et al.*, 2006). Peu d'études se sont intéressées à la structure hiérarchique au sein des groupes de truies et aux variables sociométriques en découlant. Toutefois, Puppe *et al.* (2008) ont montré que la hiérarchie au sein des groupes de truies semble être linéaire.

Cette étude vise dans un premier temps à comparer les résultats issus de l'approche par le score de David et par le elo-score pour calculer les rangs hiérarchiques et dans un second temps à analyser les variables sociométriques de stabilité, transitivité, linéarité et de raideur en découlant. Elle vise enfin à identifier des liens entre hiérarchie, données de l'alimentation et variables zootechniques (poids, parité).

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et logement

L'expérimentation a été menée entre 2019 et 2021 sur un total de huit bandes de 17 ( $\pm$  2) truies en gestation de l'unité Expérimentale Physiologie et Phénotypage des Porcs (UE3P) d'INRAE (35) (doi : 10.15454/1.5573932732039927E12). Elles y étaient logées en groupe, sur aire bétonnée partiellement paillée, dans des salles similaires de 54 m<sup>2</sup> équipées de deux DACs (Gestal®, JYGA Technologies Inc., Québec, Canada), fournissant une ration quotidienne adaptée à chaque animal, et de deux abreuvoirs à accès libre et illimité.

### 1.2. Traitement expérimental

#### 1.2.1. Protocole A

Les truies du protocole A, réparties en quatre bandes (BA-A, BA-B, BA-C, BA-D) de 18 ( $\pm$ 1) truies, ont été suivies à partir de 71 jours de gestation (s1 à s5). A compter de 79 jours de gestation, soit cinq semaines avant la mise bas prévue, l'accès aux DACs a été restreint temporellement (6h d'ouverture en continu avec ouverture entre 8h et 10h, fermeture entre 14h et 16h) afin de créer une compétition pour l'accès à l'alimentation et exacerber les comportements agonistiques pour permettre d'analyser finement la structure hiérarchique des groupes. En l'absence de restriction d'accès au DAC, les rations étant distribuées à partir de minuit, la plupart des truies s'alimentent durant la nuit. Cette restriction est donc susceptible de perturber fortement les animaux. Le suivi sur 5 semaines nous permettait également de mesurer la stabilité de la hiérarchie. Les salles de gestation étaient équipées de deux caméras numériques (BOSH HIKVISION H+265) reliées à un enregistreur numérique (HIKVISION NVR 4.0).

#### 1.2.2. Protocole B

Les truies du protocole B, réparties en quatre bandes (BB-A, BB-B, BB-C, BB-D) de 17 ( $\pm$  2) truies, ont été suivies pendant la troisième et l'avant dernière semaine de gestation (13-20 et 99-106 jours) en dehors de toute modification de leurs conditions d'élevage (pas de restriction alimentaire). Les salles de gestation étaient équipées de deux caméras Ro-main (RS-CCPOE280IR4-DH).

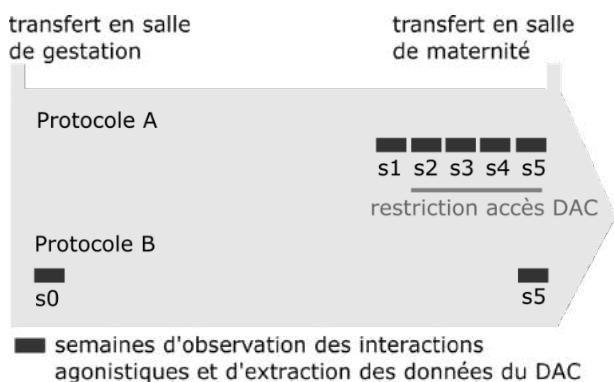
#### 1.2.3. Relevé des données des DACs

Les données des DACs ont été extraites afin de calculer les variables suivantes pour chaque truie et chaque jour : le nombre de visites (avec ou sans consommation d'aliment) dans le DAC, le temps total quotidien passé dans le DAC, la durée moyenne d'une visite, heure de première visite nutritive afin de calculer l'ordre de passage quotidien (à un des deux DACs

indifféremment). L'ordre de passage moyen sur chaque semaine a également été calculé.

### 1.2.4. Observation des interactions agonistiques

A partir des captations vidéo, nous avons relevé toutes les interactions agonistiques sur 6 h en continu chaque semaine entre 71 et 106 jours de gestation pour les truies du protocole A, et deux semaines après la mise en groupe ainsi que celle précédant le transfert en maternité pour les truies du protocole B. Les observations ont été réalisées par le même opérateur qui relevait à la fois l'identité des protagonistes grâce à un marquage dorsal et l'issue de leurs interactions (identité des individus gagnant/perdant). Un individu était considéré comme gagnant d'une interaction s'il avait induit un comportement de fuite ou d'évitement de l'adversaire. La figure 1 détaille le déroulement des deux protocoles.



**Figure 1** - Chronologie des relevés sur les truies des protocoles A et B s0 = 13 à 20 jours de gestation, s1 à s5 = 71 à 106 jours de gestation

### 1.2.5. Traitement des données et analyses statistiques

Le rang hiérarchique des animaux du protocole A a été calculé grâce au score de David et au elo-score. Le rang hiérarchique des truies du protocole B a été calculé grâce au elo-score. Le calcul du score de David se fait à partir de matrice de dominance, construite à partir de toutes les interactions (David, 1987). Le calcul du elo-score se fait à partir de la séquence chronologique des interactions agonistiques (Neumann *et al.*, 2011).

La stabilité de la hiérarchie a été calculée sur les 5 semaines d'observations des truies du protocole A en suivant la méthode décrite par Neumann *et al.* (2011) modifiée par McDonald et Shizuka (2013), qui se base sur la valeur absolue des différences de rangs obtenue grâce au elo-score entre deux observations consécutives. L'approche par le score de David quant à elle a permis de calculer les indicateurs de linéarité et de raideur. La linéarité a été testée en utilisant la méthode donnée par de Vries (1995). Cette méthode est basée sur l'indice de linéarité H', construit grâce à l'indice de linéarité de Landau h corrigé des valeurs manquantes. H' est compris entre 0 et 1, plus il est proche de 1, plus la hiérarchie est linéaire.

La raideur a été calculée à partir des données cumulées sur les 5 semaines d'observations selon la méthode décrite par de Vries *et al.* (2006). La raideur réelle est définie comme étant la pente absolue de la droite de régression passant par les scores de David normalisés, représentés en fonction des rangs des individus. Elle est comparée à la raideur obtenue sous l'hypothèse nulle où les résultats des interactions agonistiques dyadiques sont simulés aléatoirement (N = 1000 itérations).

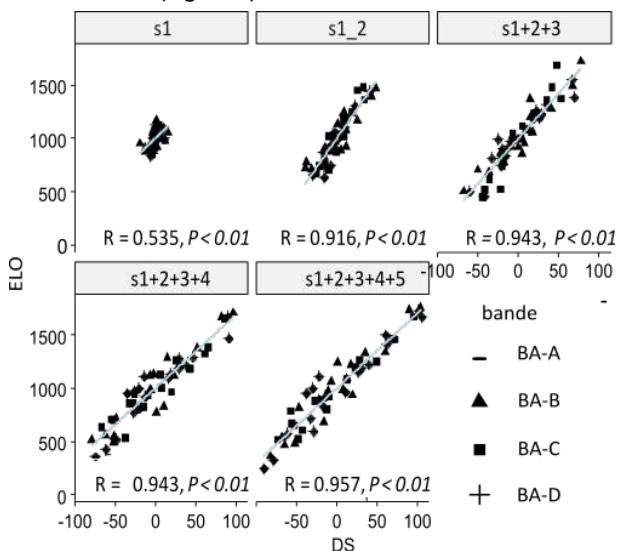
Le traitement des données ainsi que les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R 3.6.2 (R Core Team, 2019). Le calcul des scores et des variables sociométriques a été réalisé grâce au package ELocating (v0.46.11, Neumann, 2020). La première analyse sur la comparaison des scores et la caractérisation de la hiérarchie a été effectuée en utilisant les données du protocole A. Le reste des analyses a été effectué en regroupant les données des protocoles A et B afin d'augmenter la puissance des tests statistiques. Les données étant réparties normalement, la corrélation entre les deux scores hiérarchiques a été testée grâce au test de corrélation de Pearson, tandis que les autres corrélations ont été testées grâce au test non paramétrique de Spearman. Le seuil de significativité des tests est fixé à 0,01.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Hiérarchie et variables sociométriques lors d'un suivi longitudinal (Protocole A)

#### 2.1.1. Corrélation entre score de David et elo-score

Les observations comportementales sur les truies du protocole A ont permis d'accumuler un total de 710 ( $\pm 61$ ) interactions par bandes en moyenne. La restriction de l'accès au DAC a eu pour effet d'augmenter le nombre d'interactions agonistiques. En effet, entre la première et la deuxième semaine d'observation, le nombre d'interactions a significativement augmenté en étant multiplié par 3,3 en moyenne ( $\pm 2,03$ ), et jusque par 6,22 pour une des bandes. Le coefficient de corrélation de Pearson entre le score de David et le elo-score est de 0,96, ce qui correspond à une corrélation très forte. Les rangs calculés à partir de ces deux méthodes sont donc similaires. Toutefois, l'analyse effectuée semaine par semaine montre que cette corrélation diminue lorsque les interactions agonistiques sont peu nombreuses, notamment lorsque la hiérarchie est calculée uniquement à partir des données récoltées la première semaine d'observation, et lorsqu'il n'y a pas de restriction d'accès à l'alimentation (Figure 2).



**Figure 2** - Corrélation entre elo-score (ELO) et score de David (DS) pour les bandes du protocole A selon les semaines cumulées (R = Coefficient de corrélation de Pearson)

Les rangs calculés à partir du elo-score et du score de David sont donc similaires lorsque la quantité d'information disponible sur les interactions est suffisante. En termes de résultats, les méthodes semblent donc équivalentes. Ceci corrobore les

conclusions de Neumann *et al.* (2011) qui ont noté que l'approche par le elo-score apporte peu d'informations supplémentaires lorsque la matrice d'interactions comporte peu d'informations manquantes et que la hiérarchie est linéaire et stable. C'est ce que nous allons vérifier dans la suite de l'étude.

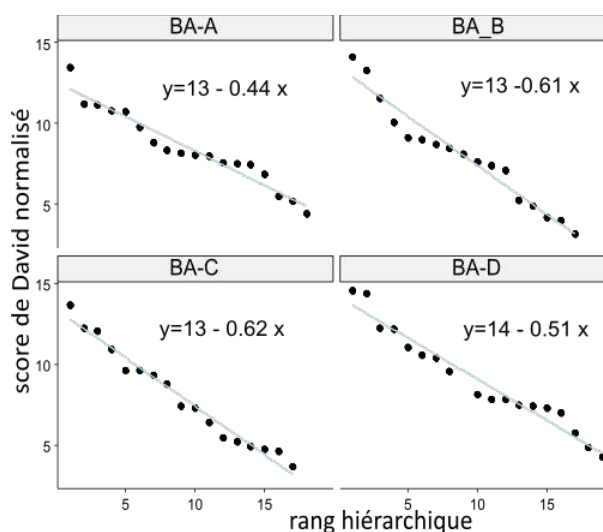
### 2.1.2. Variables sociométriques

L'indice de stabilité moyen sur les quatre bandes est de 0,996 ( $\pm 0,001$ ), ce qui correspond à une hiérarchie très stable, puisque l'indicateur varie entre 0 et 1, un score de 1 étant signe d'une hiérarchie complètement stable. Ceci vient corroborer les observations faites par Parent *et al.* (2012), ayant comparé la stabilité des rangs obtenus dans des groupes de truies gestantes grâce à cinq méthodes différentes basées sur l'accès à l'alimentation.

L'indice de Landau amélioré  $h'$  calculé sur les quatre bandes du protocole A est en moyenne de 0,70 ( $\pm 0,08$ ), la linéarité étant testée significative pour les quatre bandes ( $P < 0,01$ ). Ce résultat se rapproche du résultat obtenu par Puppe *et al.* (2008) dans 29 groupes de truies avec un indice de Landau  $h' = 0,71 \pm 0,03$ . Ces résultats attestent d'une hiérarchie quasi-linéaire et sont satisfaisants, puisque très peu de structures hiérarchiques affichent une linéarité forte en considérant un indice de Landau  $h' > 0,9$ . D'après Neumann *et al.* (2018), ceci n'est pas dû à une transitivité faible, mais à un nombre de relations dyadiques inconnues élevé qui diminuent le  $h'$ . Les résultats présents confirment ce postulat puisque le pourcentage de dyades inconnues est en moyenne de 12,8% et atteint 19% pour une des quatre bandes et que la transitivité observée  $Pt$  quant à elle est supérieure à la transitivité théorique moyenne  $ttri$  obtenue au hasard (Tableau 1). Brouns et Edwards (1994) ont pu décrire une hiérarchie quasi linéaire également chez les truies. Ils ont également montré que tant que le nombre d'interactions agonistiques observées est suffisant, les résultats obtenus en situation artificielle de compétition deux à deux pour de l'alimentation permettant d'explorer le résultat de chaque dyade sont similaires à ceux obtenus grâce à des observations

de routine dans le groupe comme celles que nous avons entreprises. Ainsi, les éventuelles interactions dyadiques manquantes ne remettent pas en cause nos observations.

L'indice de raideur calculé quant à lui est supérieur à l'indice de raideur théorique pour les quatre bandes étudiées (Tableau 1). La visualisation du graphique représentant les scores de David normalisés en fonction du rang des individus montre que la hiérarchie semble raide pour des truies de rangs extrêmes et moins raide pour des truies de rangs intermédiaires. Ceci suggère que l'intensité des relations de dominance est plus forte pour les truies de rangs extrêmes (Figure 3). La hiérarchie au sein des groupes est donc stable, raide et linéaire. Cependant, en l'absence de facteur induisant une compétition interindividuelle, les interactions agonistiques, et donc l'expression de la hiérarchie, sont en nombre limité.



**Figure 3** - Score de David normalisé en fonction du rang des individus par bande. La pente de la droite de régression correspond à la raideur de la hiérarchie.

**Tableau 1** - Récapitulatif des variables sociométriques relevées sur les truies du protocole A

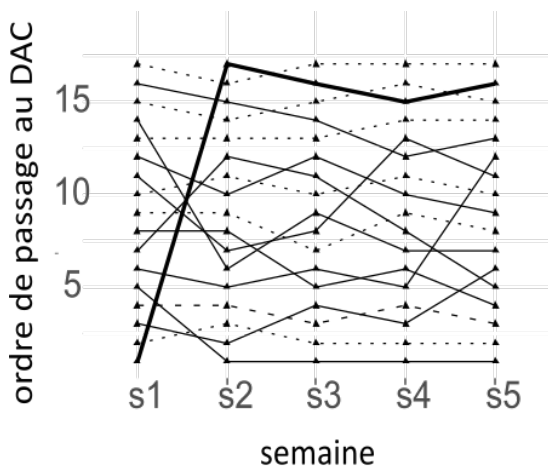
Bande	N <sup>1</sup>	Stab <sup>2</sup>	Dyades	Nint <sup>3</sup>	Inconnues	%inconnues	$h'^4$	Pt <sup>5</sup>	Ttri <sup>6</sup>	Raid <sup>7</sup>	Raid' <sup>8</sup>
BA-A	18	0,994	153	481	30	19	0,620	0,961	0,843	0,441	0,163
BA-B	17	0,996	136	835	6	4	0,740	0,945	0,781	0,608	0,205
BA-C	17	0,998	136	767	14	10	0,784	0,996	0,983	0,621	0,195
BA-D	19	0,996	171	796	30	18	0,636	0,966	0,863	0,508	0,163

<sup>1</sup>Nombre d'individus. <sup>2</sup>Indice de stabilité. <sup>3</sup>Nombre d'interactions. <sup>4</sup>Indice de Landau amélioré. <sup>5</sup>Proportion réelle de relations transitives. <sup>6</sup>Proportion de relations transitives obtenues sous l'hypothèse nulle. <sup>7</sup>Indice de raideur réelle. <sup>8</sup>Indice de raideur attendu sous l'hypothèse nulle.

### 2.1.3. Etude de la stabilité de l'ordre de passage au DAC

L'ordre moyen au DAC a pu être calculé pour chaque semaine et chaque individu. L'écart-type de l'ordre de passage hebdomadaire moyen a également été calculé : il s'élève en moyenne à 2,35. Pour évaluer plus en détail la stabilité de l'ordre de passage, la différence en valeur absolue d'ordre de passage entre deux semaines consécutives a été calculée. Elle s'élève en moyenne à 1,375 ( $\pm 0,96$ ). Cela signifie que d'une semaine à l'autre une truie est fortement susceptible de gagner ou perdre un peu plus d'un rang de passage au DAC. Un exemple d'évolution hebdomadaire de l'ordre aux DAC est représenté sur la figure 4 pour une des bandes du protocole A.

Sur l'ensemble des données issues du protocole A, on constate que certains individus ont vu leur ordre de passage se modifier drastiquement entre la semaine 1 et la semaine 2, après la mise en place de la restriction (six individus avec  $\Delta$ rang > 5 entre les 2 premières semaines sur 71 individus au total). Ceci est notamment visible pour l'individu représenté en gras sur la figure 4 avec  $\Delta$ rang = 16. Cet individu passe de premier à dernier. Cela peut s'expliquer par le fait que l'application de la restriction d'accès au DAC, apportant une modification du cycle alimentaire des animaux, a pu perturber davantage certains individus que d'autres, notamment si ces derniers avaient pris l'habitude de s'alimenter la nuit, certains individus étant plus fortement sensibles aux variations environnementales (Bolhuis *et al.*, 2004).



**Figure 4** - Exemples d'évolution de l'ordre au DAC en fonction des semaines pour la bande BA-C du protocole A

Chaque courbe représente un individu. L'individu représenté en gras est celui donc le  $\Delta$ rang entre s1 et s2 est maximal. Les individus représentés en pointillés sont ceux dont l'ordre varie très peu au cours des semaines

## 2.2. Hiérarchie et données issues des DAC (protocoles A et B)

### 2.2.1. Corrélation entre ordre hiérarchique et ordre au DAC

Les observations menées sur les truies du protocole B ont permis de collecter des informations sur un total de 154 ( $\pm 60$ ) interactions. Ces interactions ont permis de classer la totalité des truies des quatre bandes en utilisant la méthode du elscore. Les données des deux protocoles ont été regroupées pour analyser la corrélation entre l'ordre au DAC et la hiérarchie de manière globale. La corrélation entre la hiérarchie et l'ordre au DAC hebdomadaire moyen, calculée à partir de la totalité des données, a été testée significative grâce à un test de corrélation de Spearman ( $R = 0,687, P < 0,01$ ).

L'étude détaillée par bande et par semaine montre que cette corrélation est variable en fonction des bandes et du temps ( $0,404 < R < 0,858$ ). Pour deux bandes du protocole B, en semaine 5, la corrélation est faible et non significative ( $R_{\max} = 0,464, P > 0,08$ ). Ceci peut être expliqué par l'absence de compétition pour l'accès au DAC en l'absence de restriction et le faible nombre d'interactions, rendant moins fiable la classification hiérarchique. La faible corrélation entre ordre au DAC et hiérarchie de la bande BA-C en s1 ( $R = 0,404, P = 0,11$ ) peut être expliquée par le comportement de l'individu passant premier avant restriction et dernier ensuite, en gras sur la figure 4, a priori dominé. Cela peut s'expliquer par le fait qu'en l'absence de facteur induisant une compétition pour l'accès à la ressource, la hiérarchie ne s'exprime pas ou peu pour accéder au DAC. Des individus plutôt dominés peuvent donc se trouver lésés lorsque l'on induit un facteur de compétition.

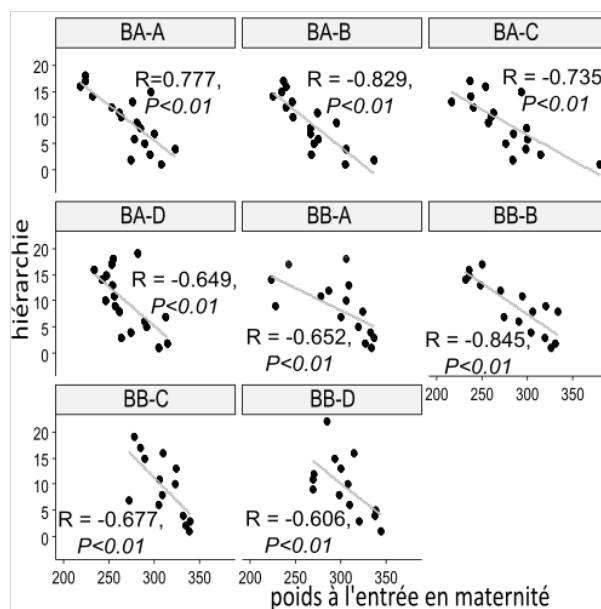
Dans des groupes à effectifs restreints comme ceux dont nous disposons, les variations de comportement individuelles ont un impact fort sur la dynamique du groupe. Toutefois, en considérant les corrélations globales, il paraît que l'ordre au DAC peut être utile pour catégoriser les truies, dominantes ou dominées, même s'il ne permet pas de prédire le rang hiérarchique exact.

### 2.2.2. Lien avec les autres données du DAC

Le rang hiérarchique n'est pas corrélé à la durée moyenne des visites ni au temps total quotidien d'occupation du DAC (respectivement  $R = 0,097$  et  $P = 0,845$  et  $R = 0,84, P = 0,948$ ). En revanche, le rang hiérarchique est corrélé au nombre de visites quotidiennes du DAC ( $R = -0,187, P < 0,01$ ), les truies dominantes ayant une légère tendance à visiter le DAC un plus grand nombre de fois. Cette observation ne corrobore pas les observations de Chapinal *et al.* (2008), qui ont étudié l'utilisation d'un DAC non protégé, et ont décrit une corrélation significative entre un index de dominance (variant dans le sens inverse de nos rangs hiérarchiques) et la durée d'occupation quotidienne ( $R = 0,29, P < 0,01$ ) et la durée moyenne des visites ( $R = 0,56, P < 0,01$ ) mais pas le nombre de visites du DAC ( $R = 0,09$ ). Dans le cas présent, le fait que seul le nombre de visites soit impacté est en cohérence avec les caractéristiques du dispositif, les truies étant protégées une fois à l'intérieur du DAC. L'expression de la hiérarchie se fait donc pour l'accès à la ressource mais pas son temps de détention.

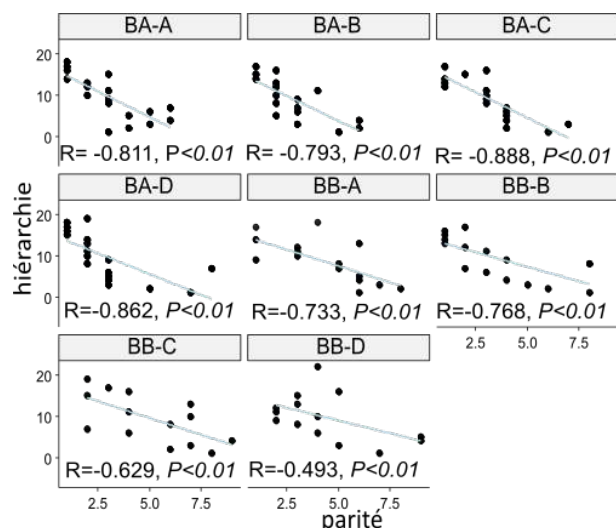
### 2.3. Lien entre la hiérarchie, la parité et le poids (données des protocoles A et B)

La place dans la hiérarchie est fortement et négativement corrélée à la parité ( $R = -0,7, P < 0,01$ ) et au poids en sortie de gestation ( $R = -0,7, P < 0,01$ ) et cela pour toutes les bandes étudiées (Figures 5). La corrélation entre hiérarchie et parité corrobore les observations de Kranendonk *et al.* (2007), qui ont trouvé un lien entre la catégorie de la truie (dominée ou dominante) et la parité en comparant la parité moyenne de groupes de truies dominantes et dominées ( $X^2 = 23,4, P < 0,01$ ). Les truies plus vieilles et plus massives sont dominantes.



**Figure 5a** - Corrélations entre rang hiérarchique et poids à l'entrée en maternité pour les huit bandes étudiées

$R$  = corrélation de Spearman



**Figure 5b** - Corrélation entre rang hiérarchique et parité pour les huit bandes étudiées

R = corrélation de Spearman

## CONCLUSION

L'étude a permis de montrer que les deux méthodes de calcul de la hiérarchie, basées sur le elo-score ou sur le score de David, étaient équivalentes dans les résultats de classements obtenus. Le calcul des indicateurs sociométriques a permis de démontrer que la hiérarchie au sein des groupes de truies étudiés est stable, plutôt raide et quasi linéaire. Dans notre système à DAC protégé, le rang hiérarchique influe sur l'ordre de passage au DAC et sur le nombre de visites quotidiennes sans toutefois influencer sur la durée des visites et le temps total quotidien d'occupation du DAC, et donc la capacité des animaux à terminer leur ration. Il paraît également que le rang hiérarchique est fortement anti-corrélé à la parité et au poids des truies, les truies plus vieilles et plus massives étant plus dominantes. Il peut donc être utile pour l'éleveur de surveiller les fluctuations de l'ordre de passage au DAC ou des incohérences avec le poids ou la parité pour détecter d'éventuels problèmes individuels au sein du groupe.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions les animaliers de l'UE3P pour leur investissement ainsi que Margot Danglot pour sa participation à la collecte et l'analyse des données.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boissy A., 2012. Recherche en éthologie appliquée aux animaux de ferme: Concilier bien-être animal et production. Bull. Acad. Vet. Fr., 165, 137-148.
- Bolhuis J.E., Schouten W.G.P., Leeuw J.A. De, Schrama J.W., Wiegant V.M., 2004. Individual coping characteristics , rearing conditions and behavioural flexibility in pigs. , Behav. Brain. Res, 152, 351-360.
- Brouns F., Edwards S.A., 1994. Social rank and feeding behaviour of group-housed sows fed competitively or ad libitum. Appl. Anim. Behav. Sci., 39, 225-235.
- Chapinal N., Ruiz-de-la-Torre J.L., Cerisuelo A., Baucells M.D., Gasa J., Manteca X., 2008. Feeder use patterns in group-housed pregnant sows fed with an unprotected electronic sow feeder (Fitmix). J. Appl. Anim. Welf. Sci., 11, 319-336.
- David H.A., 1987. Ranking from unbalanced paired-comparison data. Biometrika, 74, 432-436.
- Drews C., 1993. The concept and definition of dominance in animal behaviour. Behav. 125, 53, 284-311.
- Kranendonk G., Van Der Mheen H., Fillerup M., Hopster H., 2007. Social rank of pregnant sows affects their body weight gain and behavior and performance of the offspring. J. Anim. Sci., 85, 420-429.
- Langbein J., Puppe B., 2004. Analysing dominance relationships by sociometric methods - A plea for a more standardised and precise approach in farm animals. Appl. Anim. Behav. Sci., 87, 293-315.
- McDonald D.B., Shizuka D., 2013. Comparative transitive and temporal orderliness in dominance networks. Behav. Ecol., 24, 511-520.
- Neumann C., Duboscq J., Dubuc C., Ginting A., Irwan A.M., Agil Muhammad., Widdig A., Engelhardt A., 2011. Assessing dominance hierarchies: Validation and advantages of progressive evaluation with Elo-rating. Anim. Behav., 82, 911-921.
- Neumann C., McDonald D.B., Shizuka D., 2018. Dominance ranks, dominance ratings and linear hierarchies: a critique. Anim. Behav., 144, 1-16.
- Neumann C., Kulik L., 2020, EloRating: Animal Dominance Hierarchies by Elo Rating, R package version 0.46.11.
- Norring M., Valros A., Bergman P., Marchant-Forde J.N., Heinonen M., 2019. Body condition, live weight and success in agonistic encounters in mixed parity groups of sows during gestation. Animal, 13, 392-398.
- Parent J.P., Meunier-Salaün M.C., Vasseur E., Bergeron R., 2012. Stability of social hierarchy in growing female pigs and pregnant sows. Appl. Anim. Behav. Sci., 142, 1-10.
- Puppe B., Langbein J., Bauer J., Hoy S., 2008. A comparative view on social hierarchy formation at different stages of pig production using sociometric measures. Livest. Sci. , 113, 155-162.
- R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- De Vries H., Stevens J. M. G., Vervaecke H., 2006. Measuring and testing the steepness of dominance hierarchies. , 71, 585-592.
- De Vries H., 1995. An improved test of linearity in dominance hierarchies containing unknown or tied relationships. Anim. Behav., 50, 1375-1389.

# Evaluation des impacts de la chaleur sur le taux de réussite à la saillie chez la truie

David RENAUDEAU (1), Benjamin DENECE (1), Pierre CORRE (1), Sylviane BOULOT (2), Brigitte BADOUARD (2),  
Jean-Yves DOURMAD (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, Le Clos, 35590 Saint-Gilles, France

(2) IFIP - Institut du porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

[david.renaudeau@inrae.fr](mailto:david.renaudeau@inrae.fr)

## Evaluation des impacts de la chaleur sur le taux réussite à la saillie chez la truie

Les variations saisonnières de l'environnement climatique sont connues pour influencer négativement les performances de reproduction de la truie. Les objectifs de ce travail sont de caractériser, sur la base de données d'élevages commerciaux, les effets des variations saisonnières sur le taux de réussite à la saillie ( $T_{x_{\text{saillie}}}$ ) et de produire des équations reliant la température à la fertilité des truies. Les données utilisées ont été extraites de la base de données GTTT. Cette extraction contenait 2 788 028 enregistrements de saillie provenant de 780 élevages en France et 131 élevages à la Réunion entre 2002 et 2012. Les données climatiques provenaient des stations publiques de Météo France localisées à moins de 10 km des élevages. Nos résultats confirment la variation saisonnière du  $T_{x_{\text{saillie}}}$  avec des réductions de 2,2 et 3,5% en période estivale, respectivement en métropole et à la Réunion. Cette infertilité saisonnière est particulièrement marquée chez les truies primipares. La période critique du cycle pour laquelle les effets de la température sur le  $T_{x_{\text{saillie}}}$  sont les plus importants a été identifiée entre le 30<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> jour et entre le 5<sup>ème</sup> au 20<sup>ème</sup> jour avant la première saillie, respectivement pour les cochettes et les truies. Des régressions binomiales ont été utilisées pour relier la réussite à la saillie à la température moyenne enregistrée pendant la période critique. Entre 10 et 30°C, le risque d'échec à la saillie augmente en moyenne de 4,2, 8,4 et 4,9%, respectivement pour les cochettes, les truies primipares et multipares. La précision des estimations du risque d'échec à la saillie est faible pour les cochettes et les truies primipares. Chez ces animaux, le caractère multifactoriel de l'infertilité saisonnière rend difficile la prédiction fiable du  $T_{x_{\text{saillie}}}$  à partir de la température. Chez les truies multipares, l'amélioration de la capacité prédictive des équations rend possible leur utilisation en modélisation.

## Evaluation of the impact of heat stress on the farrowing rate of sows

Seasonal variations in the climatic environment are known to decrease the reproductive performance of sows. The objectives of this study were to evaluate effects of seasonal variations on farrowing rate (FR) measured from commercial farm data and to produce equations to predict FR from outdoor temperature. The data used were extracted from the Technical Management of Sow Herds database (GTTT). This extraction contained 2,788,028 records (from 2002-2012) from 780 and 131 farms in France La Réunion Island, respectively. Climatic data were obtained from public weather stations of Météo France located within a 10 km radius from each farm. Our results confirmed seasonal variation in the FR, which was 2.2% and 3.5% lower in summer in France and La Reunion Island, respectively. This seasonal infertility was particularly high in primiparous sows. FR was influenced by high temperatures that occurred during a critical period of reproductive cycles identified from 3-30 and 5-20 days before the first mating of gilts and weaned sows, respectively. Binomial regressions were used to predict FR from the mean temperature measured during the critical period. Between 10 and 30°C, the risk of infertility increased by a mean of 4.2%, 8.4% and 4.9% for gilts, primiparous sows and multiparous sows respectively. The accuracy of predictions of risk of infertility was low for gilts and primiparous sows. For these animals, seasonal infertility is a multifactorial syndrome, which could explain the difficulty in accurately predicting FR from outdoor temperature only. For multiparous sows, the improved accuracy of the prediction equation allows it to be used it in a modeling approach.



## INTRODUCTION

Parmi les nombreux facteurs environnementaux influençant les performances techniques d'un élevage de porc, les paramètres climatiques sont souvent décrits comme étant les plus importants à prendre en compte dans plusieurs grands bassins de production porcine mondiaux (Brésil, Midwest, Europe du Sud et Asie du Sud-Ouest). Pour les stades physiologiques bénéficiant d'une alimentation libérale, une augmentation de la température ambiante au-delà de la limite supérieure de la zone de confort thermique induit une réduction de l'appétit avec des conséquences négatives à court terme sur les performances de croissance et de reproduction des animaux (Mayorga *et al.*, 2019). Des travaux récents montrent qu'une exposition précoce pendant la phase fœtale à une température élevée a des effets à long terme sur l'expression du potentiel de croissance, la santé et le comportement des porcs (Serviento *et al.*, 2020). Ces travaux confirment qu'au-delà des effets liés à la restriction alimentaire la chaleur a aussi des effets directs à court et à long terme sur les performances des animaux.

Les truies reproductrices sont particulièrement sensibles à la chaleur. Au-delà de 22°C, la diminution de l'ingestion des truies en lactation provoque une diminution de leur production laitière et de la croissance de leur portée mais également un accroissement de leur déficit énergétique (Dourmad *et al.*, 2015). Ce déficit se traduit par une perte d'état corporel qui selon son ampleur et l'âge de la truie peut avoir des conséquences sur les performances de reproduction ultérieure (retards ou défauts d'expression des œstrus, échecs à la saillie..., Prunier *et al.*, 1996). Les échecs de gestation ont des conséquences importantes sur le fonctionnement d'un élevage en augmentant le nombre de jours improductifs et en réduisant la productivité numérique du troupeau de truies et par conséquent le revenu de l'éleveur.

Avec le réchauffement climatique, les problèmes liés aux fortes températures vont probablement s'accroître dans le futur. L'évaluation des impacts du changement climatique est donc un enjeu important pour évaluer le degré de vulnérabilité de la filière porcine et proposer des stratégies d'adaptation efficaces et acceptées par les éleveurs. Dans ce contexte, la modélisation des effets de la chaleur doit s'appuyer sur l'utilisation d'équations empiriques ou mécanistes qui relient la variation de la température à une variation des performances. Pour le porc en croissance et la truie en lactation, ces équations existent et ont déjà été intégrées ou le seront prochainement dans des modèles simulant les réponses des bâtiments et des animaux face aux perturbations climatiques (Quiniou *et al.*, 2021). Si les effets de la chaleur sur les performances de reproduction sont bien décrits dans la littérature, les équations reliant la température avec la fertilité des truies restent peu nombreuses (Iida *et al.*, 2021).

Les objectifs de ce travail sont de caractériser, sur la base de données d'élevages, les effets des variations saisonnières sur le taux de réussite à la saillie et de tenter de produire des équations reliant la température à la fertilité des truies.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Description des bases de données

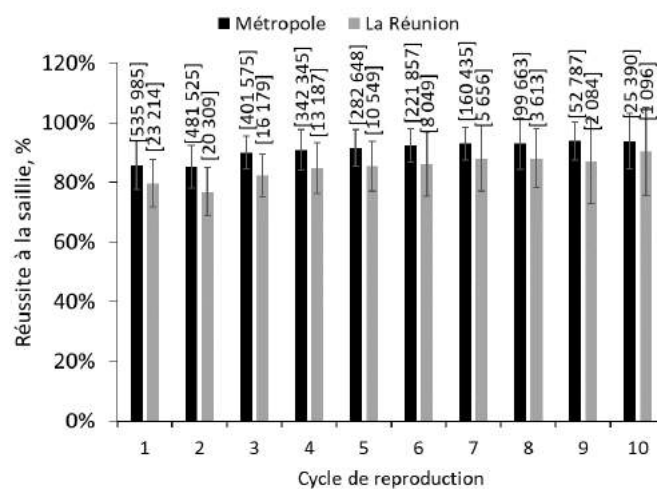
Les données concernant les caractéristiques et les performances de reproduction individuelles des truies ont été extraites de la base de données de la Gestion Technique du Troupeau de Truie (GTTT) collectées dans les élevages en France métropolitaine et à la Réunion sur une période de 10 ans (2002-

2012). Dans notre étude, nous avons choisi de travailler sur le taux de réussite à la saillie ( $Tx_{saillie}$ ) qui à la base est une donnée binaire (1 = mise bas ou 0 = absence de mise bas) pour chaque truie et chaque cycle. Seuls les élevages localisés à moins de 10 km d'une station météorologique du réseau de Météo France ont été retenus. Nous avons donc finalement travaillé sur les performances obtenues sur un ensemble de 780 élevages en métropole et 131 élevages à la Réunion. La figure 1 montre que, du point de vue de la localisation géographique, la population sélectionnée des élevages métropolitains est représentative de la population métropolitaine des élevages de porcs. Au total, la base de données initiale comportait 2 788 028 enregistrements de saillies. Nous avons supprimé les enregistrements quand l'âge à la première saillie était inférieur à 150 jours (21 476 observations) ou supérieur à 460 jours (37 130 observations). Enfin, nous n'avons pas considéré les données obtenues après le 10<sup>ème</sup> cycle de reproduction (21 276 observations).



**Figure 1** - Localisation des élevages avant et après filtrage pour une distance maximale de 10 km avec une station publique de Météo France

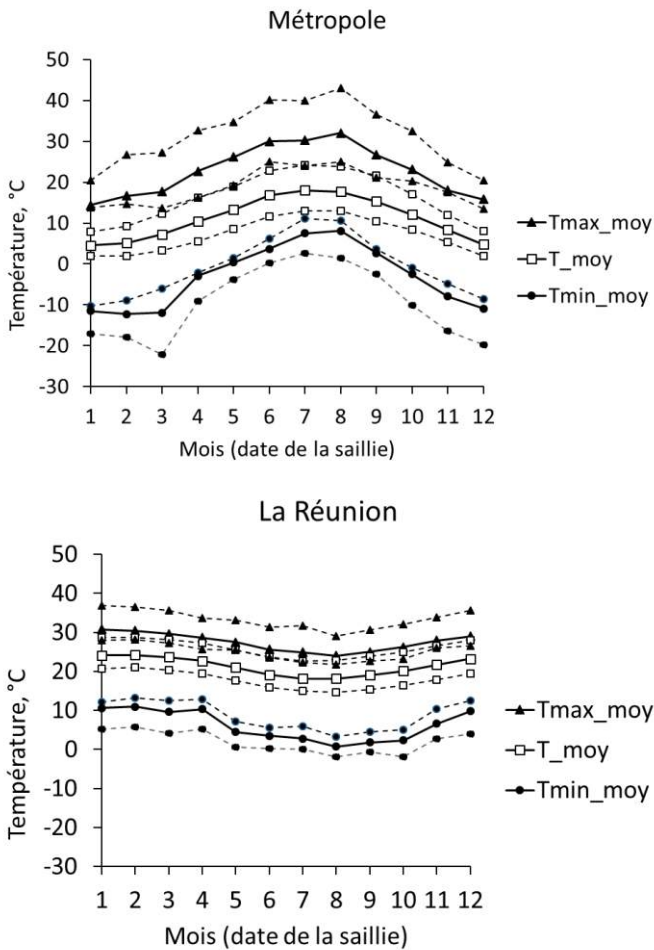
Finalement, la base de données utilisée pour effectuer nos analyses comportait 2 708 146 enregistrements de saillies. La figure 2 montre le taux moyen de la réussite à la saillie selon le numéro du cycle et la localisation géographique de l'élevage. Pour éviter d'avoir des déséquilibres importants en termes de nombre d'observations par cycle, les données des cycles supérieurs à 6 ont été regroupées dans une même classe (7+). Par ailleurs, les données des cochettes et des truies sevrées ont été analysées séparément.



**Figure 2** - Taux de réussite à la saillie moyen ( $\pm$  écart type) selon le cycle de reproduction et la localisation des élevages (Métropole vs La Réunion). La valeur entre crochets indique le nombre de saillies concernées.

Dans la base de données finale, la distance moyenne entre les élevages et la station météorologique la plus proche était de 5,6 ( $\pm 2,6$ ) km. Les variations des températures mensuelles entre

2002 et 2012 pour la métropole et la Réunion sont présentées dans la figure 3. Après des analyses préliminaires et en accord avec des travaux précédents (Sasaki *et al.*, 2018 ; Iida *et al.*, 2021), nous avons choisi d'utiliser la température maximale journalière ( $T_{max}$ ) comme indicateur thermique dans nos analyses.



**Figure 3** – Variations des températures mensuelles ( $T$ )<sup>1</sup> en métropole et la Réunion pendant la période d'étude

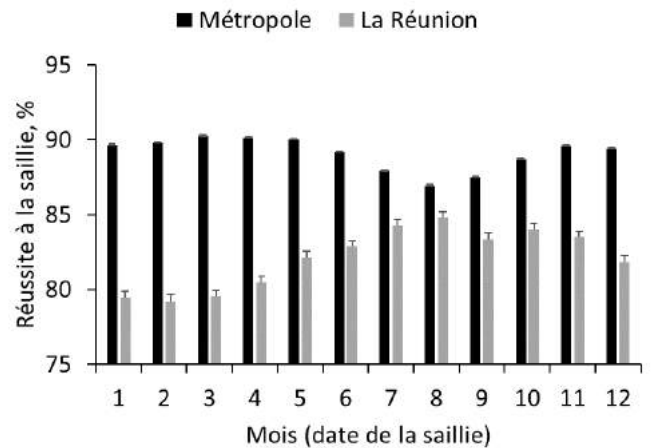
<sup>1</sup> $T_{moy}$  : moyenne des  $T$  moyennes journalières,  $T_{max\_moy}$  et  $T_{min\_moy}$  : moyennes des températures maximales et minimales journalières. Les lignes pointillées correspondent aux valeurs maximales et minimales des températures moyennes.

**1.2. Description des étapes de l'analyse des données**

Nous avons d'abord analysé l'impact d'un certain nombre de facteurs connus pour leur impact sur le  $T_{x_{saillie}}$ . Un modèle de régression binomiale (Proc GLIMMIX, SAS) a été utilisé avec comme variable dépendante la réussite à la saillie (1 ou 0) et, comme variable explicative, la localisation de l'élevage (métropole vs La Réunion), l'année, le mois de la saillie et le cycle de reproduction (1 à 7+). L'élevage au sein de chaque aire géographique a été utilisé comme une variable aléatoire. La période critique du cycle de reproduction pendant laquelle le  $T_{x_{saillie}}$  était le plus sensible à la température a été déterminée sur la base de l'étude de la variation de la corrélation moyenne entre  $T_{max}$  mesurée à un jour donné du cycle (du 32<sup>ème</sup> jour avant au 28<sup>ème</sup> après la première saillie) et le  $T_{x_{saillie}}$ . La période critique a été identifiée comme étant la période du cycle pour laquelle la valeur du coefficient de corrélation de Spearman était la plus faible (Bloemhof *et al.*, 2013). Pour cela, nous avons utilisé une macro SAS (SAS Inst. Inc.) basée sur la procédure CORR dans laquelle les coefficients de corrélation obtenus entre 2 jours consécutifs étaient comparés deux à deux par un test basé sur le calcul de la transformation Z de Fisher.

La moyenne de la  $T_{max}$  ( $MT_{max}$ ) pendant la période critique a été considérée comme indicateur thermique à relier aux variations du  $T_{x_{saillie}}$ . Dans une première étape, des modèles de régression logistique (PROC GLIMMIX) ont été utilisés pour analyser l'effet de la température sur le  $T_{x_{saillie}}$ . La variable dépendante était binaire (1 = mise bas ou 0 absence de mise bas) et les variables indépendantes étaient  $MT_{max}$ , l'âge à la saillie (trois classes ; uniquement pour les femelles nullipares) et le numéro du cycle (2, 3, 4, 5, 6 et 7+ ; uniquement pour les truies sevrées). Le numéro d'élevage a été considéré en variable aléatoire dans les modèles.

**2. RESULTATS ET DISCUSSION**

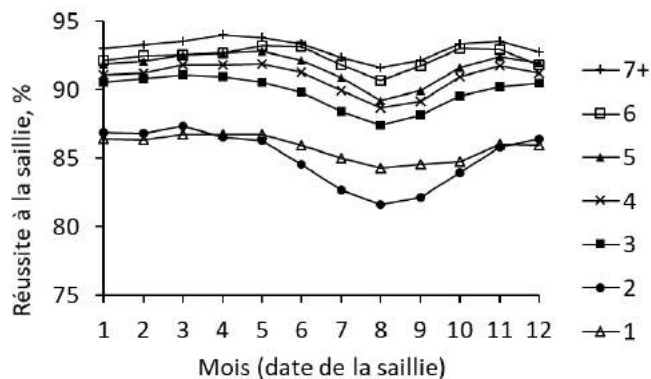


**Figure 4** – Evolution du taux de saillie ( $T_{x_{saillie}}$ ) moyen ( $\pm$  erreur standard) selon la localisation (métropole vs La Réunion) et le mois de la saillie

Tous les facteurs étudiés ont des effets statistiquement significatifs sur la réussite des saillies. La figure 4 montre la variation saisonnière du  $T_{x_{saillie}}$  pour les élevages localisés en métropole ou à la Réunion. En moyenne, le  $T_{x_{saillie}}$  annuel est significativement plus faible à la Réunion comparativement à la métropole (82,2 vs 89,0%). L'effet du mois de saillie dépend de la localisation de l'élevage (interaction  $P < 0,001$ ). En métropole, l'infertilité saisonnière est particulièrement visible en juillet-août-septembre avec une réduction moyenne du  $T_{x_{saillie}}$  de 2,2%. Ces données sont en accord avec les observations de Auvigne *et al.* (2010). A la Réunion, les performances de reproduction sont réduites plus longtemps, pendant 5 mois de décembre à avril avec une baisse moyenne du  $T_{x_{saillie}}$  de 3,5%. La réduction du  $T_{x_{saillie}}$  en période estivale est particulièrement marquée à la fois en intensité et en durée pour les femelles réalisant leur second cycle de reproduction (Figure 5). Chez ces truies, la période d'infertilité saisonnière débute en juin pour se terminer en octobre. En métropole, la variation saisonnière du  $T_{x_{saillie}}$  calculée entre juillet et septembre est en moyenne de 1,8% pour les cycles 1, 3, 4, 5, 6 et 7+ contre 3,9% pour primipares en cycle 2 (Figure 5). Des résultats assez similaires sont retrouvés pour La Réunion.

Nos observations montrent que le  $T_{x_{saillie}}$  varie fortement d'un élevage à l'autre et d'une année à l'autre. Par exemple, lors de la canicule de 2003, indépendamment du numéro de cycle des truies, le  $T_{x_{saillie}}$  a été réduit de plus de 5 points en août et septembre comparativement à la moyenne des six premiers mois de l'année.



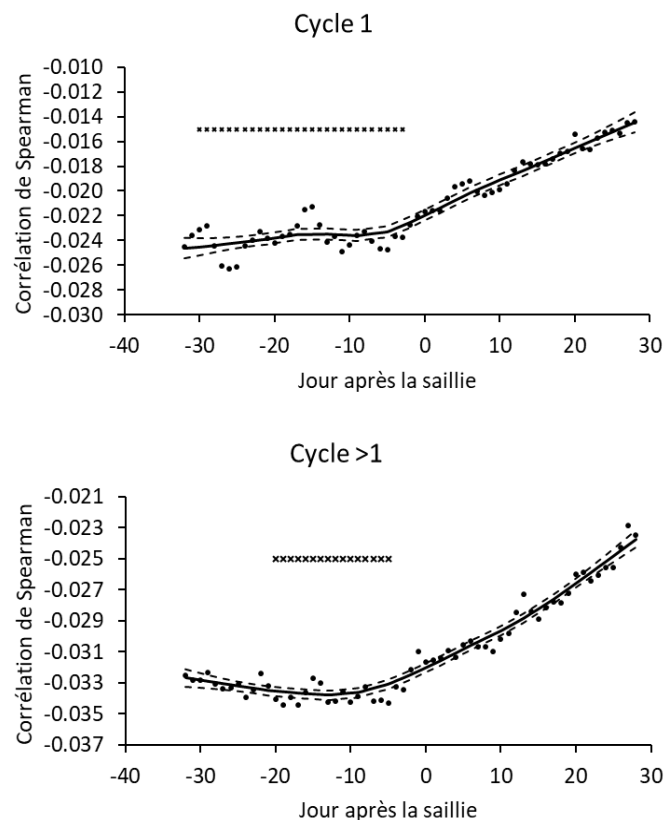


**Figure 5** – Evolution du  $T_{x_{saillie}}$  mensuel selon le numéro de cycle de la femelle (données sur les élevages de la métropole)

La variation saisonnière de la fertilité des truies s'explique généralement par des retours en chaleur résultant de problèmes associés à l'insémination (problèmes de détection des chaleurs... ) ou d'une mortalité embryonnaire avant et après implantation (Quesnel *et al.*, 2005). Même si les causes exactes expliquant l'infertilité saisonnière ne sont pas toutes connues, il semble que la température ambiante et l'évolution de la durée quotidienne d'éclairage soient impliquées (Peltoniemi *et al.*, 2000). Une étude menée pour séparer les effets de la durée d'éclairage et de l'élévation de la température ambiante sur l'intervalle sevrage-œstrus en période estivale semble indiquer un effet prédominant de la chaleur (Prunier *et al.*, 1994). En Europe, la saison estivale se traduit à la fois par une élévation de la température et un allongement de la durée de la période diurne. Dans les régions tropicales, les deux saisons se distinguent principalement par une variation de la température et de l'humidité et peu par une variation de la photopériode. L'observation d'une infertilité saisonnière marquée dans ces deux régions confirment l'importance des facteurs climatiques.

Un des objectifs de ce travail était de déterminer à quel moment du cycle les femelles étaient les plus sensibles à l'élévation de la température ambiante. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur l'évolution de la corrélation moyenne calculée jour par jour entre le  $T_{x_{saillie}}$  et  $T_{max}$  (Figure 6). Quel que soit le numéro de cycle, la valeur de la corrélation est négative. Elle est relativement faible mais toujours significativement différente de zéro. Ce résultat indique que de nombreux facteurs (autres que la température) influencent le  $T_{x_{saillie}}$  mais qu'une élévation de la température à l'extérieur des bâtiments d'élevage peut avoir des conséquences négatives sur le  $T_{x_{saillie}}$ . Pour les nullipares, la période critique est identifiée entre le 30<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> jour avant la 1<sup>ère</sup> saillie. Pour les truies ayant déjà effectué un cycle de reproduction, cette période s'étend du 20<sup>ème</sup> au 5<sup>ème</sup> jour avant la saillie. Ce dernier résultat est en accord avec des travaux fondés sur des données collectées en Espagne ou au Japon (Bloemhof *et al.*, 2013 ; Sasaki *et al.*, 2018 ; Iida *et al.*, 2021), qui concluent sur une période de sensibilité allant de la 3<sup>ème</sup> semaine avant à la 1<sup>ère</sup> semaine après le sevrage. Pour les truies sevrées, la majeure partie de cette période critique de 20 jours correspond à la lactation précédente. Pour les cochettes, la période critique débute aussi avant la saillie, mais dure 10 jours de plus. Elle englobe donc la fin de la quarantaine et la période de synchronisation des chaleurs.

Une mobilisation accrue des réserves corporelles pour compenser le déficit énergétique lié aux effets de la chaleur sur l'ingestion d'aliment est l'une des principales causes invoquées pour expliquer les problèmes de reproduction après le sevrage (Quesnel *et al.*, 2005). Pour les cochettes, comme pour les truies sevrées, les trois semaines précédant l'insémination incluent



**Figure 6** – Evolution du coefficient de corrélation de Spearman entre  $T_{max}$  et  $T_{x_{saillie}}$  selon le jour du cycle (0 = date de la première saillie) et le cycle de reproduction – (x = jours pour lesquels la corrélation est minimale)

**Tableau 1** - Paramètres du modèle de régression binomiale expliquant les variations de la probabilité d'avoir une saillie fécondante chez les cochettes (cycle 1)<sup>1</sup>

Facteurs	Estimation <sup>2</sup> ( $\pm SE$ )	P-value
Ordonnée à l'origine	-1,815 ( $\pm 0,073$ )	< 0,01
$MT_{max}$		
Effet linéaire	0,033 ( $\pm 0,008$ )	< 0,01
Effet quadratique	-0,0014 ( $\pm 0,003$ )	< 0,01
Age à la saillie	Référence	
<242 j		
243 à 256 j	+0,106 ( $\pm 0,101$ )	NS
257 à 276 j	+0,021 ( $\pm 0,098$ )	NS
>277 j	-0,039 ( $\pm 0,094$ )	< 0,01

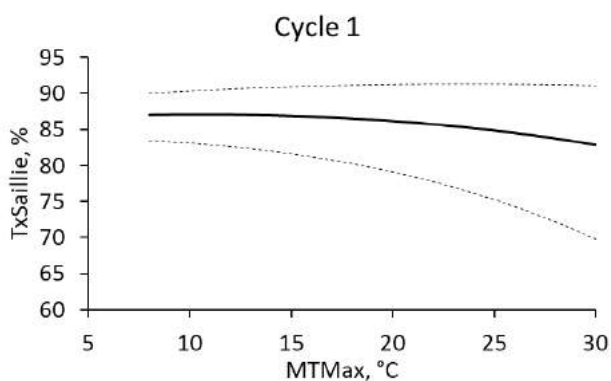
<sup>1</sup>Les interactions entre les effets (linéaires et quadratiques) de la température et l'âge à la saillie ne sont pas significatifs (respectivement  $P = 0,254$  et  $P = 0,278$ ). <sup>2</sup>Logarithme de l'odds-ratio du « risque » relatif d'avoir un succès à la saillie.

conditionne la qualité des ovocytes, et la survie des embryons (Quesnel *et al.*, 2005). Par ailleurs, une température élevée durant la semaine de saillie est décrite comme un facteur susceptible de perturber le fonctionnement de l'axe hypothalamo-hypophysio-ovarien chez les cochettes et les truies (Prunier *et al.*, 1996). Cela peut augmenter la variabilité de l'intervalle entre le début des chaleurs et l'ovulation et par conséquent le risque d'inséminations « mal programmées » et les échecs de fertilisation (De Rensis *et al.*, 2017).

Les estimations des paramètres du modèle de régression binomiale utilisé pour analyser les données des cochettes sont présentées dans le tableau 1. La  $T_{max}$  moyenne a un effet linéaire et quadratique sur le  $T_{x_{saillie}}$ . L'âge à la saillie des cochettes a peu d'influence sur le  $T_{x_{saillie}}$ . La « chance » d'avoir un succès à la saillie diminue significativement lorsque l'âge à la saillie dépasse 277 jours. Compte-tenu de l'absence d'interaction

entre l'âge à la saillie et la température, une nouvelle équation de prédiction est obtenue en considérant l'effet de l'âge à la saillie (en variable continue) seulement sur l'ordonnée à l'origine de l'équation de régression (Figure 7). A partir de cette équation, il est possible d'estimer que le  $T_{x_{\text{saillie}}}$  est réduit de 4,2% entre 10 et 30°C. En se basant sur l'intervalle de confiance à 95% (IC95), cette chute varie entre 0,7 et 13,4%. De la même façon, le point d'inflexion de la réponse à la chaleur ( $T_{\text{max}}$  à laquelle la dérivée première s'annule) est compris entre 3,8 et 23,6°C. Plus généralement, le large IC95 pour les prédictions du  $T_{x_{\text{saillie}}}$  à partir de la température de la période critique indique que le modèle final chez les femelles en cycle 1 a une faible capacité prédictive.

Chez les truies, le  $T_{x_{\text{saillie}}}$  est influencé par la température pendant le stade critique et le cycle de reproduction et l'interaction entre ces deux facteurs (Tableau 2). L'estimation



**Figure 7** – Prédiction<sup>1</sup> moyenne (ligne continue) et limites de l'intervalle de confiance à 95% (lignes pointillées) du taux de saillie ( $T_{x_{\text{saillie}}}$ ) en fonction de la moyenne de la température maximale ( $MT_{\text{max}}$ ) mesurée pendant la période critique pour les femelles en cycle 1.

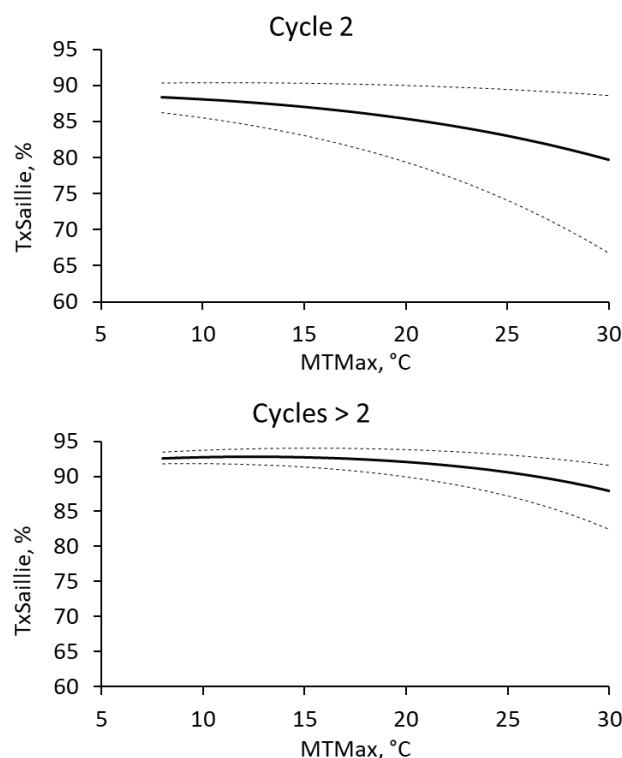
<sup>1</sup>Les prédictions sont issues de l'équation suivante :  $Y = (1 + \exp(-2,96 + 0,0186 \times T_{\text{max}} - 0,00088 \times T_{\text{max}}^2 - 0,00411 \times \text{âgeSaillie}))^{-1} \times 100$

**Tableau 2** - Paramètres du modèle de régression binomiale pour les données du taux de saillie ( $T_{x_{\text{saillie}}}$ ) selon le numéro de cycle des truies sevrées<sup>1</sup>

Equation de régression	Estimation ( $\pm SE$ )	P-value
Ordonnée à l'origine $MT_{\text{max}}$	-1.804 ( $\pm 0,034$ )	< 0,01
Effet linéaire	0,029 ( $\pm 0,003$ )	0,01
Effet Quadratique	-0,0016 ( $\pm 0,001$ )	< 0,01
Cycle	Référence	
2		
3	0,391 ( $\pm 0,022$ )	< 0,01
4	0,449 ( $\pm 0,024$ )	< 0,01
5	0,546 ( $\pm 0,026$ )	< 0,01
6	0,501 ( $\pm 0,029$ )	< 0,01
7+	0,677 ( $\pm 0,025$ )	< 0,01
Calcul des Odds-ratio <sup>2</sup>	Valeur	IC95
Cycle	Référence	
2		
3	1,577	[1,544-1,611]
4	1,849	[1,806-1,892]
5	2,019	[1,968-2,071]
6	2,368	[2,299-2,440]
7+	2,564	[2,498-2,631]

<sup>1</sup>Moyenne  $\pm$  écart-type. Les interactions entre les effets (linéaires et quadratiques) de la température et le numéro du cycle sont toutes hautement significatives ( $P < 0,001$ ). <sup>2</sup>IC95 : intervalle de confiance à 95%. Estimation des odds ratios pour évaluer les interactions entre le numéro du cycle et le  $T_{x_{\text{saillie}}}$ . Les données du cycle 2 ont été choisies comme référence. Le calcul a été fait pour une  $MT_{\text{max}}$  de 24°C.

des odds-ratio pour un niveau de température donné (24°C) indique que la probabilité relative d'avoir une réussite à la saillie est significativement plus élevée pour les truies au-delà de leur second cycle comparativement aux femelles en second cycle. La comparaison 2 à 2 des odds-ratio obtenus sur les truies à partir du cycle 3 montre une réduction progressive du risque d'un échec à la saillie (résultats non présentés). Pour les truies dans le groupe 7+, le risque relatif d'avoir un échec à la saillie à 25°C est 40% plus faible que celui des truies en cycle 3. En revanche, les effets de la température sur le  $T_{x_{\text{saillie}}}$  sont assez proches pour les truies au-delà du cycle 2. Pour simplifier, nous avons donc produit deux équations de prédiction, une pour les truies primipares et une autre pour les multipares (Figure 8).



**Figure 8** – Prédiction<sup>1</sup> moyennes (lignes continues) et limites de l'intervalle de confiance à 95% (lignes pointillées) du taux de saillie ( $T_{x_{\text{saillie}}}$ ) en fonction de la moyenne de la température maximale ( $MT_{\text{max}}$ ) mesurée pendant la période critique pour les truies en cycle 2 et ou en cycles suivants (> 2).

<sup>1</sup>Les prédictions sont issues des équations suivantes :

Cycle 2 :  $Y = 1/(1 + \exp((2,07 + 0,0013 \times T_{\text{max}} - 0,00082 \times T_{\text{max}}^2) \times -1)) \times 100$

Cycle > 2 :  $Y = 1/(1 + \exp((2,27 + 0,0463 \times T_{\text{max}} - 0,00187 \times T_{\text{max}}^2) \times -1)) \times 100$

Comme pour les femelles dans leur premier cycle de reproduction, la qualité de la prédiction de  $T_{x_{\text{saillie}}}$  pour les truies primipares sevrées n'est pas très bonne. Le  $T_{x_{\text{saillie}}}$  chute en moyenne de 8,4% [IC95 : -1,8 à -18,8] entre 10 et 30°C et le point d'inflexion de la courbe est calculé à 0,7°C [IC95 : -4,1 à 11,0°C]. Pour les truies multipares, la réduction de l'IC95 indique une qualité de la prédiction nettement améliorée. Ce résultat est confirmé par l'analyse de la courbe ROC (aire sous la courbe à 66% contre en moyenne 55% pour les femelles en cycles 1 et 2). Le  $T_{x_{\text{saillie}}}$  chute en moyenne de 4,9% [IC95 : -2,1 à -9,5%] entre 10 et 30°C et le point d'inflexion de la courbe est calculé à 12,4°C [IC95 : 9,4 à 15,4°C].

Si l'on considère les points d'inflexion des équations comme des indicateurs de la sensibilité à la température, les résultats de cette étude montrent que les jeunes truies (cycles 1 et 2) seraient plus sensibles à la chaleur. La variation du  $T_{x_{\text{saillie}}}$  entre 10 et 30°C est particulièrement importante pour les femelles en cycle 2 (-8,2% vs -4,2% et -4,9% en cycle 1 et cycle > 2). En

utilisant un modèle linéaire-plateau pour évaluer le seuil de sensibilité et l'effet de la température sur le taux de réussite à la saillie, Iida *et al.* (2021) concluent également à une plus grande sensibilité moyenne des jeunes truies après leur premier sevrage par rapport au reste de la population de truies. Après le premier sevrage, les troubles de la fertilité sont fréquemment rapportés dans les élevages avec comme principaux facteurs de risque la technicité des éleveurs, la maîtrise de la taille des portées allaitées et plus généralement la conduite pendant la lactation (Boulot *et al.*, 2013). Comme indiqué plus haut, une mobilisation excessive des réserves corporelles pendant la lactation augmente le risque de mauvaises venues en chaleur et d'infertilité (Prunier *et al.*, 1996). Cela semble être particulièrement vrai chez les truies primipares puisque pour cette population de femelles une perte de poids pendant la lactation supérieure à 5% du poids vif à la mise-bas suffirait à provoquer un allongement de l'intervalle sevrage-saillie fécondante alors que ces problèmes de reproduction n'apparaîtraient chez les truies multipares que lorsque la perte de poids vif dépasserait 10% (Thaker et Bilkei, 2005).

Notre étude confirme qu'il est possible d'utiliser les paramètres climatiques mesurés à l'extérieur de l'élevage au cours de la période précédant l'insémination pour identifier des stades physiologiques critiques et prédire le  $T_{x_{saillie}}$  chez les truies. Néanmoins, en accord avec les précédents travaux antérieurs sur le sujet, la capacité prédictive de ces équations reste globalement faible notamment chez les jeunes truies. Cela indique que des variables prédictives complémentaires liées à l'animal (taille de la portée lors de la lactation précédente, état corporel au sevrage/saillie...) et, plus généralement, au fonctionnement de l'élevage (durée de la lactation, modalités de préparation des cochettes, gestion de la reproduction, de l'alimentation et de l'ambiance dans les bâtiments...)

pourraient être ajoutées dans le modèle pour améliorer leur précision. La prise en compte de certaines causes d'échecs non liés à des problèmes de reproduction (réforme de femelles gestantes), mais parfois liées au stress thermique (mortalité de truies gestantes) pourrait aussi affiner les prédictions. Certaines de ces informations sont disponibles dans les bases GTTT, d'autres nécessiteraient des mesures complémentaires ou des remontées d'informations collectées par les éleveurs.

Pour les truies multipares, l'équation proposée peut être considérée comme satisfaisante pour prédire le risque (et son incertitude) d'avoir un échec à la saillie quand la température ambiante augmente et pourrait être utilisée dans des modèles globaux destinés à évaluer la vulnérabilité des exploitations porcines face à l'évolution du climat.

## CONCLUSION

Cette étude confirme que les conditions climatiques chaudes dans la période précédant la saillie ont des impacts négatifs sur les performances de reproduction des femelles avec des effets plus marqués chez les jeunes truies. Chez ces animaux, le caractère multifactoriel de l'infertilité saisonnière et la diversité des pratiques d'élevage rendent difficile la prédiction fiable du  $T_{x_{saillie}}$  à partir des températures extérieures. Chez les truies multipares, l'amélioration de la capacité prédictive des équations rend possible leur utilisation en modélisation.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient INRAE (Projet PigChange, métaprogramme ACCAF) pour le soutien financier apporté à cette étude.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- Auvigne V., Leneveu P., Jehannin C., Peltoniemi O., Salle E., 2010. Seasonal infertility in sows: a five year field study to analyze the relative roles of heat stress and photoperiod. *Theriogenol.*, 74, 60-66.
- Bloemhof S., Mathur P.K., Knol E.F., van der Waaij E.H., 2013. Effect of daily environmental temperature on farrowing rate and total born in dam line sows. *J. Anim. Sci.*, 91, 2667-2679.
- Boulot S., Despres E., Badouard B., Sallé I., 2013. Le «syndrome de 2<sup>ème</sup> portée» dans les élevages français : prévalence de différents profils et facteurs de risque. *Journée Rech. Porcine*, 45, 70-80.
- De Rensis F., Ziecik A.J., Kirkwood R.N., 2017. Seasonal infertility in gilts and sows: aetiology, clinical implications and treatments. *Theriogenol.*, 96, 111-117.
- Dourmad J.Y., Le Velly V., Le Chartier C., Gourdine J.L., Renaudeau D., 2015. Influence de la température ambiante chez la truie allaitante, une approche par méta-analyse et par modélisation. *Journée Rech. Porcine*, 47, 105-110.
- Iida R., Piñeiro C., Koketsu Y., 2021. Timing and temperature thresholds of heat stress effects on fertility performance of different parity sows in Spanish herds. *J. Anim. Sci.*, 99, 1-11.
- Mayorga E.J., Renaudeau D., Ramirez B.C., Ross J.W., Baumgard L.H., 2019. Heat stress adaptations in pigs. *Animal Frontiers*, 9, 54-61.
- Peltoniemi O.A.T., Tast A., Love R.J., 2000. Factors effecting reproduction in the pig: seasonal effects and restricted feeding of the pregnant gilt and sow. *Livest. Prod. Sci.*, 60-61, 173-184.
- Prunier A., Dourmad J.Y., Etienne M., 1994. Effect of light regimen under various ambient temperatures on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.*, 72, 1461-1466.
- Prunier A., Quesnel H., Messias de Bragança M., Kermabon A.Y., 1996. Environmental and seasonal influences on the return-to-estrus after weaning in primiparous sows: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 45, 103-110.
- Quesnel H., Boulot S., Le Colzer Y., 2005. Les variations saisonnières des performances de reproduction chez la truie. *INRA Prod. Anim.*, 18, 101-110.
- Quiniou N., Cadero A., Marcon M., Brossard L., 2021. Simuler avec le modèle bioclimatique ThermiPig les performances des porcs en croissance en tenant compte des conditions climatiques et des caractéristiques de la salle d'engraissement. *Journée Rech. Porcine*, 53, 89-94.
- Sasaki Y., Fujie M., Nakatake S., Kawabata T., 2018. Quantitative assessment of the effects of outside temperature on farrowing rate in gilts and sows by using a multivariate logistic regression model. *J. Anim. Sci.*, 89, 1187-1193.
- Serviento A.M., Lebret B., Renaudeau D., 2020. Chronic prenatal heat stress alters growth, carcass composition, and physiological response of growing pigs subjected to postnatal heat stress. *J. Anim. Sci.*, 98, skaa161.
- Thaker M.Y.C., Bilkei G., 2005. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. *Anim. Reprod. Sci.*, 88, 309-318.

# Etude de la prise colostrale en élevages à taux de pertes sur nés vivants élevés

## Analyse de la situation en lien avec les pratiques d'élevage, l'homéothermie des porcelets et la production colostrale des truies

Philippe LENEVEU (1), Anne DURAND (2), Bleuenn LAHUEC (3), Amélie GILET (4), Eric LEWANDOWSKI (1), Thierry SOLIGNAC (5)

(1) Ceva Santé Animale, 10 avenue de La Ballastière, 33 500 Libourne

(2) Eureden, 7 rue de la Roberdière, CS 56547, 35 065 Rennes Cedex,

(3) Eureden, ZI de Lanrinou, CS 20100, 29206 Landerneau Cedex

(4) Eureden, Z.A. de Lanjouan, BP 90251 - 22402 Lamballe Cedex

(5) Eureden, 75 boulevard de Penthièvre, 22600 Loudéac

[philippe.leneveu@ceva.com](mailto:philippe.leneveu@ceva.com)

Avec la collaboration de Carl GELARD (2), Lucie BERTHELOT (2), Thomas BLONDEL (1)

### **Etude de la prise colostrale en élevages à taux de pertes sur nés vivants élevés. Analyse de la situation en lien avec les pratiques d'élevage, l'homéothermie des porcelets et la production colostrale des truies**

Une prise colostrale (PC) de qualité est déterminante pour la survie et les performances des porcelets. Dans 25 élevages sélectionnés pour taux de pertes élevé ou doutes sur la PC, l'étude avait pour but, (i) d'analyser l'homéothermie des porcelets et (ii) de décrire la production colostrale des truies par la croissance de leurs portées. L'étude a inclus 2557 nés vivants issus de 195 portées.

Les porcelets subissent un choc thermique à la naissance d'autant plus important qu'ils naissent légers et dans une zone de mise bas froide ( $P<0,001$ ). Son impact est toutefois dépendant des pratiques d'élevage comme le séchage qui contribue à réchauffer les porcelets et limite les pertes à 24h ( $P<0,001$ ). La PC est significativement impactée par l'homéothermie à 24h, elle-même influencée par la température du nid pour les porcelets d'un poids de naissance inférieur à 1,2kg ( $P<0,001$ ). Cette étude montre une hétérogénéité de soins et de confort offerts aux porcelets. Le critère de température rectale à 24h apparaît alors comme un critère pratique et synthétique d'évaluation de la PC et du niveau des pertes caloriques subies par les porcelets.

L'analyse des croissances de 118 portées complètes révèle un effet portée à faible croissance présent dans tous ces élevages et à un niveau inattendu (49% des portées). Aucun des critères étudiés ne permet d'expliquer cette observation. Il existe donc un frein majeur à la PC dont l'origine n'a pas encore été identifiée.

### **Colostrum intake on farms with high loss rates of live born piglets. Analysis of the influence of breeding practices, homeothermy of piglets and colostrum production of sows**

Good colostrum intake (CI) is vital for piglet survival and good performance. On 25 farms selected for having high losses or doubts about their CI quality, this study (i) analysed the homeothermy of piglets and (ii) determined colostrum production of sows by using the litter growth rate. This study included 2557 live born piglets from 195 litters.

Piglets can suffer cold shock at birth, especially when birth weights and the temperature of the birthing area are low ( $p<0.001$ ). The impact of this shock depends on husbandry practices such as drying, which can help warm the piglets and decrease losses at 24 h ( $P<0.001$ ). Homeothermy at 24 h can significantly increase CI, and the temperature of the nesting area has been shown to influence homeothermy when piglets weigh less than 1.2 kg ( $P<0.001$ ). This study revealed differences in the care and thermal comfort offered to piglets. The rectal temperature of piglets at 24 h appears to be a practical summary parameter for evaluating potential CI and limiting caloric losses in piglets.

Analysis of the growth of 118 complete litters revealed 49% of litters with low growth rates, which was observed on all farms. Such a high percentage was unexpected, and none of the parameters studied can explain this observation. Therefore, this litter effect is a major factor that limits CI and whose origin has yet to be identified.

## INTRODUCTION

Une étude récente a décrit et analysé la prise colostrale dans 10 élevages et rappelé à quel point celle-ci est déterminante pour la survie et les performances zootechniques des porcelets (Leneveu *et al.*, 2019). Elle a montré une grande diversité dans les pratiques mises en œuvre par les éleveurs en cours de mise-bas et dans les heures qui suivent.

Malgré la présence des équipements nécessaires, des carences en termes de gestion des ambiances ont ainsi été mises en évidence. Celles-ci ont pour conséquence un inconfort du porcelet pouvant déboucher sur une pénalisation de la prise colostrale.

Or le porcelet à la naissance est sensible au froid et possède de très faibles réserves énergétiques qui ne lui permettent pas une survie de plus de quelques heures (Le Dividich, 2006). Pattison *et al.* (1990) ont décrit le choc thermique subi par le porcelet à la naissance, choc thermique d'autant plus marqué que les porcelets sont légers. L'hyperprolificité développée depuis plus de 25 ans, qui conduit à des porcelets plus légers en moyenne mais aussi plus hétérogènes incite à revisiter le travail de Pattison *et al.*

Au sein d'élevages présentant des taux de pertes en maternité élevés, les objectifs de ce travail sont (i) de décrire l'homéothermie des porcelets de leur naissance à 24h de vie et l'analyser en fonction de leur poids, de leur prise colostrale et des pratiques d'élevages et enfin, (ii) de décrire la croissance des portées sans adoptions qui reflète la production colostrale de la truie. On sait en effet que les facteurs régissant la production colostrale sont indépendants de la prolificité (Quesnel, 2011) et restent pour partie mal connus.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Sélection des élevages et des portées

Vingt-cinq élevages ont été sélectionnés par l'équipe technico-sanitaire d'Eureden, en ciblant des élevages à taux de pertes sur nés vivants élevés ou ayant un questionnement quant à la prise colostrale et ayant au moins 20 truies par bande. Vingt-quatre ont une Gestion Technique du Troupeau de Truies. Le taux de pertes sur nés vivants moyen de ces élevages est de 15,7%.

Les élevages ont été répartis entre deux opérateurs qui ont réalisé l'ensemble des mesures. Présents en élevage du mercredi au vendredi de la semaine de mise bas, ils avaient pour objectif d'inclure le maximum de porcelets nés en leur présence et pouvant être contrôlés 24 heures plus tard.

### 1.2. Protocole

#### 1.2.1. Evaluation de la prise colostrale des porcelets

Elle est effectuée sur la base du gain de poids 24h (GP24) selon Leneveu *et al.* (2019). Le GP24 repose sur la différence pondérale observée entre le poids 24h après la fin de mise bas et le poids à la naissance. Il est calculé pour tous les porcelets pour une même durée de 24h de vie.

#### 1.2.2. Suivi des mises bas et des porcelets

Pour que les données recueillies en élevages reflètent la situation réelle, il était important que les opérateurs ne modifient en rien les habitudes et pratiques des éleveurs. Ainsi aucune assistance supplémentaire n'a été apportée aux porcelets et les adoptions effectuées par les éleveurs étaient possibles.

A la naissance, les porcelets ont été identifiés individuellement par une boucle auriculaire (dans un délai de 20 minutes maximum et toujours avant la 1ère tétée), et on immédiatement fait l'objet d'une prise de température rectale (TempN), d'une mesure de la longueur du cordon ombilical et d'une pesée. Le poids de naissance enregistré (PdN) prend en compte le poids du cordon (Leneveu *et al.*, 2019). Vingt-quatre heures après la fin de la mise-bas, les porcelets inclus et en vie ont été pesés et leur température rectale mesurée (Temp24). Pour les prises de température rectale, un thermomètre électronique pour chat a été utilisé (Kruuse ; mini 32°C ; maxi 42°C).

#### 1.2.3. Suivi des portées et gain de poids de portée

Deux qualificatifs de portées ont été utilisés. Les Portées Quasi Complètes (PQC), c'est à dire les portées dont le nombre de porcelets inclus (Nx) correspond au nombre de nés vivants (NV) ou pour lesquelles au maximum deux nés vivants n'ont pas été inclus ( $Nx \geq (NV-2)$ ). Les Portées Quasi Franches (PQF) sont des PQC ayant au maximum deux porcelets adoptés avant 24h de vie par une autre truie.

Les portées étant issues de 25 élevages et donc par définition pas dans les mêmes conditions d'élevage, nous restons sur le descriptif pour des croissances de portées, sans calcul de la production colostrale (Devillers *et al.*, 2004) qui fait par exemple appel à la température ambiante.

Le gain de poids de portée à 24h des PQF (GP24 PQF) correspond à la somme des GP24 des Nx porcelets, (adoptés inclus) auquel on ajoute l'estimation de la somme des GP24 des porcelets présents non inclus. La valeur de cette estimation est le Gp24 moyen des porcelets inclus multiplié par le nombre de porcelets non inclus et le taux de survie à 24h. C'est alors un premier reflet de la production colostrale de la truie .

$GP24\ PQF = Somme\ GP24 + (NV-Nx)(GP24\ Moyen)(1-\% \text{ pertes } Nx)$

Avec GP24 moyen = moyenne des GP24 des Nx ; % pertes Nx = % de pertes des Nx avant 24h.

Cette formule inclus toutefois les porcelets à GP24 négatifs qui selon la formule vont venir diminuer à tort l'estimation de la production colostrale. C'est pourquoi le critère GP24 PQF Col est introduit. La formule est similaire mais ne somme que les GP24 positifs et ne prend en compte le GP24 des porcelets manquant (NV-Nx) que si le GP24 moyen de la portée est positif.

#### 1.2.4. Confort des porcelets

L'évaluation a été faite par thermomètre infra-rouge. Deux zones ont été mesurées à la mise bas. La zone de mise bas elle-même, c'est à dire juste à l'arrière de la truie et le nid à porcelets. Pour ce dernier, le point de mesure correspondait à la zone présumée la plus chaude, à savoir, le milieu du nid en l'absence de chauffage par le dessus (plaque chauffante) ou à l'aplomb de la source de chaleur.

#### 1.2.5. Analyses statistiques

Les analyses ont été conduites avec le logiciel R version 4.0.4. Il y a eu régulièrement recours à l'analyse de variance à deux facteurs. Les résultats présentés prennent en compte l'interaction entre facteurs quand elle est présente.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'effectif étudié a varié entre les critères et ceci est précisé dans le texte. En effet, il a fallu du temps pour s'approprier le protocole des relevés de température rectale à la naissance puis

à 24h. Par ailleurs, certains critères n’ont pas pu être relevés systématiquement (ex : séchage et évaluation du confort des porcelets).

**2.1. Portées étudiées**

Des porcelets de 195 portées ont été suivis. Leur prolificité a été de 16,25 nés totaux. Il y a eu en moyenne 7,8 portées incluses par élevage (de 3 à 19).

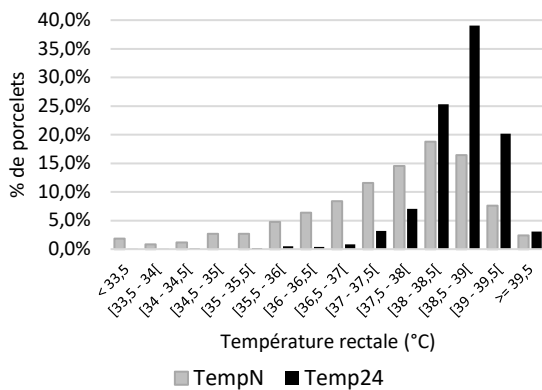
Cent cinquante portées ont pu être qualifiées PQC et 118 PQF.

**2.2. Porcelets à la naissance**

Après exclusion de 76 porcelets (problème de pesée, de délai entre pesées ou de GP24 aberrant), la population étudiée se compose de 2720 nés totaux (163 morts nés et 2557 nés vivants). Le poids moyen des morts nés est de 1,046 kg et celui des nés vivants de 1,323 kg. Conformément à Cariolet *et al.* (2004), Le Colzer *et al.* (2004), Leneveu *et al.* (2019), le PdN décroît avec la prolificité.

**2.2.1. Température rectale à la naissance**

Au cours de cette étude, 2442 porcelets de 185 portées ont eu un relevé TempN. La moyenne est de 37,50 °C mais la dispersion est forte (Figure 1 ;  $\sigma = 1,44^\circ\text{C}$ ), 6,6% des porcelets étant à moins de 35°C.



**Figure 1** – Distribution de la température rectale des porcelets à la naissance (TempN, n= 2442) et 24 heures après la fin de la mise bas (Temp24, n= 1562)

La TempN est très significativement liée au PdN (Anova ;  $P < 0,001$ ) et à la température de la zone de mise bas (voir 2.4.1). Ces résultats sont une illustration du choc thermique décrit par Pattisson *et al.* (1990) que subissent les porcelets à la naissance. En prenant pour postulat que pour chacun des porcelets *in utero* leur température est comparable, le choc thermique est particulièrement marqué pour les porcelets légers (< 1 kg). Ils représentent 50% des porcelets à moins de 35°C à la naissance. Ainsi, 19% des porcelets légers ont une température inférieure à 35°C contre seulement 1 % des plus de 1,5kg.

Une limite de notre travail est toutefois le délai naissance – prise de température, certes toujours dans les 20 minutes post naissance mais variable entre porcelets. Or la température rectale chute vite après naissance. Pattisson *et al.* (1990) ont montré dans leur suivi de 168 porcelets que le minimum de température rectale était atteint 30 minutes après la naissance après une chute de 3,45°C. Cela est confirmé par les travaux de Xion *et al.* (2018) qui ont montré une chute, 30 minutes après naissance, de 5,1°C sur 99 porcelets.

**2.3. Porcelets à 24h**

**2.3.1. Pertes à 24h**

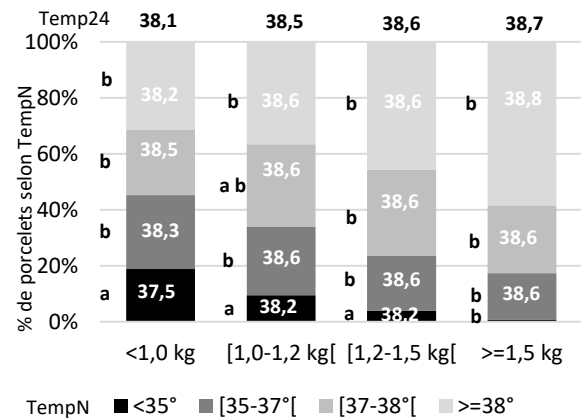
Au bout de 24h, 143 porcelets ont été identifiés morts, soit 5,7% de pertes sur nés vivants, valeur proche des 5,6 % de Leneveu *et al.* (2019). Mais 62 porcelets perdus dans le suivi (morts sans enregistrement ou adoptés par une autre truie sans que cela ait été noté ?) ne sont pas intégrés au taux de pertes.

Conformément à Cariolet *et al.* (2004), Le Colzer *et al.* (2004), Leneveu *et al.* (2019), la mortalité pendant les premières 24h concerne surtout les porcelets de moins de 1 kg. Dans cette étude, c’est la seule classe de poids présentant un taux de pertes significativement différent des autres (Anova,  $p < 0,001$  ; 14,3% vs 4,0% pour les autres classes de poids). Dans les conditions de cette étude, la mortalité pendant les premières 24h n’est pas significativement liée à un choc thermique intense à la naissance (8,7% de pertes pour les porcelets à TempN < 35°C vs 5,0% pour ceux à TempN  $\geq 35^\circ\text{C}$  ; Anova,  $P=0,235$ ).

**2.3.2. Homéothermie des porcelets à 24h**

La Temp24 a été enregistrée sur 1562 porcelets de 125 portées. La moyenne est de 38,56°C et la dispersion moindre qu’à la naissance (Figure 1 ;  $\sigma = 0,66^\circ\text{C}$ ).

La Temp24 est significativement liée à l’interaction des facteurs PdN et TempN (Figure 2 ; Anova,  $P = 0,025$ ). La Temp24 est inférieure à 38,5°C pour 61% des porcelets de moins de 1kg à la naissance versus 27% dans la classe des plus de 1,5kg. Par classe de poids, seule la classe < 35°C de TempN est significativement liée à la Temp24 (juqu’à 1,5kg ; Figure 2).



**Figure 2** – Température moyenne à 24h (°C) des porcelets (nombre en haut de figure) en fonction de leur poids de naissance et, pour chaque classe de poids, en fonction de leur température à la naissance (n=1562). Des lettres (a ; b) différentes montrent une différence significative de Temp24 par classe de poids

**2.3.3. Gain de poids à 24 h et facteurs de variation « classiques »**

Le GP24 moyen est de 62 g (2352 porcelets). Il est bien inférieur au 88 g de Leneveu *et al.* (2019). Cet écart ne saurait s’expliquer par la prolificité (15,1 NV vs 15,7) ni le poids de naissance des NV (1,323 kg vs 1,312). La sélection des élevages de cette étude ciblant plus des élevages à taux de pertes élevés peut être une explication. Par contre, comme pour Leneveu *et al.* (2019), le GP24 augmente avec le poids de naissance. D’un point de vue pratique, ce n’est cependant pas une règle absolue : 26 % des porcelets pourtant de moins de 1kg ont un GP24 au-dessus de la moyenne et 19% des porcelets de plus de 1,5 kg ont un GP24 négatif. Le GP24 moyen des PQF baisse avec la taille de portée (1553 porcelets de 118 portées PQF).

2.3.4. GP24 et Homéothermie

A la différence du taux de pertes, le GP24 est significativement inférieur pour une température à la naissance inférieure à 35°C (Anova, P = 0,019).

Le GP24 est très significativement lié à la Temp24 (Anova, P < 0,001) sans interaction de celle-ci avec le poids de naissance. Toutes les classes de Temp24 diffèrent significativement les unes des autres (Figure 3 ; GP24 de haut de figure).

La figure 4 illustre ainsi que quelle que soit la classe de poids à la naissance, les porcelets qui ont un GP24 supérieur au GP24 moyen sont des porcelets avec une plus grande augmentation de température rectale entre la naissance et 24h de vie. Il ne faut toutefois pas oublier qu’une forte consommation de colostrum contribue aussi à réchauffer le porcelet. Le maintien de l’homéothermie du porcelet peut-être une condition nécessaire à une bonne prise colostrale, sans laquelle le porcelet manque de vigueur pour aller téter mais être aussi une conséquence de cette bonne prise colostrale.

Quoiqu’il en soit, le maintien de l’homéothermie du porcelet dans les heures qui suivent sa naissance passe par la limitation des pertes caloriques et une prise colostrale quantitativement suffisante. La Temp24 est alors un critère qui permet d’objectiver la maîtrise de ces points.

Concrètement, ce lien Temp24-GP24 tend alors à conforter les stratégies de réchauffement des porcelets, de mise à leur disposition d’un environnement suffisamment chaud et confortable.

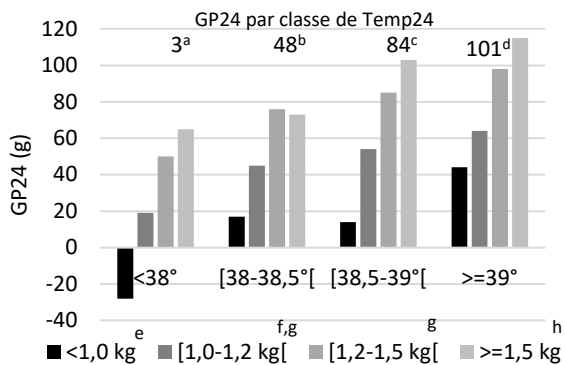


Figure 3 : Gain de Poids à 24h (g) des porcelets en fonction de leur température à 24h et leur poids de naissance (n= 1562 ; nombres en haut de figure = GP24 moyen (g) par classe de Temp24). Des lettres (a ; b ; c ; d pour les classes de température ou e ; f ; g ; h pour les classes de poids) différentes montrent une différence significative

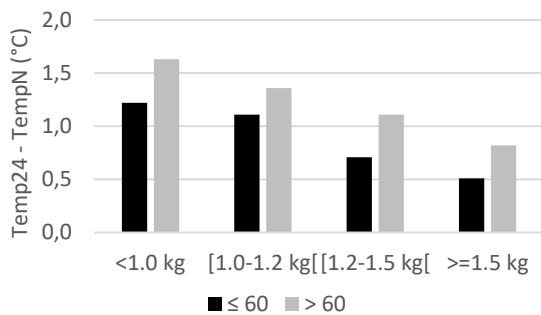


Figure 4 : Variation de la température rectale (Temp24 – TempN) des porcelets en fonction de leur niveau de GP24 (≤ ou > 60g) et de leur poids de naissance (n= 1562)

2.4. Confort

2.4.1. Zone de mise bas

La température moyenne de la zone de mise bas est de 22,1°C +/-2,2 (Mini 17,0 ; Maxi 29,4°C). Conformément à Le Dividich et Noblet (1981), elle impacte significativement la TempN (Krsukall Wallis ; P < 0,001) et notamment le pourcentage de porcelets de moins de 1kg avec une TempN inférieure à 35°C : 27,4% lors de zone de mise bas à moins de 20°C versus 12,3% lors de zone de mise bas à plus de 24°C (Anova, P= 0,05).

2.4.2. Nids à porcelet

La température moyenne du nid est de 31,2°C +/-4,5 (Mini 19,8 Maxi 47,5°C). Seuls 20% sont dans la zone de 34-40°C recommandée par l’IFIP. La surface des nids et leur usage par les porcelets n’ont pas été évalués.

La température du nid impacte significativement la Temp24 des porcelets jusqu’à 1,2kg, a une tendance sur le % de pertes mais est non significative sur le GP24 (Anova, respectivement P<0,001, P= 0,067, P=0,714)

Il est intéressant de remarquer que la recommandation de l’IFIP est graphiquement la configuration pour laquelle les taux de pertes sont les moins élevés pour 3 des 4 classes de poids à la naissance (Figure 5).

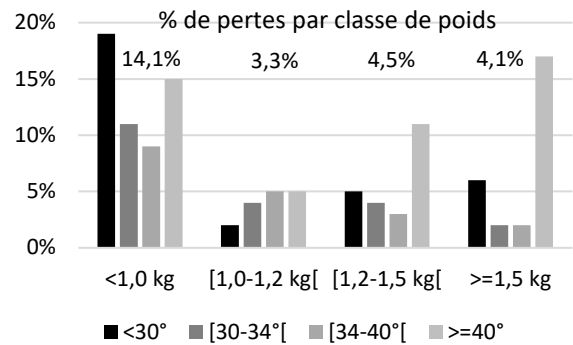
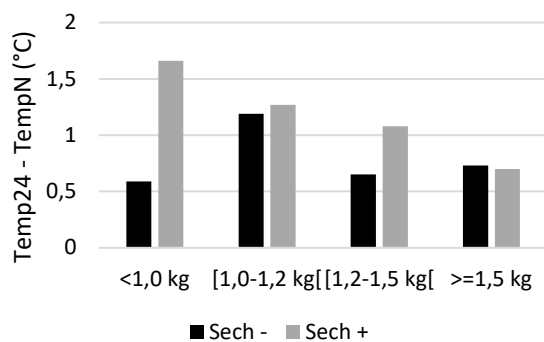


Figure 5 - % de pertes à 24h par classe de poids de porcelets à la naissance en fonction de la température de nid (n= 2387 ; % du haut de figure = % de pertes par classe de poids)

2.4.3. Effet du séchage

Cette pratique est élevage dépendant : 12 ne le pratiquent pas du tout, 7 l’effectuent sur tous les porcelets et 6 sur seulement une partie des porcelets. Il est intéressant de noter que le séchage est mis en œuvre significativement plus fréquemment dans les élevages au sein desquels la température de la zone de mise bas est inférieure à 22°C (78% vs 55% ; Chi deux, P<0,001). C’est-à-dire dans des élevages où le risque de choc thermique à la naissance est plus important.

La figure 6 décrit, pour chacune des classes de poids à la naissance, l’efficacité du séchage sur la remontée de température entre la naissance et 24h. Le séchage réduit significativement la mortalité 24h (Anova ; P < 0,001). Ces constats peuvent expliquer l’absence de lien décrit auparavant entre intensité du choc thermique à la naissance et le % de pertes puisque ce stress thermique peut être contrecarré par le séchage.



**Figure 6** - Gain de température rectale entre la naissance et 24h de vie en fonction du poids de naissance et du séchage des porcelets (n= 1562)

Si l'on considère la population totale, le séchage a un impact significatif sur le GP24 (Anova,  $P = 0,019$ ). Pris indépendamment les uns des autres, seule la classe 1,2-1,5 kg présente une différence significative ( $P = 0,03$ ). Une tendance est observée pour la classe des moins de 1 kg, deux fois moins nombreuse ( $P=0,07$ )

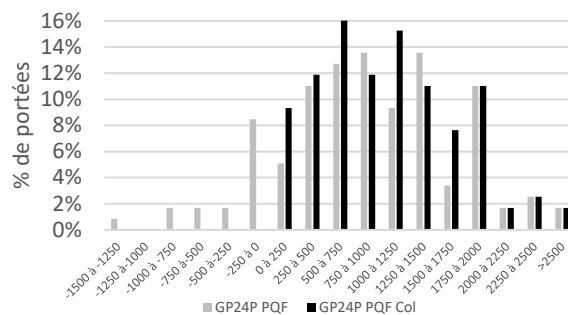
### 2.5. Portées Franches

#### 2.5.1. Gain de poids de portée et production colostrale

Sur les 118 portées PQF, 11 avaient plus de trois morts à 24h (10% des PQF). Cela justifie les formules proposées pour évaluer la croissance de la portée au 1.2.3 (correction du nombre de porcelets suivis en prenant en compte le % de pertes à 24h).

Le GP24 PQF est de 886 g +/- 786, le GP24 PQF Col de 1053 g +/- 637. La figure 7 illustre bien la différence de résultats obtenus en fonction des deux types d'approches.

Cette moyenne et cette distribution hétérogène des GP24P PQF (Figure 7) sont divergentes de celles observées par Leneveu *et al.* (2019). Pour Leneveu *et al.* (2019) la moyenne était de 1 508 g (27 portées avec 100% de NV suivis et sans adoptions) et il n'y avait que 2 portées (7%) à moins de 1000 g de croissance (vs 57% ici).



**Figure 7** - Distribution des gains de poids de portée (GP24 PQF ou GP24 PQF Col en g ; n= 118 portées)

Dans notre étude, on retrouve des portées à faible croissance dans l'ensemble des élevages. La fréquence de portées à faible croissance est donc remarquable. Or cette observation de nombreuses portées à faible croissance a aussi été faite dans des évaluations de prises colostrales effectuées au sein d'élevage à fort taux de pertes sous la mère (données internes Ceva), taux de pertes élevé qui était justement un des critères de sélection de la présente étude. Cette observation qui n'avait pas été suspectée à l'origine, représente donc un apport majeur de l'étude. L'étude montre que, indépendamment d'une approche individuelle sur la qualité de la prise colostrale des porcelets, il faut aussi prendre en compte un facteur « truie ».

#### 2.5.2. Facteurs de variation de la production colostrale

La production colostrale est abordée ici au travers du critère GP24 PQF Col. Les portées sont réparties en 4 classes par pas de 500 g (Tableau 1). Par construction, plus le GP24 PQF Col est important, plus le GP24 moyen par portée augmente. Il est intéressant de relever que la Temp24 moyenne des portées suit la même évolution mais sur une très faible variation quand celle du % moyen de porcelets avec une Temp24 inférieure à 38,5°C, (la moyenne de Temp24 sur l'étude) est beaucoup plus discriminante.

Au vu des données générales de l'étude, il n'y a pas d'éléments pour incriminer la qualité et la vigueur des porcelets qui pourrait conduire à de faibles croissances de portée par défaut de stimulation des truies.

**Tableau 1** – Reflet de la production colostrale des truies par le critère GP24 PQF Col.

Ventilation en quatre groupes : description et valeurs des possibles facteurs de risque de sous production

Gain de poids de portée, GP24 PQF Col	< 500 g	[500-1000 g[	[1000-1500 g[	> 1500 g
Descriptif				
-Nombre de portées	25	33	31	29
-GP24 moyen des porcelets par portée (g)	-11	40	87	126
-Temp24 (°C)*	38,39	38,50	38,54	38,68
-% de porcelets avec temp24 < 38,5°C*	84	64	59	42
Critères étudiés :				
-Parité moyenne	3,5	3,6	4,3	4,0
-Nés Totaux	15,1	16,1	15,3	16,9
-% morts Nés	7,14	7,52	8,45	5,52
-% de déclenchement de mise bas	40	24	48	28
-Durée de mise bas	3h09	3h16	2h57	3h18
-Poids de naissance (NT en kg)	1,341	1,293	1,313	1,358
-TempN des nés vivants*	37,86	37,79	37,46	37,72

\* sur 76 portées

Néanmoins, l'analyse des facteurs de risques discutés dans la littérature (Foisnet *et al.*, 2010 ; Quesnel 2011 ; Quesnel *et al.*, 2012) et enregistrés dans notre travail a inclus des critères porcelets (Tableau 1).

Aucun des critères étudiés ne ressort statistiquement significatif, la valeur de P la plus faible étant de 0,2.

Au vu des effectifs de cette étude de 118 PQF, un manque de puissance statistique paraît peu probable. Mais mis à part le % de mort nés qui est au plus bas pour les truies fortes productrices, aucun autre critère ne se dégage non plus numériquement. Le nombre de morts nés par truie est pourtant un facteur de risque de faible production colostrale identifié par Quesnel (2011).



L'état de santé des truies pourrait être une hypothèse mais Klopfenstein *et al.* (1997) ont montré dans un suivi de 111 truies que les portées à problèmes (faibles croissances de portée ou mortalité élevée) ne se caractérisaient pas par des signes cliniques sur les truies ou par une hyperthermie de celles-ci. Par contre les 26% de portées caractérisées à problème présentaient une qualité du lait différente. L'origine du problème est alors peut-être à chercher dans la lactogénèse (Quesnel *et al.*, 2012) en lien avec l'alimentation de la truie hyperprolifère. Très pratiquement, relevons que les données d'abreuvement péri-mise bas nous font défaut ici. Or il est décrit un sur-abreuvement spontané des truies la veille de la mise bas (Klopfenstein, 2003). Une non-satisfaction de ce besoin dans un contexte de truie prolifère pourrait être une hypothèse de travail.

Mais il faut sans doute envisager aussi des aspects individuels des truies. F Paboeuf (Anses Ploufragan) signale un effet répétable de la croissance à 24h entre portées successives des truies (comm. pers. ; suivi de la station de Ploufragan).

## CONCLUSION

Ce travail a permis de revisiter les travaux de Pattison *et al.* (1990) et de montrer qu'ils sont toujours d'actualité. Bien que bon nombre d'entre nous aient eu à se référer à ces auteurs, il est beaucoup plus marquant et pédagogique en élevage de

simplement prendre la température des porcelets à la naissance pour illustrer le choc thermique qu'ils subissent dans les premiers moments de leur vie. La température de la zone de mise bas influe sur l'importance de ce choc thermique. Mais attention à ne pas gêner les truies dans leur parturition. Eviter des températures inférieures à 22°C dans la zone de mise bas et éviter les flux d'air ascendants par un tapis jetable sont sans doute des actions suffisantes quand elles sont couplées à une attention du confort thermique des porcelets le premier jour de vie.

Ce travail montre en effet à quel point la lutte contre le refroidissement et le réchauffement des porcelets par la technique du séchage associés à une température de nid adaptée sont primordiaux. Tout cela complète pratiquement les facteurs de risques de défaut de prise colostrale en élevage.

Mais avec le critère de prise de température rectale à 24h, cette étude ouvre aussi la perspective à un indicateur plus simple à mettre en œuvre que des pesées à 24h pour qualifier globalement la prise colostrale en élevage.

Reste que la détection de nombreuses portées à faible croissance est une surprise par son ampleur dans ces élevages sélectionnés pour des pertes sur nés vivants élevés ou pour une suspicion quant à la qualité de la prise colostrale. Cela montre qu'il y a un facteur qui dépasse le suivi usuel des mises bas par les éleveurs et celui du personnel technique qui les encadrent. Il soulève un questionnement important qui devrait appeler de nouveaux travaux.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cariolet R., Le Diguierher G, Julou P., Rose N., Ecobichon P., Bougeard S., Madec F., 2004. Survie et croissance des porcelets au stade maternité dans l'unité EOPS de l'AFFSA Ploufragan. Journées Rech. Porcine, 36, 435-442
- Devillers N., van Milgen J., Prunier A., Le Dividich J, 2004. Estimation of colostrum intake in the neonatal pig. Animal Science, 78, 305-313
- Foisnet A., Boulot S., Passet M., Farmer C., Quesnel H., 2010. L'induction de la mise bas affecte-t-elle la production de colostrum chez la truie ? Journées Rech. Porcine, 42, 15-20
- Klopfenstein C., Bigras-Poumin M., Martineau G.P., 1997. La "fièvre chez la truie" : un indicateur des problèmes de lactation en néonatalogie porcine ? Journées Rech. Porcine, 29, 53-58
- Klopfenstein C., 2003. Variation temporelle en période péri-partum des caractéristiques comportementales et physiologiques des truies allaitant les portées à croissance faible et normale. Thèse 165p. Université de Montréal
- Le Cozler Y. Pichodo X., Roy H., Guyomarc'h C., Pellois H., Quiniou N., Louveau L., Lebreton B., Lefaucheur L., Gondret F., 2004. Influence du poids individuel et de la taille de portée à la naissance sur la survie du porcelet, ses performances de croissance et d'abattage et la qualité de viande. Journées Rech. Porcine, 36, 443-450
- Le Dividich J. et Noblet J., 1981. Colostrum intake and thermoregulation in the neonatal pig in relation to environmental temperature. Biol. Neonate, 40, 167-174
- Le Dividich J., 2006. Les enjeux du colostrum. In Expo-congrès du porc du Québec. pp. 49-72.
- Leneveu Ph., Launay B., Jardin A., Creac'h P., Schüller V., Leblanc Maridor M., Belloc C. 2019. Prise colostrale en élevage porcin : analyse des facteurs de variation dans 10 élevages de production. Journées Rech. Porcine, 51, 272-276
- Pattison R., English P., MacPherson O., Roden J., Birnie M., 1990. Hypothermia and its attempted control in newborn piglets. Proceedings of the British Society of Animal Production (1972), 1990, 81-81
- Quesnel H., 2011. Colostrum production by sows: Variability of colostrum yield and immunoglobulin G concentrations. Animal, 5(10), pp.1546-1553.
- Quesnel H., Farmer C., Devillers N., 2012. Colostrum intake: Influence on piglet performance and factors of variation. Livestock Science, 146 (2-3), pp.105-114.
- Xiong Y., Gates R., Cooper N., Ellis M., 2018. Neo-natal piglet core temperature model from surface temperature and environment measurements. 10th International Livestock Environment Symposium, ILES18, 128, 1-12

# Evaluation de protocoles associant tranquillisation, analgésie et anesthésie lors de la castration des porcelets

Valérie COURBOULAY (1), Christine FILLIAT (2), Marie LEFRANÇOIS (3), Armelle PRUNIER (4), Céline TALLET (4),  
Gwenola TOUZOT-JOURDE (5), Françoise POL (3, 5)

(1) IFIP - Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex, France

(2) Vetopole 26, 26300 Châteauneuf-sur-Isère, France

(3) Anses, B.P. 53, F-22440 Ploufragan, France

(4) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles, France

(5) ONIRIS, Site de la Chantrerie-CS 40706, FR-44307 Nantes Cedex 3, France

valerie.courboulay@ifip.asso.fr

Avec la collaboration de Romain RICHARD, Lorena GIRRE, Carole GUÉRIN et du personnel de la station de Romillé

## Evaluation de protocoles associant tranquillisation, analgésie et anesthésie lors de la castration des porcelets

Cinq protocoles combinant tranquillisation, anesthésiques et analgésique ont été évalués dans le cadre du projet CasDAR Farinelli. 72 portées ont été attribuées au hasard à l'un des six traitements : 1) sans soulagement de la douleur (Contrôle), 2) injection de méloxicam et anesthésie générale par inhalation d'isoflurane (Melo/Iso), 3) méloxicam et injection intra-testiculaire de lidocaïne (Melo/Lido), 4 et 5) lidocaïne et phytothérapie administrée avant et après la castration, soit oralement aux porcelets (4-Lido/PhytoP), soit aux truies (5- Lido/PhytoT), 6) méloxicam, application de spray froid, puis incision du scrotum et administration d'un gel (Tri-Solfen<sup>®</sup>) dans la plaie (Melo/Tri). Les porcelets ont été observés pendant les injections et la castration, et leurs vocalisations enregistrées. Le taux de cortisol plasmatique de deux porcelets par portée a été mesuré 30 minutes après la castration. Le comportement de trois autres porcelets a été observé pendant 1h, commençant 15 min, 5h, 24h et 48h après la castration. La cicatrisation des plaies a été suivie. Les porcelets Melo/Iso n'expriment aucune réaction lors de la castration, mais présentent des teneurs en cortisol plus élevées que les porcelets Melo/Lido et Melo/Tri ( $P < 0,05$ ). Le traitement Melo/Tri provoque le plus de réactions lors de la castration, partiellement dues à l'application du froid, et un moins bon état des plaies à 24h. Le méloxicam semble atténuer la douleur avec moins de porcelets prostrés, désynchronisés du reste de la portée et inactifs. La phytothérapie administrée à la truie a été associée à une légère réduction de la durée de la castration. Les traitements combinant anesthésie locale par voie intra-testiculaire ou topique et méloxicam semblent les plus prometteurs pour une utilisation en élevage.

## Evaluation of protocols combining tranquillisation, analgesia and anaesthesia during piglet castration

Within the Farinelli project, five protocols that combined tranquillisation, anaesthetics and analgesics to reduce pain in piglets during and after castration were evaluated. Seventy-two litters were randomly assigned to one of the following treatments: 1) no pain relief (Control), 2) meloxicam injection and general anaesthesia with isoflurane inhalation (Melo/Iso), 3) meloxicam and intratesticular lidocaine injection (Melo/Lido), 4 and 5) lidocaine and phytotherapy administered three days before and two days after castration, either orally to piglets (4-Lido/PhytoP) or to sows (5- Lido/PhytoT), and 6) meloxicam, cold spray prior to scrotal incision and then administration of a gel composed of two local anaesthetics, an antiseptic and a haemostatic (Melo/Tri) in the wound. The piglets were observed during the injections and castration, and their vocalisations were recorded. For each litter, the plasma cortisol level of two piglets was measured 30 min after castration, and the behaviour of three other piglets was observed for 1 h, starting 15 min, 5 h, 24 h and 48 h after castration. Wound healing was recorded the following day. Melo/Iso piglets expressed no reaction to castration but had higher cortisol levels than Melo/Lido and Melo/Tri piglets ( $P < 0.05$ ). The Melo/Tri treatment caused the most agitation and louder vocalisations at castration, mainly due to the cold spray, and worse wound condition the following day. After castration, meloxicam appeared to reduce pain, with fewer prostrate piglets that were out of sync with the rest of the litter and inactive. Phytotherapy administered to sows slightly decreased the duration of castration of their piglets. Treatments that combined lidocaine or Tri and meloxicam seem the most promising.

## INTRODUCTION

L'agriculture biologique offre aux porcs des conditions d'élevage favorables à leur bien-être : surfaces plus élevées, mise à disposition de paille et accès à l'extérieur, limitation des interventions sur les animaux. Néanmoins, pour garantir une viande de qualité, les éleveurs ont recours à la castration, pratiquée le plus souvent sans anesthésie et/ou analgésie. Pour améliorer le bien-être des animaux et éviter la douleur et le stress liés à cette pratique, l'arrêt de la castration ou une meilleure prise en charge de la douleur sont possibles. Le projet CasDAR Farinelli explore ces deux voies, (1) en évaluant la possibilité de produire des mâles entiers et (2) en testant différents protocoles pour réduire le stress et la douleur lors de la castration.

A partir des nombreux travaux sur la prise en charge de la douleur lors de la castration des porcelets, Prunier *et al.* (2020) ont identifié deux protocoles prometteurs, combinant d'une part une analgésie avec un anti-inflammatoire non stéroïdien (AINS) et d'autre part une anesthésie, soit locale par injection intra-testiculaire, soit générale par inhalation d'isoflurane. Dans le premier cas, la douleur est effectivement réduite, mais le porcelet réagit lors de l'intervention. L'association analgésie et anesthésie générale sous isoflurane est, a priori, la meilleure méthode pour supprimer la douleur pendant l'intervention si elle est correctement réalisée.

Une autre solution d'anesthésie locale a été développée en Australie pour les interventions sur agneaux et veaux. Il s'agit d'un gel, le Tri-Solfen®, composé de deux anesthésiques (lidocaïne et bupivacaïne), d'un antiseptique (cétrimide) et d'adrénaline pour l'hémostase. Appliqué sur le cordon spermatique, après incision du scrotum, il permet une réduction de la réactivité des porcelets lors de la castration (Sheil *et al.*, 2020).

Toute intervention génère des manipulations stressantes pour les porcelets (Marchant-Forde *et al.*, 2014). Une tranquillisation permettrait de limiter ce stress, réduire les mouvements des animaux, et faciliter une bonne réalisation des protocoles de gestion de douleur. La phytothérapie est une voie possible de tranquillisation, plébiscitée en agriculture biologique notamment. Elle est toutefois peu documentée chez le porc. Deux des protocoles du projet Farinelli explorent cette voie, en association avec de l'anesthésie locale, en utilisant une préparation administrée à la truie (transfert mammaire) ou aux porcelets. L'objet de cette expérimentation est d'évaluer cinq protocoles de prise en charge de la douleur et du stress, et de les comparer à un témoin sans aucun traitement. Elle est réalisée avec des porcs en production conventionnelle, afin d'identifier les protocoles les plus prometteurs ; dans un second temps, ceux-ci seront testés dans des élevages en production biologique pour en évaluer la faisabilité et préciser les conditions de mise en œuvre. De nombreux indicateurs sont utilisés pour avoir une évaluation complète des effets, favorables ou non, sur la réduction de la douleur lors de la castration, mais aussi des effets à moyen terme, ainsi que sur le temps de travail généré par les interventions.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Conditions expérimentales

L'essai se déroule à la station expérimentale de Romillé, sur les animaux de quatre bandes successives de 24 truies élevées dans une salle unique. La température est régulée et la moyenne de la salle lors des essais est de 23,2°C (+/- 0,9°C).

Pour chaque bande, 18 truies sont sélectionnées pour l'essai en fonction du nombre de porcelets mâles présents et de la date de mise bas, pour exclure les truies qui ont eu une mise bas décalée par rapport aux autres. Des adoptions sont réalisées si nécessaire après 24 heures pour disposer d'au moins cinq mâles par portée. Les traitements sont attribués alternativement à chaque portée dans l'ordre des mise-bas.

À la naissance, plusieurs interventions sont réalisées sur les porcelets : identification, pesée, soins du cordon, meulage des dents, coupe de la queue et injection de fer. Le jour de l'essai, les cinq mâles de la portée ayant les plus petits numéros de boucles sont pesés et observés pour détecter d'éventuelles hernies inguinales qui entraînent leur remplacement par un autre mâle de la portée. Ils sont identifiés par un numéro, de 1 à 5. A l'exception des porcelets du traitement Contrôle, ils reçoivent dans cet ordre le traitement qui les concerne. Ces cinq porcelets sont ensuite placés dans une caisse posée dans la case de mise-bas avant d'être transférés dans une autre salle où ils sont castrés, 15 minutes après administration du traitement, s'il y a un.

### 1.2. Traitements

Tous les porcelets d'une même portée reçoivent le même traitement ; dans une bande, trois portées sont affectées par traitement. Les six traitements et le moment d'administration des produits sont détaillés au tableau 1. La solution de phytothérapie est une préparation composée de jasmin (*Gelsemium sempervirens*), valériane (*Valeriana officinalis*), camomille (*Chamomilla vulgaris*), belladone (*Atropa belladona*), millepertuis perforé (*Hypericum perforatum*) et de houblon (*Humulus lupulus*) en solution alcoolique diluée et dynamisée. Elle est distribuée le matin sur l'aliment pour les truies du traitement Lido/PhytoT (3 ml/truie/jour) ou à l'aide d'une seringue dans la gueule des porcelets du traitement Lido/PhytoP (1 ml/ porcelet /jour) sur une période allant de trois jours avant la castration jusqu'à deux jours (Lido/PhytoP) ou trois jours après (Lido/PhytoT). Le jour de l'essai, la distribution à la truie a lieu avant les autres interventions ; pour les porcelets, l'administration se fait 15 minutes avant la castration, avec l'injection de lidocaïne.

**Tableau 1** – Description des six traitements et des protocoles médicamenteux associés

Traitement	Molécule ou médicament	Délai administration / castration
Contrôle	-	-
Melo/Iso	Méloxicom Isoflurane	15 min 90 sec
Lido/PhytoP	Phytothérapie Lidocaïne	15 min 15 min
Lido/PhytoT	Phytothérapie Lidocaïne	Repas du matin 15 min
Melo/Lido	Méloxicom Lidocaïne	15 min 15 min
Melo/Tri	Méloxicom Bombe froid Gel	15 min Avant incision scrotum 30 sec avant extraction des testicules

La lidocaïne (Laocaïne® 2%, 16,2 mg/ml de lidocaïne) est injectée à raison de 0,5 ml dans chaque testicule avec une seringue de 1 ml. Le méloxicom (Metacam®, 20 mg/ml) est injecté par voie intramusculaire au niveau du cou en dose unique de 0,2 ml/porcelet. Phytothérapie, lidocaïne et méloxicom sont administrés dans la salle de maternité.

Les porcelets Melo/Iso sont placés dans l'un des trois berceaux de contention de l'appareil d'anesthésie générale PorcAnest® (Promatec). Leur tête est insérée dans un masque et ils reçoivent alors un mélange constitué de 5% d'isoflurane (Iso-VET®) et d'air pendant 90 secondes avant d'être castrés. Les porcelets de tous les autres traitements sont castrés dans un dispositif de contention en entonnoir qui dispose d'une barre ajustable pour immobiliser les membres arrière du porcelet. Pour les porcelets Melo/Tri, une insensibilisation avec une bombe froid est réalisée préalablement à l'incision du scrotum et de la tunique, pour limiter la douleur (Lomax *et al.*, 2017). Après incision, 1 ml de gel est administré par voie sous-cutanée via une canule à bout rond insérée dans chacune des brèches cutanées et déposé dans le creux de l'aîne à proximité du cordon testiculaire. L'extraction des testicules et la castration sont réalisées 30 secondes plus tard.

Pour tous les porcelets, la castration est réalisée par une double incision du scrotum, extraction de chaque testicule et section du cordon testiculaire au scalpel. Les porcelets sont ensuite replacés dans une caisse, puis ramenés en maternité où un antiseptique (Vétédine®) est appliqué sur la plaie avant de les replacer dans la case de mise-bas.

### 1.3. Mesures

Les porcelets sont pesés à la naissance, le jour de la castration, le lendemain et au sevrage.

L'activité des porcelets est qualifiée par un score de mouvement au moment de l'administration des traitements (0 = immobile à 2 = mouvements pendant plus de 50% de la procédure). Lors de la castration, le nombre de mouvements de la patte arrière gauche est compté via un enregistrement vidéo. L'expression de cris pour chaque intervention est relevée. L'intensité maximale des cris est mesurée par deux sonomètres placés à distance constante de la tête de l'animal, l'un en maternité, l'autre dans la salle de castration.

La durée totale des procédures est notée. Pour l'administration des médicaments, l'enregistrement démarre quand l'opérateur prend le porcelet pour lui administrer le ou les traitements, jusqu'au moment où il le repose dans la caisse. Pour la « castration », l'enregistrement démarre au moment de la première incision du scrotum et s'achève à la section du deuxième cordon spermatique. Pour pouvoir évaluer l'ensemble du temps d'intervention pour chaque traitement, les 90 secondes d'anesthésie préalable ont été incluses dans la durée de la castration pour Melo/Iso et l'enregistrement a débuté à l'application du froid pour Melo/Tri.

Après la castration, les porcelets numérotés 2, 3 et 4 sont observés en continu pendant une minute dans la caisse en salle de castration via un enregistrement vidéo : la durée des comportements non spécifiques et des comportements potentiellement indicateurs de la douleur, ainsi que la position de la queue, la posture et la démarche sont notés. En maternité, 15 minutes, 5h, 24h et 48h après la castration, ces mêmes porcelets sont observés toutes les dix minutes pendant une heure. Les comportements potentiellement indicateurs de douleur (prostration...) et les comportements non spécifiques (exploration ...), les postures, la démarche, la distance par rapport à la truie et aux autres porcelets et la localisation des porcelets sont relevés selon un éthogramme détaillé.

Un prélèvement sanguin est réalisé au niveau de la veine jugulaire 30 minutes après la castration sur les porcelets 1 et 5. Un dosage de cortisol est ensuite réalisé sur le plasma par immunoluminescence (ST AIA PACK-CORT, Tosoh).

L'état de la plaie est évalué le lendemain de la castration sur tous les porcelets, avec un score global (0 à 9) additionnant les notes de gonflement, de rougeur et de présence d'hématome (0 à 2), de suintement (présence / absence), et d'écartement des bords de la plaie (inférieur ou égal à 2 mm, compris entre 3 et 4 mm ou supérieur à 4 mm). Le score obtenu est transformé en une note de 0 (scores 0 à 2), de 1 (scores >2 et < 5) ou 2 (scores 5 et plus).

### 1.4. Analyse des données

L'unité expérimentale est le porcelet. Les variables quantitatives sont analysées telles quelles ou après transformation en racine carrée (cortisol, comportement inactif, mouvement lors de la castration). La durée des interventions, l'intensité des cris, l'agitation lors de la castration et le comportement d'exploration (en salle de castration) sont analysés avec un modèle linéaire mixte en prenant en compte comme effet fixe le traitement et comme effet aléatoire la bande. Pour le GMQ, la portée est ajoutée en effet aléatoire et le poids initial en covariable. Pour le cortisol, le traitement et l'ordre de prélèvement intra portée sont pris comme effets fixes, la bande en effet aléatoire et l'âge du porcelet comme covariable. L'analyse de l'intensité des cris est faite sur les porcelets ayant crié, pour lesquels la mesure excède 60 dB, cette valeur correspondant au bruit de fond de la salle.

L'agitation lors de l'administration des traitements, la note de plaie, la position de la queue, la démarche des porcelets et la position par rapport aux autres animaux sont analysées suivant un modèle mixte ordinal, en prenant en compte comme effet fixe le traitement et comme effet aléatoire la bande.

Les variables de comportement sont transformées en variables binaires. Le comportement et l'expression de cris sont analysés avec un modèle mixte logistique avec comme effet fixe le traitement et comme effet aléatoire la bande. Pour chaque comportement, la somme des occurrences est réalisée pour chaque porcelet et chaque heure d'observation, donnant une valeur comprise entre 0 et 7. Pour le comportement « repos », très fréquent, si la somme est inférieure à 4, la variable est codée 0, et 1 dans le cas contraire. Pour les autres comportements, plus rares, la variable est codée 1 si le comportement a été exprimé au moins une fois.

Des comparaisons de moyennes sont faites avec un test de Sidak pour les modèles mixtes linéaires et logistiques.

Le traitement Melo/Iso a été écarté pour les analyses lors de la castration et dans la caisse puisque les porcelets, étant anesthésiés puis en phase de réveil, n'ont réalisé aucun mouvement ni vocalisation.

Les analyses statistiques sont réalisées sur RStudio (version 4.0.0) à l'aide du package lme4 pour les modèles mixtes de régressions linéaire et logistique, du package ordinal pour les modèles mixtes de régression ordinale et du package emmeans pour les comparaisons entre les traitements. Les résultats présentés sont les moyennes et écarts-types des variables.

## 2. RESULTATS

Sur les 360 porcelets inclus dans l'essai, quinze sont morts, pour des raisons indépendantes de l'expérience, dans l'intervalle allant de 48h après la castration au sevrage : deux porcelets dans chacun des traitements Melo/Iso, Melo/Lido, Lido/PhytoT, quatre pour le Contrôle et cinq pour Lido/PhytoP.

## 2.1. Observations lors des interventions

Les données relevées lors de l'administration des produits et lors de la « castration » figurent au tableau 2. Le temps mis à administrer les produits varie significativement entre traitements ( $P < 0,001$ ) ; il augmente progressivement au cours

du passage d'une injection intramusculaire simple (Melo/Iso et Melo/Tri, durée inférieure à 6 s), à une injection intratesticulaire (Lido/PhytoT, 18,7 s), et à la réalisation de ces deux interventions (Melo/lido, 26 s). La durée la plus élevée concerne le traitement Lido/PhytoP (31,5 s).

**Tableau 2** – Durée de l'intervention, cris et mouvements des porcelets lors de l'administration des traitements (A) et de la castration (C) selon le protocole de prise en charge de la douleur (moyenne et écart-type)

Mesure/ Moment		Traitement						<sup>1</sup> Effet Trait <sup>t</sup>
		Contrôle	Melo/Iso	Lido/PhytoP	Lido/PhytoT	Melo/Lido	Melo/Tri	
Durée, s <sup>2,5</sup>	A		6,0 ± 2,3 <sup>a</sup>	31,5 ± 5,2 <sup>d</sup>	18,7 ± 3,1 <sup>b</sup>	26 ± 3,3 <sup>c</sup>	5,1 ± 0,6 <sup>a</sup>	***
	C	21,3 ± 4,7 <sup>b</sup> (b)	106,0 ± 4 <sup>c</sup> (d)	21,2 ± 6,3 <sup>ab</sup> (ab)	19,2 ± 5,7 <sup>a</sup> (a)	20,5 ± 6,3 <sup>ab</sup>	100,7 ± 7,2 <sup>c</sup> (87,7 ± 7,3 <sup>c</sup> )	*** (***)
% porcelets ayant crié <sup>3</sup>	A		25,0 <sup>a</sup>	83,3 <sup>b</sup>	63,3 <sup>b</sup>	76,7 <sup>b</sup>	21,7 <sup>a</sup>	***
	C	100,0	/	98,3	88,3	93,3	100,0	NS
Intensité des cris, dB <sup>2,4,5</sup>	A		89,2 ± 13,9	101,2 ± 7,7	99,6 ± 8,9	101,2 ± 7,9	94 ± 12,6	NS
	C	103,9 ± 11,0 <sup>a</sup>	/	95,3 ± 13,2 <sup>b</sup> (ab)	94,8 ± 13,6 <sup>b</sup> (b)	93,2 ± 15,6 <sup>b</sup> (b)	103,1 ± 11,6 <sup>ab</sup> (93,9 ± 11,8 <sup>b</sup> )	*** (**)
Mouvements <sup>5</sup>	A <sup>6,7</sup>		84 / 13 / 2 <sup>a</sup>	11 / 16 / 73 <sup>b</sup>	20 / 36 / 44 <sup>b</sup>	16 / 29 / 56 <sup>b</sup>	67 / 27 / 7 <sup>a</sup>	***
	C <sup>2</sup>	12,1 ± 6,3 <sup>b</sup> (c)	/	6,9 ± 4,3 <sup>a</sup> (ab)	6,4 ± 4,8 <sup>a</sup> (a)	6,4 ± 5,1 <sup>a</sup> (a)	15,8 ± 6,8 <sup>c</sup> (9,9 ± 5,6 <sup>bc</sup> )	*** (***)

<sup>1</sup>NS : non significatif, \* :  $P < 0,05$ , \*\* :  $P < 0,01$ . Les lettres différentes sur une même ligne indiquent une différence à  $P < 0,05$ . <sup>2</sup>Modèle linéaire mixte ; effet fixe : traitement ; effet aléatoire : bande et portée (uniquement la bande pour les durées). <sup>3</sup>Modèle mixte logistique ; effet fixe : traitement ; effet aléatoire : bande.

<sup>4</sup>Analyse sur les porcelets ayant crié. <sup>5</sup>La donnée entre parenthèses correspond à la mesure des cris hors application de la bombe froide. <sup>6</sup>Modèle mixte ordinal, effet fixe : traitement et effet aléatoire : bande. <sup>7</sup>Les trois valeurs représentent le pourcentage de porcelets en score 0 (immobile), 1 et 2.

L'intensité maximale des cris des porcelets ne diffère pas entre traitements lors de l'administration du traitement ( $P > 0,05$ ) mais moins de porcelets Melo/Iso et Melo/Tri crient lors de cette administration ( $P < 0,001$ ). La durée de « castration » est plus élevée pour les traitements Melo/Iso et Melo/Tri comparativement aux autres traitements ( $P < 0,001$ ) du fait des temps d'attente. Cette durée est réduite pour les autres traitements par rapport au Contrôle, de façon significative pour Lido/PhytoT (19,2 s vs 21,3 s,  $P < 0,001$ ). Sur l'ensemble des deux interventions, tous les traitements diffèrent les uns des autres ( $P < 0,05$ ), la durée la plus courte étant observée pour le Contrôle et la plus longue pour Melo/Iso. La plupart des porcelets ont crié lors de la « castration » mais l'intensité maximale relevée est inférieure chez les porcelets Lido/PhytoT, Melo/Lido et Lido/PhytoP par rapport au Contrôle. Si l'on exclut la période d'administration de la bombe froide, on constate que tous les porcelets Melo/Tri crient mais que la valeur moyenne mesurée est inférieure. Dans ce cas, LidoPhytoT, Melo/Lido et Melo/Tri diffèrent du Contrôle (respectivement 94,8 dB, 93,2 dB et 93,9 dB vs 103,9 dB,  $P < 0,001$ ) et le traitement Lido/PhytoP est intermédiaire. Les porcelets Melo/Tri effectuent également le plus de mouvements lors de la « castration » ( $P < 0,001$ ) ; ils ne diffèrent plus des porcelets LidoPhytoP si l'on exclut la phase d'application de la bombe froide (9,9 ± 5,6 mouvements).

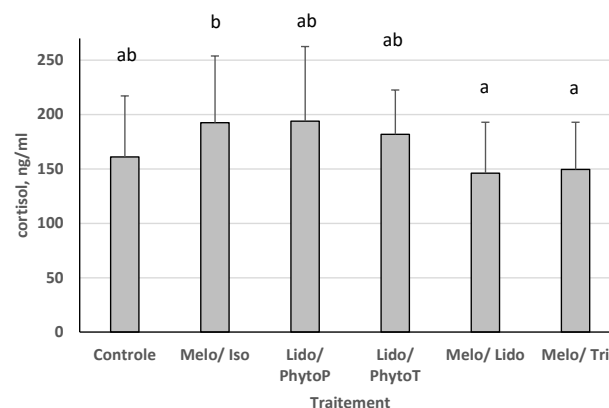
## 2.2. Indicateurs zootechniques, physiologiques et lésionnels

Le poids moyen des porcelets lors de la castration est de 2,30 kg ; il ne diffère pas entre traitements ( $P > 0,05$ ). La croissance après la castration est similaire dans les six traitements, que ce soit à J+1 (228 ± 162 g/j) ou jusqu'au sevrage (278 ± 60 g/j).

Les teneurs en cortisol plasmatique du traitement Melo/Iso sont significativement plus élevées que pour les traitements Melo/Lido et Melo/Tri (respectivement 192,4 - 146,1 et 149,6 ng/ml,  $P < 0,001$ ). Les autres traitements sont intermédiaires

(Figure 1).

Les notes de plaies (Figure 2), observées le lendemain de la castration, sont les meilleures pour Contrôle et les moins bonnes pour Melo/Tri ( $P < 0,001$ ). Les notes des porcelets des autres traitements sont intermédiaires et diffèrent significativement des notes extrêmes.



**Figure 1** – Taux de cortisol plasmatique 30 minutes après la castration selon le traitement (moyennes et écart-type)

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $P < 0,05$ )

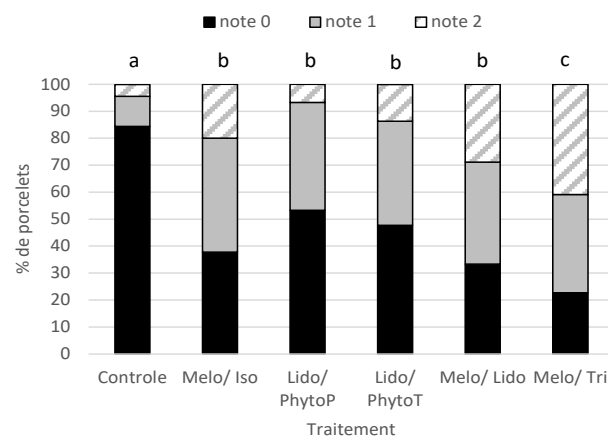
## 2.3. Comportement en maternité

Les comportements observés en salle de maternité ne diffèrent pas entre les porcelets des différents traitements ( $P > 0,05$ ).

Durant la première heure suivant la castration (Tableau 3), les porcelets Contrôle ont plus fréquemment un comportement désynchronisé (différent de celui exprimé par au moins 75% des porcelets non castrés) comparativement aux porcelets Melo/Lido et Melo/Tri ( $P < 0,01$ ). Les porcelets Lido/PhytoT et Lido/PhytoP sont plus nombreux à exprimer un comportement de prostration, avec la tête plus basse que les épaules, que les porcelets Melo/Iso ( $P < 0,01$ ).

Cinq heures après la castration, plus de porcelets du traitement Contrôle sont actifs à la tétée que ceux des traitements Melo/Lido et Melo/Tri et significativement moins de porcelets au repos, allongés avec les yeux fermés, par rapport à ceux des autres traitements ( $P < 0,001$ ), à l'exception de Melo/Lido. Les autres différences significatives concernent les comportements d'exploration et la position des membres (Tableau 3).

La tétée et l'exploration sont les seuls comportements présentant des différences 24 heures après la castration. L'exploration est plus fréquente chez les porcelets Melo/Tri que chez les porcelets Lido/PhytoP ( $P < 0,05$ ). A 48h, aucune différence entre traitements n'est observée.



**Figure 2** – Etat des plaies à J1 selon le traitement

Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $P < 0,05$ )

**Tableau 3** – Pourcentage de porcelets ayant exprimé le comportement au moins une fois ou quatre fois (Couché, yeux fermés) selon le protocole de prise en charge de la douleur (pour les indicateurs présentant des différences significatives, hors tétée)

Stade / indicateur	Traitement (T)						Effet T <sup>1</sup>
	Contrôle	Melo/Iso	Lido/PhytoP	Lido/PhytoT	Melo/Lido	Melo/Tri	
<b>1h</b>							
Désynchronisé	50,0 <sup>a</sup>	19,4 <sup>ab</sup>	30,6 <sup>ab</sup>	25,0 <sup>ab</sup>	13,9 <sup>b</sup>	11,1 <sup>b</sup>	*
Prostré	27,8 <sup>ab</sup>	19,4 <sup>b</sup>	55,6 <sup>a</sup>	52,8 <sup>a</sup>	30,6 <sup>ab</sup>	25,0 <sup>ab</sup>	**
Inactif	38,9	38,9	69,4	61,1	44,4	41,7	*
<b>5 heures</b>							
Membres post. allongés	44,4 <sup>b</sup>	83,3 <sup>a</sup>	66,7 <sup>ab</sup>	75,0 <sup>ab</sup>	75,0 <sup>ab</sup>	75,0 <sup>ab</sup>	**
Couché, yeux fermés <sup>1</sup>	52,8 <sup>b</sup>	86,1 <sup>a</sup>	94,4 <sup>a</sup>	91,7 <sup>a</sup>	75,0 <sup>ab</sup>	91,7 <sup>a</sup>	**
Explore	63,9 <sup>a</sup>	50,0 <sup>ab</sup>	22,2 <sup>b</sup>	47,2 <sup>ab</sup>	66,7 <sup>a</sup>	44,4 <sup>ab</sup>	**
Recroquevillé	13,9	11,1	16,7	25,0	19,4	38,9	t
<b>24 heures</b>							
Explore	52,3 <sup>ab</sup>	52,3 <sup>ab</sup>	27,8 <sup>b</sup>	52,3 <sup>ab</sup>	44,4 <sup>ab</sup>	63,9 <sup>a</sup>	0,07

<sup>1</sup>NS : non significatif, t :  $P < 0,1$ , \* :  $P < 0,05$ , \*\* :  $P < 0,01$ . Des lettres différentes sur une même ligne indiquent une différence à  $P < 0,05$ .

### 3. DISCUSSION

#### 3.1. Douleur et stress associés à l'administration des traitements

Quels que soient les traitements, une grande variabilité de la réponse des porcelets à l'administration des traitements a été observée, certains ne réagissant pas du tout. L'injection intratesticulaire provoque plus de réactions que l'injection intramusculaire. Différentes hypothèses peuvent expliquer ce résultat, comme le mode de contention des porcelets, le site d'injection et les tissus traversés au niveau des testicules. La durée d'intervention plus longue accentue les réponses des porcelets. En effet, si les trois traitements utilisant la lidocaïne ne diffèrent pas significativement pour les indicateurs de réactivité, il est constaté une variabilité dans le nombre et l'intensité des réactions, qui pourrait être mise en lien avec la durée de manipulation des porcelets (Marchant-Forde *et al.*, 2014) et la variété des postures imposées aux animaux. L'administration orale de phytothérapie, répétée plusieurs jours avant la castration, a pu amplifier le phénomène et n'a finalement pas diminué la réponse à l'injection ; les porcelets étaient en fait beaucoup plus agités lors de l'administration des traitements.

#### 3.2. Tranquillisation et anesthésie générale

Deux voies de tranquillisation ont été utilisées. La préparation magistrale de phytothérapie utilisée dans l'essai a un effet limité sur la tranquillisation des porcelets, que ce soit au moment de l'administration des produits ou de la castration.

L'administration directe au porcelet servait de témoin pour évaluer l'efficacité d'un transfert transmammarie, déjà montré pour les AINS (Coetzee *et al.*, 2019). Quand la phytothérapie est administrée à la truie, le temps mis à castrer les porcelets est plus faible que pour le Contrôle, ce qui conforte cette hypothèse. Par contre, l'administration répétée de phytothérapie aux porcelets s'avère stressante, à court et moyen terme.

L'anesthésie générale était une autre voie explorée, déjà utilisée par les éleveurs Suisses et Allemands. L'absence de réaction motrice et de cri témoigne de l'inconscience des porcelets. Les animaux étant inconscients, il n'y a pas de réponse émotionnelle pendant l'acte chirurgical et donc pas de douleur. Toutefois, des niveaux de cortisol plasmatique similaires aux animaux du groupe Contrôle et supérieurs à ceux des groupes Melo/Lido et Melo/Tri ont été mesurés. Les lésions tissulaires stimulent la production de cortisol indépendamment de la perception de la douleur (Prunier *et al.*, 2021). Il a aussi été constaté que le mélange gazeux administré (air + isoflurane) contenait moins de 21% d'oxygène ce qui a entraîné des phases d'hypoxémie pour certains porcelets lors de l'anesthésie générale, également sources de stress et d'augmentation de la production du cortisol. L'absence de réduction du cortisol plasmatique par rapport au groupe Contrôle est néanmoins le seul indicateur pour lequel ce traitement présente de moins bons résultats, le comportement des porcelets de retour en case de maternité montrant plutôt des effets bénéfiques.

#### 3.3. Mode d'administration de l'anesthésique local

Les porcelets ayant reçu une anesthésie locale présentent moins d'agitation et des vocalisations plus réduites lors de la

castration que les porcelets Contrôle. Ces résultats sont en adéquation avec des études antérieures (Courboulay *et al.*, 2018) et confortent le fait que l'administration intra-testiculaire soit reconnue comme méthode pour réduire la douleur de la castration dans certains pays (Prunier *et al.*, 2020).

Une administration par voie topique semble également envisageable. L'administration du gel dans la plaie d'incision du scrotum et autour du cordon testiculaire avant la section du cordon permet de réduire la sensibilité de la plaie après la castration plus efficacement qu'une injection de lidocaïne (Lomax *et al.*, 2017). Si un temps d'attente de 30 secondes est mis en place entre l'application du gel et la castration, pour prendre en compte la durée de la diffusion de la lidocaïne dans le cordon, les mouvements des porcelets ainsi que les cris sont réduits au moment de la castration (Sheil *et al.*, 2020), alors qu'une section des cordons juste après l'application du gel n'a pas d'effet (Sutherland *et al.*, 2010). Nos observations sont moins tranchées puisque nous n'observons pas de différences entre Contrôle et Melo/Tri. Lors de l'instillation du gel, malgré une administration précautionneuse, une partie du produit est sortie hors de la plaie pour certains porcelets, ce qui a pu limiter son effet. Ce résultat pourrait aussi s'expliquer par l'application de froid à faible distance de la zone scrotale, afin d'insensibiliser les tissus cutanés avant l'incision (Lomax *et al.*, 2017). L'effet recherché n'a pas été atteint et le froid a pu causer un stress et une brûlure et ainsi de la douleur. En effet, si l'on exclut la période d'application du froid, nous n'observons plus de différence dans l'intensité des cris ou les mouvements des porcelets pour les quatre traitements avec anesthésie locale.

### 3.4. Effets post opératoires des traitements

Les porcelets des trois traitements avec méloxicam expriment moins de comportements indicateurs de douleur au cours de la première heure que les porcelets Contrôle (désynchronisation) et ayant reçu de la phytothérapie (prostration). Ces résultats confirment l'intérêt de cet anti inflammatoire pour atténuer la douleur post-castration (Prunier *et al.*, 2020). Cet effet bénéfique tend cependant à s'inverser au profit du Contrôle au cours de la cinquième heure. Les différences portent alors sur des indicateurs indirects de la douleur, comme l'exploration ou le repos, en particulier pour le traitement Melo/Tri. La demi-vie

du méloxicam, injecté en intramusculaire, est de 2,5 heures, ce qui est cohérent avec ces résultats. A plus long terme, les traitements ont peu d'effet sur le comportement des animaux.

La meilleure activité des porcelets du traitement Contrôle à 5 heures post-castration va de pair avec un meilleur état de la plaie de castration et moins d'inflammation. Les propriétés vasodilatatrices des anesthésiques locaux peuvent expliquer le moins bon état des plaies, en particulier en l'absence d'adrénaline, du fait de saignements importants. De plus, les injections intra-testiculaires augmentent le volume des testicules et du cordon, nécessitant une pression plus forte pour leur extraction quand la fente créée par l'incision n'était pas assez importante ; dans le cas du gel, nous avons parfois constaté une difficulté de préhension des testicules. L'application du froid a également pu entraîner des brûlures. Des raffinements de ces techniques, comme la cautérisation lors de la section du cordon, pourraient être envisagés pour améliorer ces pratiques.

## CONCLUSION

L'anesthésie générale par inhalation s'avère favorable pour l'ensemble des indicateurs comportementaux mais elle n'est actuellement pas acceptée par les autorités administratives comme méthode utilisable par les éleveurs français. Elle est par ailleurs chronophage. L'injection intra-testiculaire de lidocaïne et l'application de gel donnent des résultats similaires, favorables par rapport au Contrôle pour la prise en charge de la douleur pendant l'intervention, mais défavorables pour l'état des plaies. Ce sont des gestes techniques à acquérir, en particulier pour le gel, qui entraînent une augmentation du temps de travail. Leur mise en œuvre va être évaluée en condition d'élevage biologique dans le cadre du projet Farinelli. Des raffinements de ces techniques peuvent être envisagés, comme l'administration de phytothérapie via la truie.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation dans le cadre de l'appel à projet Innovation et Partenariat 2019 (CAS DAR IP 5948).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Coetzee J.F., Pritam K., Sidhu P.K., Seagen J., Schieber T., Kleinhenz K., Kleinhenz M.D., Wulf L.W., Cooper V.L., Mazloom R., Jaber-Douraki M., Lechtenberg K., 2019. Transmammary delivery of firocoxib to piglets reduces stress and improves average daily gain after castration, tail docking, and teeth clipping. *J. Anim. Sci.*, 97(7), 2750-2768.
- Courboulay V., Hemonic A., Prunier A., 2018. Evaluation des différentes méthodes de prise en charge de la douleur lors de la castration. *Journées Rech. Porcine*, 50, 305-310.
- Lomax S., Harris C., Windsor P.A., White P.J., 2017. Topical anaesthesia reduces sensitivity of castration wounds in neonatal piglets. *PLoS ONE* 12(11), e0187988.
- Marchant-Forde J.N., Lay Jr D.C., McMunn K.A., Cheng, H.W., Pajor E.A., Marchant-Forde R.M., 2014. Postnatal piglet husbandry practices and well-being: The effects of alternative techniques delivered in combination. *J. Anim. Sci.*, 92, 1150-1160.
- Prunier A., Devillers N., Herskin M.S., Sandercock D.A., Sinclair A.R.L., Tallet C., von Borell E., 2020. Husbandry interventions in suckling piglets, painful consequences and mitigation. In: C. Farmed (Ed.), *The suckling and weaned piglet*, 107-138. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Prunier, A., Tallet, C., Sandercock, D., 2021. Evidence of pain in piglets subjected to invasive management procedures. In: S. Edwards (Ed.), *Understanding the behaviour and improving the welfare of pigs*. 281-314. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- Sheil M.L., Chambers M., Sharpe B., 2020. Topical wound anaesthesia: efficacy to mitigate piglet castration pain. *Aust. Vet. J.*, 98(6), 256-263.
- Sutherland M.A., Davis B.L., Brooks T.A., McGlone J.J., 2010. Physiology and behavior of pigs before and after castration: effects of two topical anesthetics, *Animal*, 4 (12), 2071-2079.

# Comment améliorer les pratiques de sevrage en élevage commercial de porcs ? : Conséquences sur la santé et le bien-être des animaux

*Solenn GAVAUD (1), Karine HAUROGNE (1), Arnaud BUCHET (2), Inès GARCIA-VINADO (3), Marie ALLARD (1), Mily LEBLANC-MARIDOR (4), Jean-Marie BACH (1), Catherine BELLOC (4), Blandine LIEUBEAU (1), Julie HERVE (1)*

*(1) IECM USC1383, Oniris, INRAE, 101 route de Gachet, 44300 Nantes, France*

*(2) Cooperl Arc Atlantique, 7 Rue de la Jeannaie Maroué, 22400 Lamballe-Armor, France*

*(3) Hyovet, Rue de Penthièvre, 22640 Plestan, France*

*(4) BIOEPAR UMR1300, Oniris, INRAE, 101 route de Gachet, 44300 Nantes, France*

*solenn.gavaud@oniris-nantes.fr*

*Avec la collaboration de Pascaline et Sébastien HOMO, Tiphaine POTIRON, Jean-Claude LORGERE, Tamar KHAKHISHVILI, Hanny SWAM, Irmgard DOHMEN, Joyce WELTEN et Didier DUIVON*

## **Comment améliorer les pratiques de sevrage en élevage commercial de porcs ? : conséquences sur la santé et le bien-être des animaux**

En France, la majorité des porcs est élevée sur caillebotis et exposée à de nombreux facteurs de stress, en particulier lors du sevrage. L'objectif de notre projet consiste à analyser, dans un élevage commercial conventionnel, sur une centaine de porcs charcutiers, les conséquences d'une conduite d'élevage alternative (naissance en case maternité liberté, pas de caudectomie, socialisation des porcelets dès J9 et maintien des groupes sociaux établis jusqu'à l'abattage) par rapport à la conduite d'élevage standard. Pour cela, le stress, la compétence immunitaire, le comportement et les performances des animaux ont été évalués jusqu'à l'abattage. Juste après le sevrage, les porcelets pré-socialisés en case maternité liberté présentent moins de blessures corporelles que leurs congénères élevés en conditions standard. Au même âge, leurs nombres de leucocytes circulants sont plus élevés que ceux des porcs non pré-socialisés. Malheureusement, la survenue, en post-sevrage, d'épisodes de caudophagie a induit une augmentation significative des lésions de la queue chez les individus en conduite alternative. Malgré une prise en charge rapide, cela s'est accompagné d'une augmentation des niveaux sériques de protéine C-réactive et de la concentration en cortisol pileire, témoins d'une altération du bien-être des animaux. S'agissant d'un essai terrain pour lequel il est difficile de contrôler tous les paramètres, les individus de la conduite alternative étaient significativement plus jeunes que leurs congénères élevés en conduite standard, ce qui peut expliquer, au moins en partie, leur taux d'anticorps anti-circovirus porcin de type 2 plus faible après vaccination. Malgré cela, les performances (poids, gain moyen quotidien, poids de la carcasse à chaud 1<sup>er</sup> passage, taux de muscle des pièces) des porcs issus des deux conduites sont similaires.

## **How to improve weaning practices in commercial pig farming?: consequences on animal health and welfare**

In France, most pigs are raised on fully slatted floors and exposed to many stress factors, especially at weaning. The aim of our project consists in analyzing, on 100 pigs raised in a conventional commercial farm, the consequences of an alternative breeding strategy (birth in a free-farrowing pen, no tail docking, socialization of piglets from the age of 9 days and maintenance of established social groups until slaughter) as compared to standard breeding conditions. To this end, stress, immune competence, behavior and performances of animals were assessed from the age of 10 days until slaughter. Immediately after weaning, the pre-socialized piglets in the free-farrowing pen show significantly fewer body lesions than those reared under standard conditions. At the same age, their numbers of circulating leukocytes are higher than those of non-pre-socialized pigs. Unfortunately, tail-biting episodes after weaning caused a significant and lasting increase in tail lesions in individuals raised under the alternative breeding strategy. Despite rapid and appropriate management, this was accompanied by an increase in serum levels of C-reactive protein and the concentration of hair cortisol, indicating a change in animal welfare. On the other hand, since it was a field experiment, it was difficult to control all the parameters, and pigs raised under alternative conditions were significantly younger than those under standard conditions, which may partly explain their lower levels of anti-PCV2 antibodies after vaccination. Despite this, overall performances (weight, average daily gain, hot carcass weight, lean meat content in the main cuts) of pigs from both groups were similar.



## INTRODUCTION

Le monde de l'élevage doit faire face à une crise d'acceptabilité par le consommateur qui se traduit par une baisse de la consommation de viande au cours des dernières années. Si la genèse de cette crise est probablement multifactorielle, il est indéniable que les conditions de vie des animaux en élevage intensif questionnent les citoyens puisque 90% des français considèrent leur bien-être comme une question importante (Delanoue *et al.*, 2017). D'après cette étude, l'accès au plein-air apparaît comme une mesure phare aux yeux des citoyens. Pourtant, la grande majorité des porcs français est toujours élevée en bâtiment, sur caillebotis intégral dans des élevages conventionnels, ce qui souligne l'importance d'expérimenter, dans ce type d'élevage, des pratiques pensées pour réduire le stress et améliorer le bien-être des animaux.

Au moment de la mise-bas, si le blocage des truies a été mis en place pour limiter les risques d'écrasement de porcelets, le développement des cases maternité-liberté constitue une solution intéressante pour en limiter la durée aux premiers jours suivant la mise-bas. Pour les truies de rang de portée supérieur à deux, ce type d'approche réduit le stress de la mère et de ses petits, avec des niveaux significativement moins élevés de cortisol pileire, et améliore les performances des porcelets (Morgan *et al.*, 2021).

Un autre levier intéressant pour l'amélioration du bien-être des porcelets en élevage est l'arrêt de la caudectomie. Cette pratique est encore peu implémentée sur le terrain par crainte de la survenue d'épisodes de caudophagie, dramatiques pour les porcelets comme pour les éleveurs. En effet, la caudophagie est difficile à contrôler en raison de ses origines multifactorielles (Prunier *et al.*, 2020). Malgré tout, il a été montré que l'enrichissement du milieu avec des substrats comestibles ou mâchonnables renouvelés régulièrement pourrait permettre de limiter ces comportements (Buijs et Muns, 2019).

Le sevrage constituant une période critique pour les porcelets, en changer les modalités pourrait aussi permettre d'améliorer le bien-être et la santé des individus. En effet, à cette étape de leur vie, les porcelets sont exposés à de nombreux challenges, parmi lesquels la séparation d'avec la mère, la transition alimentaire, le mélange avec des congénères non familiers ou encore le changement d'environnement (Weary *et al.*, 2008). Au-delà des conséquences à court terme sur la santé et le bien-être des individus (stress social, combats excessifs pour établir la hiérarchie et lésions corporelles parfois sévères qui en résultent), il a été démontré qu'un sevrage brutal pouvait avoir des conséquences à long terme sur l'intégrité de la barrière intestinale, l'efficacité alimentaire, le métabolisme et l'immunité des porcs (Campbell *et al.*, 2013).

Enfin, la socialisation des porcelets pendant la période de lactation, associée au maintien des groupes sociaux établis précocement, semble intéressante pour réduire les sources de stress lors du sevrage. En effet, elle permettrait d'augmenter les capacités sociales des porcelets et d'accélérer l'établissement de la hiérarchie (D'Eath, 2005), engendrant ainsi une réduction des comportements agressifs et des lésions corporelles au sevrage (Camerlink *et al.*, 2018 ; Salazar *et al.*, 2018). De plus, elle favoriserait l'apparition de comportements positifs, comme certaines formes de jeu (Weller *et al.*, 2019). En plus de la pré-socialisation, le maintien des animaux dans des groupes sociaux stables jusqu'à l'abattage permettrait de

limiter les agressions et les lésions corporelles (Rydmer *et al.*, 2013).

Dans ce contexte, nous avons testé sur le terrain une pratique d'élevage alternative incluant la mise-bas des truies en case maternité liberté avec réduction à 2 jours de la période de blocage, l'absence de caudectomie des porcelets et leur socialisation précoce dès l'âge de 9 jours avec le maintien des groupes sociaux stables jusqu'à l'abattage. Les conséquences de cette conduite d'élevage alternative sur la santé, le bien-être et les performances des porcs tout au long de leur vie, ont été comparées à celles de la conduite d'élevage standard.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

Cette étude a été réalisée dans un élevage naisseur-engraisseur adhérent de la Cooperl situé à Vignoc (35), selon un protocole expérimental préalablement approuvé par le Comité d'Éthique en Recherche clinique et épidémiologique Vétérinaire d'Oniris (CERVO-2020-22-V). La phase expérimentale a débuté fin janvier 2021 sur 103 porcs charcutiers de génétique NUCLEUS Piétrain x (Landrace x Large White), tous identifiés à l'aide de boucles de radio-identification (Radio Frequency Identification, RFID) et répartis en deux bandes. A chaque bande, les porcelets issus de quatre truies (deux en conduite standard et deux en conduite alternative) ont été suivis, soit un total de 48 individus en conduite standard vs 55 en conduite alternative. Dans les deux groupes, aucun porcelet n'a été castré, et tous ont été vaccinés contre le Circovirus porcin de type 2 et *Mycoplasma hyopneumoniae* (Porcilis® PCV M Hyo, MSD) avant le sevrage, en présence des mères.

Dans la conduite alternative, les truies et les porcelets ont évolué dans une case maternité liberté avec blocage de la truie pendant seulement 2 jours après la mise-bas. Par rapport à la conduite standard de l'élevage, cette conduite était également caractérisée par l'absence de caudectomie, la socialisation précoce des porcelets des deux truies à partir de l'âge de 9 jours grâce à la présence d'un tunnel reliant les deux nids, et le maintien des groupes sociaux ainsi établis jusqu'à l'abattage. Les porcelets en conduite alternative ont été maintenus dans les cases maternité liberté pendant 3 jours après le sevrage (à l'âge de  $28 \pm 2$  jours), avant d'être transférés ensemble dans une même case de post-sevrage. En conduite standard, les porcelets des deux truies ont été déplacés le jour du sevrage dans une case de post-sevrage où ils ont été mélangés entre eux. Le passage en engraissement s'est fait sans ré-allotement dans les deux groupes. L'abattage des porcs a été effectué à 155 jours d'âge à l'abattoir Cooperl de Montfort-sur-Meu (35).

### 1.2. Examens et prélèvements effectués sur les porcs

Des visites ont été systématiquement réalisées tout au long de la vie des porcs à J9, J10, J28, J29, J31, J36, J66 et J148. A chaque visite, les animaux ont été individuellement observés afin d'évaluer le nombre et la sévérité des blessures ainsi que l'état des queues et la présence d'éventuels signes cliniques. Pour l'évaluation des blessures, les lésions de quatre régions (tête/cou, épaules/antérieurs, dos/ventre et postérieurs/croupe) ont été scorées selon l'échelle utilisée par Calderón Díaz *et al.* (2014) : 0 = absence de lésion ; 1 = une lésion peu étendue (= 2 cm) et superficielle ; 2 = plus d'une lésion de score 1 ou une seule lésion rouge (plus profonde que la score 1) toujours superficielle ; 3 = une ou plusieurs lésion(s)

étendue(s) (sur 2 à 5 cm) et profonde(s) ; 4 = une lésion très étendue (> 5 cm), profonde et rouge ou de nombreuses lésions de score 3 ; 5 = nombreuses lésions de score 4. Les scores établis pour chaque région ont ensuite été additionnés pour obtenir un score global pour le corps entier de chaque individu. Les lésions des queues ont été quantifiées grâce au score de Carroll *et al.* (2018) : 0 = queue intacte, aucun signe de morsure ; 1 = lésions légères ou cicatrisées, extrémité de la queue légèrement rouge ; 2 = signes de mastication ou de perforation sans gonflement ; 3 = signes de mastication ou de perforation avec gonflement et possible signes d'infection ; 4 = perte partielle ou totale de la queue, nécrose.

Le poids de chaque porcelet a été mesuré à J10, J28, J29, J31, J36 et J66. Le Gain Moyen Quotidien (GMQ<sub>10-66</sub>) a été calculé sur la base de l'âge réel des porcelets entre le début de la socialisation (J10) et le début d'engraissement (J66).

A l'abattoir, le poids de la carcasse à chaud (P1) et le Taux de Muscle des Pièces (TMP) ont été obtenus pour tous les porcs encore bouclés (n = 86/103).

Concernant les prélèvements non invasifs, des soies ont été prélevées par rasage au niveau de la croupe chez l'ensemble des porcs à J36, J66 et J148.

Dans l'objectif de limiter les prélèvements invasifs, les prélèvements sanguins ont été réalisés uniquement sur les mâles (n=50) à J28, J29, J36 et J66. Ces prélèvements ont été réalisés au Vacutainer (1,2 x 25 mm) dans la veine jugulaire, sur l'animal couché sur le dos, sauf à J66 où une contention des porcs au lasso a été réalisée.

### 1.3. Analyses réalisées

Des analyses sur sang frais ont été effectuées à J29, J36 et J66. La numération-formule sanguine a été obtenue à partir de sang prélevé sur EDTA grâce à l'appareil XT-2000IV (Sysmex). Une analyse de la capacité phagocytaire des cellules sanguines a été effectuée à partir de sang prélevé sur héparine (Phagotest, BD Biosciences) tel que précédemment décrit (Bacou *et al.*, 2017). Enfin, la capacité des cellules sanguines à sécréter de l'Interleukine-8 (IL-8) en réponse à une stimulation par du lipopolysaccharide (LPS) d'*Escherichia coli* de sérotype O111B4 (100 ng/ml pendant 18h) a été mesurée par ELISA (BioTechne).

Les médiateurs du stress, adrénaline et cortisol, ont été dosés avant et après le sevrage, respectivement dans le plasma-EDTA (LDN) et le sérum (ALPCO). A ce stade, l'adrénaline a été dosée uniquement dans les plasmas des animaux de la première bande. La protéine C-réactive (CRP) et l'haptoglobine ont été quantifiées dans le sérum respectivement à J36 et J66 par ELISA (Biotechne).

La réponse vaccinale des porcs au vaccin PCV2 a été évaluée par dosage des anticorps anti-PCV2 à J66 par l'équipe R&D du Laboratoire MSD à Boxmeer (Pays-Bas).

Enfin, le cortisol pileire a été dosé à l'aide du kit Demeditec après extraction selon la méthode décrite par Heimbürge *et al.* (2020).

### 1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été conduites à l'aide des logiciels RStudio [version 4.1.1, RStudio Team (2020)] et GraphPad Prism (version 6.0).

Pour étudier l'effet de la conduite d'élevage sur les paramètres biologiques et zootechniques, préalablement normalisés si besoin, un modèle linéaire à effets mixtes a été utilisé avec la fonction « lmer » du package « lme4 » utilisant la conduite d'élevage en variable à effet fixe et la bande, la mère courante et le statut des porcelets (adopté ou non) en variables à effets aléatoires. Les variables cortisol pileire, nombre de neutrophiles et de monocytes, CRP et IL-8 ont été transformées en utilisant la fonction logarithme népérien, la variable cortisol sérique a, quant à elle, été normalisée avec la fonction racine carrée.

Les scores de lésions ont été comparés en utilisant le test de Mann-Whitney, tandis que les comparaisons de pourcentage ont été réalisées en utilisant le test exact de Fisher. Enfin, les analyses de corrélation ont été effectuées en utilisant le test de Spearman.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Il convient tout d'abord de mentionner que les résultats présentés ci-après sont des données préliminaires puisque le protocole expérimental complet de ce projet inclut le suivi des porcelets de trois bandes au total.

**Tableau 1** – Variables zootechniques selon la conduite et le sexe. Pour chaque groupe, la valeur indiquée correspond à la médiane [valeurs minimale et maximale] des valeurs non transformées<sup>1</sup>.

Critère	Mâles			Femelles		
	Standard n=23	Alternative n=27	p-value	Standard n=25	Alternative n=28	p-value
Poids, kg						
10 jours	2,72 [2,3-3,83]	3,44 [2,65-4,16]	<b>P &lt; 0,001</b>	3,02 [2,35-3,88]	3,54 [2,11-4,70]	0,073
28 jours	8,94 [7,1-10,3]	8,45 [5,86-10,44]	0,175	9,47 [8,06-11,07]	9,21 [6,05-11,69]	0,308
29 jours	8,53 [6,7-10,0]	8,13 [5,24-10,01]	0,250	8,97 [7,55-10,50]	8,87 [6,03-11,70]	0,378
31 jours	9,09 [7,1-10,6]	8,86 [4,98-10,90]	0,527	9,59 [7,62-11,00]	9,18 [5,65-12,24]	0,764
36 jours	9,50 [5,6-12,7]	10,60 [4,42-12,7]	0,511	10,8 [7,10-13,20]	11,60 [8,75-14,6]	0,201
66 jours	26,0 [18,0-30,0]	25,0 [17,0-30,0]	0,226	26,0 [21,0-32,0]	27,0 [20,0-31,0]	0,805
GMQ <sub>10-66</sub> , g/j	410 [260-490]	390 [230-470]	<b>P &lt; 0,05</b>	410 [320-510]	410 [293-890]	0,820
P1, kg	83,2 [71,8-89,4]	81,30 [61,8-14,4]	0,217	87,2 [70,8-97,0]	83,4 [64,4-99,8]	0,631
TMP, %	61,8 [59,0-66,1]	61,5 [59,5-63,6]	0,646	60,3 [57,8-62,9]	60,5 [57,5-63,9]	0,771

<sup>1</sup>L'effet de la conduite d'élevage sur chaque paramètre a été testé en utilisant un modèle linéaire à effets mixtes. Les valeurs p sont issues de ce modèle.

**Tableau 2** – Proportions d’animaux présentant des lésions corporelles et scores de sévérité des lésions de J10 à J66 dans les deux conduites. Pour chaque groupe, la valeur indiquée correspond à la médiane [valeurs minimale et maximale]<sup>1</sup>.

	Pourcentages de porcelets avec lésions corporelles			Scores de sévérité des lésions		
	Standard	Alternative	p-value	Standard	Alternative	p-value
<b>J10</b>	25,0%	45,5%	<b>P &lt; 0,05</b>	2 [1-2]	1 [1-5]	0,758
<b>J29</b>	87,5%	60%	<b>P &lt; 0,01</b>	4 [1-8]	2 [1-7]	<b>P &lt; 0,05</b>
<b>J31</b>	68,8%	54,5%	0,160	3 [1-9]	2 [1-5]	<b>P &lt; 0,01</b>
<b>J36</b>	58,3%	58,2%	1,000	3 [1-5]	2 [1-5]	<b>P &lt; 0,01</b>
<b>J66</b>	60,4%	45,3%	0,164	2 [1-8]	2 [1-8]	0,818

<sup>1</sup> Les comparaisons de pourcentage ont été réalisées en utilisant le test exact de Fisher tandis que les scores de lésions ont été comparés en utilisant le test de Mann-Whitney.

Par ailleurs, s’agissant d’une étude conduite sur le terrain, nous n’avons pas réussi à contrôler l’ensemble des paramètres du protocole. En particulier, une proportion non négligeable des porcelets suivis a été adoptée, avec une différence significative entre les deux groupes (71% en conduite standard vs 40% en conduite alternative). De plus, les truies n’ont évidemment pas toutes mis bas le même jour mais dans un intervalle de [-2 à +2] jours autour de la date de mise-bas théorique pour le groupe en conduite alternative contre [-2 à 0] jours pour le groupe standard. Il en résulte une disparité équivalente dans les âges des porcelets à chaque temps d’analyse, avec des porcelets en moyenne plus jeunes de 1 jour en conduite alternative par rapport à la conduite standard (âge moyen au moment de la pré-socialisation = 8,7 j en conduite alternative vs 9,6j en conduite standard,  $P < 0,01$ ).

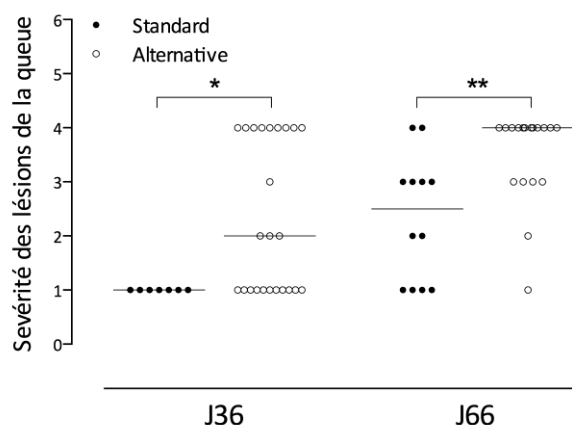
### 2.1. Effets de la conduite d’élevage alternative sur les performances des individus

Malgré leur plus jeune âge au début de la pré-socialisation, les porcelets mâles en conduite alternative sont plus lourds que leurs congénères élevés en conduite standard (3,44 kg vs 2,72kg à J10,  $P < 0,01$ ), cette différence n’étant pas retrouvée chez les femelles (3,54 kg vs 3,02 kg,  $P > 0,05$ ). Par la suite, cette différence de poids s’estompe, avec une meilleure prise de poids pour les porcelets élevés dans les conditions standard (GMQ<sub>10-66</sub> = 390 g/j vs 410 g/j,  $P < 0,05$ , Tableau 1). A l’abattage, le poids des carcasses à chaud (P1) et le Taux de Muscles des Pièces (TMP) ne sont pas différents entre les deux groupes (Tableau 1). Ainsi, la conduite alternative n’apporte aucun bénéfice sur la croissance des porcs.

### 2.2. Effets de la conduite d’élevage alternative sur l’agressivité des animaux

Après 24h de pré-socialisation (J10), la proportion de porcelets présentant des lésions corporelles est significativement plus importante en conduite alternative qu’en conduite standard (45,5 % vs 25 %,  $P < 0,05$ ). Néanmoins, les scores des lésions des animaux blessés dans les deux groupes restent faibles et ne sont pas statistiquement différents (Tableau 2). Au contraire, le lendemain du sevrage (J29), les porcelets de la conduite alternative sont significativement moins nombreux à présenter des lésions corporelles (60 % vs 87,5 %,  $P < 0,05$ ) et ces lésions sont de moindre sévérité (score médian = 2 vs 4,  $P < 0,05$  ; Tableau 2). Un facteur confondant existe cependant puisque dans la conduite alternative les porcelets n’ont pas été déplacés au moment du sevrage mais seulement trois jours après. Néanmoins, à J31 comme à J36 en case de post-sevrage, si la proportion d’animaux présentant des lésions est identique dans les deux groupes,

les animaux du groupe alternatif présentent des blessures de plus faible gravité que les animaux en conduite standard (Tableau 2). Ainsi, il semble que la pré-socialisation des porcelets les aurait mieux préparés à cette transition. Concernant les lésions de la queue, celles-ci sont apparues plus tardivement, une semaine après le sevrage (J36). La proportion de porcelets avec lésions de la queue est significativement supérieure chez les porcelets en conduite alternative, qui n’avaient pas subi de caudectomie (43,6% vs 14,9%,  $P < 0,05$ ). De même, la sévérité de ces lésions est significativement supérieure en conduite alternative à J36 et à J66 (Figure 1). Les épisodes de caudophagie ont été gérés en isolant les mordeurs, en traitant les blessés et en modifiant l’enrichissement mis à disposition dans les cases.



**Figure 1** - Score des lésions de la queue en fonction de la conduite d’élevage à J36 et J66.

La médiane est représentée par un trait.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec un test Mann-Whitney (\* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ ).

### 2.3. Effets de la conduite d’élevage alternative sur les réponses de stress

Si les taux de cortisol sérique ne sont pas différents entre les porcelets des deux groupes avant le sevrage (J28), ils tendent à être inférieurs chez les porcelets en conduite alternative à J29 (51,9 ng/ml vs 76,8 ng/ml,  $P = 0,059$ ) (Tableau 3). Les niveaux d’adrénaline plasmatique ne sont pas significativement différents entre les porcelets des deux conduites, à J28 et J29. Ce résultat est à considérer avec précaution puisqu’une seule bande a été dosée.

Les quantités de cortisol accumulé dans les soies des porcs sont supérieures chez les animaux élevés en conduite alternative par rapport à leurs congénères en conduite standard à J36 et 66 (Tableau 3). Cela pourrait être en partie expliqué par le stress généré par les épisodes de caudophagie subis par les animaux en conduite alternative.

#### 2.4. Effets de la conduite d'élevage sur la compétence immunitaire des animaux.

Le lendemain du sevrage, les nombres de neutrophiles, monocytes, lymphocytes et éosinophiles circulants sont significativement plus élevés chez les animaux élevés en conduite alternative par rapport aux animaux de la conduite standard (Tableau 3). Ces différences entre les groupes n'étant pas retrouvées à J36 et J66, elles pourraient s'expliquer par la meilleure préparation des porcelets au sevrage permise par la pré-socialisation.

Au delà des aspects quantitatifs, nous nous sommes intéressés à la capacité des leucocytes à phagocyter des bactéries et à produire de l'IL-8 en réponse à une stimulation *in vitro* par un ligand bactérien une semaine après le sevrage. Nos résultats ne mettent pas en évidence de différence sur ces critères entre les deux conduites (Tableau 3).

Au même moment, la concentration en CRP sérique est supérieure chez les porcelets en conduite alternative par

rapport à la conduite standard (17,87 µg/ml vs 7,57 µg/ml,  $P < 0,01$ , Tableau 3). Or, comme précédemment décrit (Heinonen *et al.*, 2010), la concentration sérique en CRP dans nos échantillons est positivement corrélée à la sévérité des lésions de la queue ( $r = 0,49$  ;  $P < 0,001$ ), ce qui explique le taux plus élevé chez les porcs élevés en conduite alternative et victimes d'épisodes de caudophagie.

En début d'engraissement, la concentration en haptoglobine sérique n'est pas différente chez les porcs dans les deux conduites.

Enfin, la réponse vaccinale contre le circovirus porcin a été évaluée au travers de la mesure du taux d'anticorps anti-PCV2 dans le sérum des porcs un mois après vaccination. Contrairement à ce qui était attendu, le taux d'anticorps chez les animaux en conduite alternative est significativement inférieur à celui des porcs élevés en conditions standard bien que la vaccination ait été efficace dans les deux groupes (8,80 U.A. vs 10,50 U.A.,  $P < 0,01$ , Tableau 3).

**Tableau 3** – Variables biologiques dans les animaux des deux groupes. Pour chacun des groupes, la valeur indiquée correspond à la médiane [valeurs minimale et maximale] des valeurs non transformées<sup>1</sup>.

Paramètres analysés	Conduite standard	Conduite alternative	p-value
<b>J28</b> Adrénaline plasmatique, ng/ml	0,52 [0,30-1,32]	0,52 [0,33-1,39]	0,692
Cortisol sérique, ng/ml	76,4 [20,1-136,9]	87,08 [18,95-180,00]	0,802
<b>J29</b> Adrénaline plasmatique, ng/ml	0,43 [0,22-1,99]	0,46 [0,24-1,47]	0,588
Cortisol sérique, ng/ml	76,8 [38,1-143,7]	51,9 [30,8-108,3]	0,059
Numération Formule Sanguine			
Neutrophiles, 10 <sup>3</sup> /µl	8,23 [1,94-17,64]	17,51 [10,00-32,17]	<b>P &lt; 0,001</b>
Monocytes, 10 <sup>3</sup> /µl	0,67 [0,38-1,55]	1,06 [0,73-2,42]	<b>P &lt; 0,001</b>
Lymphocytes, 10 <sup>3</sup> /µl	6,81 [1,80-11,45]	9,06 [3,49-12,28]	<b>P &lt; 0,05</b>
Eosinophiles, x10 <sup>3</sup> /µl	0,11 [0,01-0,35]	0,19 [0,05-1,22]	<b>P &lt; 0,05</b>
Globules rouges, x10 <sup>6</sup> /µl	5,95 [2,16-6,96]	4,84 [2,69-7,11]	0,462
<b>J36</b> Cortisol pileaire, pg/mg	53,4 [29,1-86,7]	54,17 [39,35-136,51]	<b>P &lt; 0,05</b>
Numération Formule Sanguine			
Neutrophiles, x10 <sup>3</sup> /µl	5,81 [3,51-13,69]	5,70 [2,88-8,74]	0,438
Monocytes, x10 <sup>3</sup> /µl	1,06 [0,49-3,50]	1,09 [0,65-2,58]	0,820
Lymphocytes, x10 <sup>3</sup> /µl	9,54 [6,58-28,06]	8,33 [4,79-23,79]	0,319
Eosinophiles, x10 <sup>3</sup> /µl	0,11 [0,02-0,33]	0,15 [0,04-0,37]	0,604
Globules rouges, x10 <sup>6</sup> /µl	7,08 [3,81-8,12]	5,96 [4,59-7,87]	0,072
IL-8 après stimulation <i>in vitro</i> des cellules sanguines, pg/ml	1410 [153-6238]	1811 [259-5991]	0,219
Phagocytes dans les granulocytes, %	86,1 [51,1-94,6]	85,0 [75,7-90,9]	0,647
Phagocytes parmi les monocytes, %	21,7 [18,9-27,2]	22,4 [16,0-27,6]	0,942
CRP sérique, µg/ml	7,57 [1,75-66,45]	17,87 [3,96-236,7]	<b>P &lt; 0,01</b>
<b>J66</b> Cortisol pileaire, pg/mg	39,9 [26,8-77,2]	53,35 [32,96-92,46]	<b>P &lt; 0,001</b>
Numération Formule Sanguine			
Neutrophiles, x10 <sup>3</sup> /µl	7,81 [3,23-14,16]	7,23 [2,37-19,48]	0,683
Monocytes, x10 <sup>3</sup> /µl	1,56 [0,82-2,76]	1,77 [0,76-5,53]	0,797
Lymphocytes, x10 <sup>3</sup> /µl	10,70 [7,26-18,28]	10,63 [5,23-45,96]	0,401
Eosinophiles, x10 <sup>3</sup> /µl	0,23 [0,04-0,34]	0,25 [0,06-0,55]	0,279
Globules rouges, x10 <sup>6</sup> /µl	7,18 [0,55-8,39]	7,09 [5,19-7,93]	0,224
Haptoglobine, mg/ml	0,48 [0,08-1,40]	0,64 [0,10-2,57]	0,351
Titre en anticorps anti-PCV2 sériques, U.A.	10,5 [8,4-11,5]	8,8 [6,7-10,8]	<b>P &lt; 0,001</b>

<sup>1</sup> L'effet de la conduite d'élevage sur chaque paramètre a été testé en utilisant un modèle linéaire à effets mixtes. Les valeurs p sont issues de ce modèle.

Néanmoins, les porcelets du groupe alternatif ont été vaccinés plus précocement que leurs congénères en conduite standard (-1 j d'âge en moyenne) et il existe une corrélation positive entre l'âge au jour de la vaccination et le titre en anticorps un mois après ( $r = 0,29$  ;  $P < 0,05$ ). Ainsi, cette différence peut s'expliquer par le plus jeune âge des porcelets en conduite alternative et/ou par la présence d'une quantité supérieure en anticorps anti-PCV2 maternel tel que déjà décrit (Opriessnig *et al.*, 2008). Cependant, les travaux de (Martelli *et al.*, 2016) ont montré que le taux d'anticorps maternels présents chez les porcelets avant vaccination ne semble pas influencer la réponse humorale induite par ce vaccin.

## CONCLUSION

Ce travail visait à évaluer l'intérêt potentiel d'une conduite alternative (avec case maternité liberté, pré-socialisation des porcelets pendant la lactation, sevrage sans ré-allotement et avec déplacement décalé dans le temps), par rapport à la conduite standard, pour améliorer le bien-être, les performances et la santé des porcs en élevage conventionnel.

Nos résultats préliminaires, obtenus sur deux bandes d'animaux, mettent en évidence l'absence d'effet de la conduite sur les performances des individus. Le lendemain du sevrage, les porcelets élevés en conduite alternative présentent moins de blessures corporelles et des nombres de leucocytes circulants plus importants ; le taux de cortisol sérique tend également à être plus faible chez ces individus, l'ensemble étant en faveur d'une transition plus douce au sevrage. Malheureusement, la constitution précoce de groupes sociaux stables n'a pas suffi à prévenir la survenue d'épisodes de caudophagie en post-sevrage qui ont altéré le bien-être et la santé des porcs non caudectomisés sans toutefois compromettre les performances des individus. Ces résultats soulignent l'importance des études sur le terrain pour évaluer la transposabilité des pratiques alternatives et leur intérêt réel pour le bien-être et la santé des porcs.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la région Pays de Loire et l'INRAE (Métaprogramme SANBA) pour le financement de thèse de Solenn GAVAUD, ainsi que l'association LIT Ouesterel pour la participation financière à cette étude.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bacou E., Haurogné K., Allard M., Mignot G., Bach J.-M., Hervé J., Lieubeau B., 2017.  $\beta$ 2-adrenoreceptor stimulation dampens the LPS-induced M1 polarization in pig macrophages. *Dev. Comp. Immunol.*, 76, 169-176.
- Buijs S., Muns R., 2019. A Review of the Effects of Non-Straw Enrichment on Tail Biting in Pigs. *Animals*, 9, 824.
- Calderón Díaz J.A., Fahey A.G., Boyle L.A., 2014. Effects of gestation housing system and floor type during lactation on locomotory ability; body, limb, and claw lesions; and lying-down behavior of lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 92, 1675-1685.
- Camerlink I., Farish M., D'Eath R., Arnott G., Turner S., 2018. Long Term Benefits on Social Behaviour after Early Life Socialization of Piglets. *Animals*, 8, 192.
- Campbell J.M., Crenshaw J.D., Polo J., 2013. The biological stress of early weaned piglets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 4, 19.
- Carroll G.A., Boyle L.A., Hanlon A., Palmer M.A., Collins L., Griffin K., Armstrong D., O'Connell N.E., 2018. Identifying physiological measures of lifetime welfare status in pigs: exploring the usefulness of haptoglobin, C-reactive protein and hair cortisol sampled at the time of slaughter. *Ir. Vet. J.*, 71.
- D'Eath R.B., 2005. Socialising piglets before weaning improves social hierarchy formation when pigs are mixed post-weaning. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 93, 199-211.
- Delanoue E., Dockes A.C., Chouteau A., Philibert A., Magdelaine P., Roguet C., 2017. Points de vue et attentes des consommateurs et citoyens vis-à-vis de l'élevage. Une étude quantitative auprès de 2 000 personnes en France. *Journées Rech. Porcine.*, 49, 295-300, 6.
- Heimbürge S., Kanitz E., Tuchscherer A., Otten W., 2020. Within a hair's breadth – Factors influencing hair cortisol levels in pigs and cattle. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 288, 113359.
- Heinonen M., Orro T., Kokkonen T., Munsterhjelm C., Peltoniemi O., Valros A., 2010. Tail biting induces a strong acute phase response and tail-end inflammation in finishing pigs. *Vet. J.*, 184, 303-307.
- Martelli P., Saleri R., Ferrarini G., De Angelis E., Cavalli V., Benetti M., Ferrari L., Canelli E., Bonilauri P., Arioli E., Caleffi A., Nathues H., Borghetti P., 2016. Impact of maternally derived immunity on piglets' immune response and protection against porcine circovirus type 2 (PCV2) after vaccination against PCV2 at different age. *BMC. Vet. Res.*, 12, 77.
- Morgan L., Meyer J., Novak S., Younis A., Ahmad W.A., Raz T., 2021. Shortening sow restraint period during lactation improves production and decreases hair cortisol concentrations in sows and their piglets. *Animal.*, 15, 100082.
- Opriessnig T., Patterson A.R., Elsener J., Meng X.J., Halbur P.G., 2008. Influence of Maternal Antibodies on Efficacy of Porcine Circovirus Type 2 (PCV2) Vaccination To Protect Pigs from Experimental Infection with PCV2. *Clin. Vaccine. Immunol.*, 15, 397-401.
- Prunier A., Averos X., Dimitrov I., Edwards S.A., Hillmann E., Holinger M., Iliiski V., Leming R., Tallet C., Turner S.P., Zupan M., Camerlink I., 2020. Review: Early life predisposing factors for biting in pigs. *Animal.*, 14, 570-587.
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL: <http://www.rstudio.com/>.
- Rydmer L., Hansson M., Lundström K., Brunius C., Andersson K., 2013. Welfare of entire male pigs is improved by socialising piglets and keeping intact groups until slaughter. *Animal*, 7, 1532-1541.
- Salazar L.C., Ko H.L., Yang C.H., Llonch L., Manteca X., Camerlink I., Llonch P., 2018. Early socialisation as a strategy to increase piglets' social skills in intensive farming conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 206, 25-31.
- Weary D.M., Jasper J., Hötzel M.J., 2008. Understanding weaning distress. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 110, 24-41.
- Weller J.E., Camerlink I., Turner S.P., Farish M., Arnott G., 2019. Socialisation and its effect on play behaviour and aggression in the domestic pig (*Sus scrofa*). *Sci Rep.*, 9, 4180.

# Conséquences d'une baisse temporaire de la température ambiante, une semaine après le passage à l'aliment 2<sup>ème</sup> âge, sur les performances et la santé des porcelets sevrés

Noémie LEMOINE, Marion BOURNAZEL, David BRILLOUET, David GUILLOU

miXscience Campus Avril, 2/4 avenue de Ker Lann, 35170 Bruz, France

[noemie.lemoine@mixscience.eu](mailto:noemie.lemoine@mixscience.eu)

Avec la collaboration d'Elodie TERSIGUEL, Sophie CADIEU, Clément FAVIER, Baptiste GAUDUCHEAU  
et le personnel de la station porcs d'Euronutrition

## Conséquences d'une baisse temporaire de la température ambiante, une semaine après le passage à l'aliment 2<sup>ème</sup> âge, sur les performances et la santé des porcelets en post-sevrage.

En situation de production commerciale, les sources de stress pour les porcs sont principalement liées à la compétition avec les autres porcs pour les ressources, aux comportements agressifs de certains porcs, aux changements des conditions de logement et à l'absence de relations positives renforcées dans les interventions humaines. Ces derniers peuvent être choisis par l'éleveur mais souvent sont subis (ex : des pannes matérielles). L'objectif de cet essai était d'évaluer l'impact d'un arrêt de chauffage sur les performances et la santé de porcelets sevrés. Pour cela, huit blocs de huit cases homologues de cinq porcelets étaient répartis dans deux salles similaires (A et B) de post-sevrage et situées dans le même bâtiment d'élevage. A 48 jours d'âge, le chauffage de la salle B était arrêté pendant sept heures. Dans les deux salles, les performances zootechniques étaient évaluées avant et après cet « incident », un comptage des toux et des éternuements était réalisé le lendemain de « l'incident » ainsi que des prélèvements de fèces pour mesurer l'inflammation intestinale via le dosage de la TPO (Total Peroxidase activity). Sur la période suivant cet « incident », les porcelets de la salle B ont augmenté leur consommation de 6,6% ( $P < 0,05$ ) et dégradé leur indice de consommation de 5,1% ( $P < 0,05$ ). A 49 jours d'âge, le risque d'éternuer ou de tousser dans la salle B était multiplié par 5,5 par rapport à la salle A ( $P < 0,05$ ). L'inflammation intestinale n'était pas significativement différente entre les deux salles. Pour conclure, une baisse modérée de température de courte durée a dégradé significativement l'indice de consommation des porcelets et a augmenté les symptômes d'irritation des voies respiratoires.

## Consequences of a temporary decrease in temperature one week after the transition to weaner feed on the performance and health of weaned piglets

On commercial farms, stressors for pigs are often related to competition with other pigs for resources, aggressive behavior of pen mates, changes in environmental conditions and human interventions in the absence of reinforced positive relationships. The last factor can be controlled by the farmer but may be subject to unwanted events (e.g. equipment failure). The objective of this trial was to evaluate the impact of turning heating on performance and health of weaned piglets. To this end, eight blocks of eight homologous pens of five piglets each were randomly allocated to two similar (A and B) post-weaning rooms, located in the same building. At 48 days of age, the heating of room B was turned off for seven hours during working hours. In both rooms, zootechnical performance was measured before and after this "incident", the number of coughs and sneezes were counted per pen the day after the "incident" and fecal samples were taken to measure total peroxidase activity. After the "incident", piglets in room B increased their feed intake by 6.6% ( $P < 0.05$ ) and decreased their feed efficiency by 5.1% ( $P < 0.05$ ). At 49 days of age, the risk of coughing or sneezing in room B increased by a factor of 5.5 compared to that in room A ( $P < 0.05$ ). Intestinal inflammation did not differ significantly between the two rooms. To conclude, a moderate decrease in temperature over a short duration significantly degraded piglet feed efficiency and increased symptoms of respiratory tract irritation.

## INTRODUCTION

Réduire le stress subi par les porcs est une voie d'amélioration des conditions d'élevage qui semble évidente. Toutefois, révéler et quantifier les conséquences d'un stress, puis démontrer le bénéfice d'une démarche de prévention restent un défi en pratique. Les sources de stress pour les porcs sont principalement liées : à des facteurs sociaux (compétition avec les autres porcs de la case pour les ressources - abreuvement, alimentation, aire de repos, jouets et autres « enrichissements »; comportements agressifs de certains congénères); aux interventions humaines en l'absence de relations positives renforcées; et à des facteurs liés au milieu physique, des changements des conditions de logement, c'est à dire aux variations de température, de la qualité de l'air, de la lumière, du bruit, etc... (Taylor *et al.*, 2010; Elmore *et al.*, 2011; Ramonet *et al.*, 2017; Tallet *et al.*, 2020). Dans ce dernier cas, des pannes matérielles ou des variations brutales des conditions climatiques peuvent survenir de manière imprévisible. Les effets de ces changements dépendent grandement du temps nécessaire pour corriger la gestion d'ambiance.

Quand la température du bâtiment descend en dessous d'une température critique inférieure (Tci), le porc produit davantage de chaleur pour maintenir sa température corporelle constante via une augmentation de l'appétit et une réorientation de l'utilisation des nutriments pour le besoin de thermorégulation. Cette situation va dégrader l'efficacité alimentaire.

La réponse zootechnique ou sanitaire face à un stress est plus ou moins marquée selon les individus et dépend de la capacité d'adaptation individuelle. D'autre part, Sandrini *et al.* (2014) ont décrit les conséquences de la présence d'hormones associées au stress dans la lumière intestinale, qui favorise le développement de bactéries potentiellement pathogènes par rapport à la flore commensale. Certaines pathologies associées ne sont pas intestinales, elles peuvent également être cardiaques, nerveuses ou respiratoires.

L'évaluation de l'impact d'un arrêt de chauffage dans une salle de post-sevrage, pendant sept heures, sur les performances et la santé de porcelets sevrés fait donc l'objet de cette étude.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et logement

Un essai a été conduit au printemps 2018 dans deux salles de post-sevrage de la station Euronutrition (Saint-Symphorien, Sarthe).

Le jour du sevrage, 320 porcelets de 21 jours répartis en huit blocs de huit cases homologues de cinq individus étaient logés dans deux salles similaires de post-sevrage (A et B); situées dans le même bâtiment d'élevage. Ils étaient issus des truies de l'élevage (Maxya, Hypor France), inséminées avec de la semence de verrats Maxter (Hypor France).

Les porcelets avaient un accès à volonté à l'aliment et à l'abreuvement. Les deux salles étaient conduites en « tout plein, tout vide », avec lavage et désinfection entre chaque groupe d'animaux.

### 1.2. Déroulement de l'essai

Dans la salle de post-sevrage, la température était contrôlée par le chauffage et la ventilation. Pour les deux salles, la consigne

de température était égale à 29°C le jour du sevrage. Celle-ci baissait de 1°C, six jours après le sevrage puis de 1°C tous les sept jours jusqu'à la fin de l'essai. La température de consigne était basée sur les recommandations du groupement de producteurs.

Quatre semaines après le début de l'essai, à 48 jours d'âge pour les porcelets, le chauffage de la salle B était arrêté pendant sept heures (« incident »), la salle A servant de Témoin. Les portes étaient laissées ouvertes pour garantir la circulation d'air. Cette date a été choisie pour, en même temps : ne pas rajouter un facteur de stress lors de la période d'adaptation des porcelets au sevrage (premier âge); et disposer d'un temps d'observation post-« incident » suffisant pour en évaluer les conséquences.

### 1.3. Aliments

Pendant les trois semaines suivant le sevrage, les animaux des deux salles recevaient un aliment 1<sup>er</sup> âge contenant 17,8% de protéine brute, 1,45% de lysine digestible, 10,80 MJ d'énergie nette/kg, sans prémélange médicamenteux. Par la suite, un aliment 2<sup>ème</sup> âge leur était offert, contenant 16,5% de protéine brute, 1,00% de lysine digestible et 9,65 MJ d'énergie nette/kg.








### 1.4. Mesures et prélèvements

Les porcelets étaient pesés individuellement à 42, 48 et 69 jours d'âge. Les quantités d'aliments distribuées étaient enregistrées chaque jour de distribution, et les refus pesés le même jour que les animaux.

Les soins réalisés et la mortalité des porcelets étaient enregistrés le jour même.

A 49 jours d'âge, lendemain des pesées individuelles pour tous les porcelets et de « l'incident » en salle B, l'inflammation intestinale et l'irritation des voies respiratoires étaient quantifiées pour décrire la réponse à court-terme.

**Tableau 1** - Echelle de Bristol sur l'aspect des fèces humaines, adaptée au porc

Note	Aspect adaptés (images de l'humaine)	Description des fèces
1		Billes = constipation
2		Billes agglomérées
3		Moulées = aspect convenable
4		Cylindre = aspect idéal
5		Molles = aspect dégradé
6		Bouse = alerte, mal-digestion
7		Liquide = diarrhée

Le niveau d'inflammation intestinale était quantifié par l'analyse de l'activité peroxydase totale (TPO) dans les fèces qui reflète leur teneur en myéloperoxydase (Lemoine *et al.*, 2018). 10 à 20 g de fèces étaient prélevés individuellement à la sortie de l'ampoule rectale, sur 81 porcelets femelles répartis sur les

deux salles issus de 5 blocs représentatifs de l'amplitude de poids des porcelets à la mise en lots. Dès le prélèvement, l'aspect de chaque fèces était décrit selon la grille de l'échelle de Bristol (Lewis *et al.*, 1997) adaptée au porc (Tableau 1).

Les tubes contenant les fèces étaient congelés dans de la carboglace immédiatement après la notation. Ils étaient transférés au laboratoire d'innovation de Mixscience où ils étaient conservés à -20°C jusqu'au moment de l'analyse. Le dosage de la TPO est adapté de la méthode biochimique décrite par Bradley *et al.* (1982) avec lecture des résultats par spectrophotométrie à 460 nm dans un lecteur de microplaques.

Le même jour, les toux et les éternuements des porcelets des deux salles étaient comptés selon une méthode adaptée de Delteil et Meymerit (2012) afin d'évaluer l'incidence de la baisse des températures sur la fonction respiratoire des porcelets. Pendant 1 min, un intervenant faisait se lever les porcs de chaque case, puis pendant les 3 minutes suivantes les toux étaient comptées.

### 1.5. Analyses statistiques

A partir des données mesurées, pour les périodes 21-42j, 42-48j, 48-69j, 42-69j le gain moyen quotidien (GMQ), la consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) étaient calculés.

L'unité d'analyse était la case de 5 porcelets. Les variables zootechniques et la TPO étaient analysées dans un modèle d'analyse de la variance des effets fixes de la Salle, du Bloc et de leur interaction. L'effet était considéré significatif quand la probabilité était inférieure à 0,05.

Un test d'indépendance du Chi<sup>2</sup> a été réalisé pour savoir s'il y avait un lien entre la salle et le fait d'éternuer ou tousser. Puis, pour quantifier le risque de tousser ou d'éternuer entre les deux salles, une régression logistique a été réalisée.

$\text{Logit}(P(\text{Toux ou éternuement} = 1|\text{salle})) = \beta_0 + \beta_1 \text{salle}_i + \epsilon_i$

Le risque (RTE) est égal au rapport de probabilité de tousser ou éternuer, sur la probabilité de ne pas tousser ou éternuer.

$$\text{RTE d'un lot} = \frac{\text{Nombre de porcelets qui toussent ou éternuent} / \text{Nb total}}{\text{Nombre de porcelets qui ne toussent pas ou n'éternuent pas} / \text{Nb total}}$$

Le rapport des cotes ou Odds ratio (OR), est égal au rapport des deux risques étudiés.

$$\text{OR} = \frac{\text{RTE B}}{\text{RTE A}}$$

L'ensemble des analyses statistiques était réalisé à l'aide du logiciel R (Version 1.1.383 – © 2009-2017 RStudio, Inc).

## 2. RESULTATS

### 2.1. Sanitaire

Lors de cet essai un porcelet est mort dans la salle A, une semaine après le passage à l'aliment 2<sup>ème</sup> âge, probablement d'un ulcère gastrique. Cette mortalité ayant été comptabilisée avant « l'évènement », elle n'a pas été considérée comme une conséquence de l'évènement.

Sur la période 1<sup>er</sup> âge, des diarrhées aqueuses ont affecté trois porcs dans la salle A et un dans la salle B. Dans les deux salles, quatre porcelets ont été soignés au motif de boiterie. Sur la période 2<sup>ème</sup> âge, aucun soin médicamenteux n'a été nécessaire en l'absence de troubles digestifs ou autres.

### 2.2. Performances de croissance globales.

Le tableau 2 présente les performances zootechniques des porcelets jusqu'à « l'incident ».

Sur la période 1<sup>er</sup> âge, le GMQ et la CMJ des jeunes animaux n'étaient pas significativement différents entre les 2 salles (261 g/j et 309 g/j en moyenne, respectivement). De même, l'IC était égal à 1,18 pour les deux salles.

Sur la première semaine de 2<sup>ème</sup> âge, la CMJ des porcelets était significativement plus élevée dans la salle A mais les écarts de GMQ n'étaient pas significativement différents entre les deux salles. Les agents de la station avaient observé du gaspillage sur plusieurs nourrisseurs.

**Tableau 2** - Performances de porcelets avant « l'incident »

		Salle A	Salle B	Effet Salle*	Effet Bloc*	Lot*Bloc*
Nombre de cases		32	32			
Poids J21, kg	Moyenne	6,7	6,7			
	ET	0,9	0,9			
GMQ 21-42j g/j	Moyenne	273	250	>0,10	<b>0,001</b>	>0,10
	ET	36	32			
GMQ 42-48j g/j	Moyenne	353	330	>0,10	>0,10	>0,10
	ET	58	78			
CMJ 21-42j g/j	Moyenne	321	297	>0,10	<b>0,022</b>	>0,10
	ET	38	35			
CMJ 42-48j g/j	Moyenne	655	612	<b>0,036</b>	>0,10	>0,10
	ET	73	77			
IC 21-42j	Moyenne	1,18	1,19	>0,10	>0,10	>0,10
	ET	0,05	0,07			
IC 42-48j	Moyenne	1,86	1,85	>0,10	>0,10	>0,10
	ET	0,22	0,39			

\*Les différences sont significatives quand  $P < 0,05$



### 2.3. Conséquences de la baisse temporaire de température (« incident »)

#### 2.3.1. Conséquences sur les températures dans les salles

La figure 1 présente les températures minimales et maximales des deux salles au cours de l'essai. La veille de l'« incident », le thermomètre de la salle B a dû être remplacé suite à un dysfonctionnement expliquant probablement le pic de chaleur relevé. Le jour de « l'incident » (48 j), le minimum de température atteint était égal à 19,1°C (soit 7,6°C d'écart à la consigne) et la température maximale égale à 29,7°C (soit +3°C par rapport à la salle A). Le matériel de mesure en place ne permettait pas d'obtenir une température moyenne quotidienne.

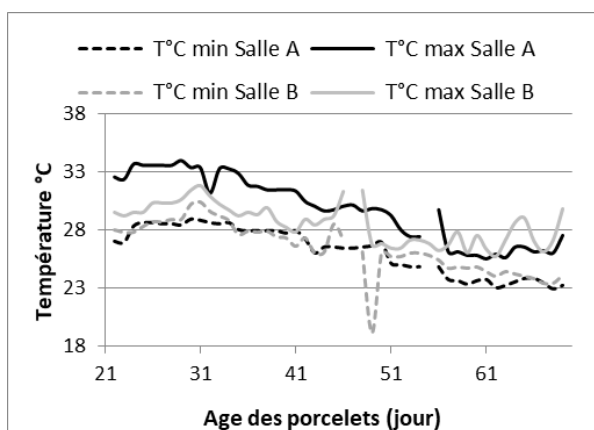
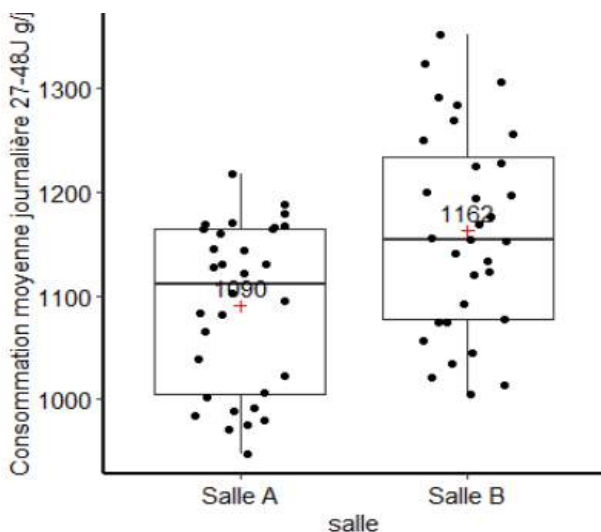


Figure 1 - Températures minimum et maximum en °C dans les deux salles au cours de l'essai

#### 2.3.2 Conséquences sur les performances zootechniques

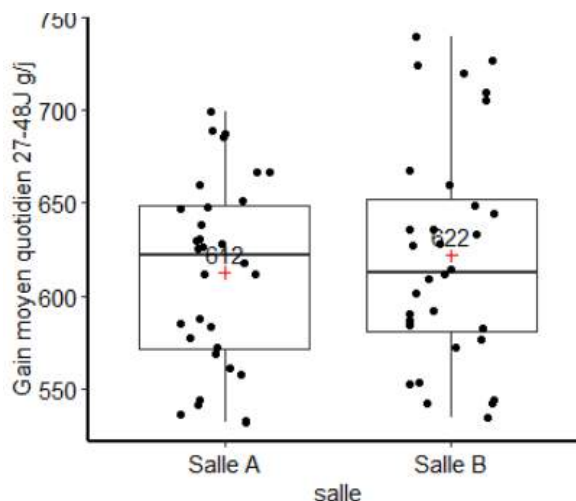
Sur la deuxième partie du 2<sup>ème</sup> âge qui suivait « l'incident », les porcelets de la salle B ont consommé plus d'aliment (+72 g/j ; )  $P < 0,05$  que ceux de la Salle A (Figure 2). Sur cette période, les agents de la station n'avaient pas observé de gaspillage.

La croissance des animaux n'était pas significativement différente entre les deux salles (617 g/j en moyenne) (Figure 3). En conséquence, l'indice de consommation de la salle B était dégradé de 0,11 point ( $P < 0,05$ ) par rapport à celui des porcelets de la salle A. Ils étaient égaux à 1,88 et 1,94 dans les salles A et salle B respectivement.



\*La croix correspond à la moyenne de la salle

Figure 2 – Consommation moyenne journalière des porcelets après « l'incident »



\*La croix correspond à la moyenne de la salle

Figure 3 – Gain moyen quotidien des porcelets après « l'incident »

#### 2.3.2. Conséquences sur l'inflammation intestinale et l'aspect des fèces

Le tableau 3 présente la répartition des notes de fèces sur l'échelle de Bristol par salle. La majorité des notes se situe dans la gamme convenable ou idéale (3 et 4) dans les deux salles. La salle B se caractérise par deux notes de constipation (n=2), plus de diarrhées aqueuses (n=7) et moins de fèces molles (n=5).

Les TPO fécales étaient comprises entre 0,99 U/mg et 15,84 U/mg. L'inflammation intestinale n'était pas significativement différente entre les deux salles le jour suivant « l'incident ».

Tableau 3 - Résultats des prélèvements de fèces et des notations des toux et éternuements à J48

	Salle A	Salle B	Effet Salle
Notation des fèces sur l'échelle de Bristol			
Note Bristol = 2	0	2	Chi² Non applicable
Note Bristol = 3	6	8	
Note Bristol = 4	18	17	
Note Bristol = 5	15	11	
Note Bristol = 6	0	0	
Note Bristol = 7	1	3	
Teneur en TPO (U/mg)	5,62	5,66	$P < 0,05$
Résultats des comptages de toux et éternuements			
% de cases avec des porcs qui toussent ou éternuent	35%	75%	P-Chi² $P < 0,05$
% de cases avec des porcs sans toux ni éternuement	65%	25%	
Risque de tousser ou d'éternuer (RTE)	0,54	3	$P < 0,05$

#### 2.3.3. Conséquences sur le nombre de porcs toussant ou éternuant

Le tableau 3 présente également les résultats du comptage des toux et des éternuements, qui dépendait de la salle ( $P\text{-Chi}^2 < 0,05$ ) : 75 % des cases du salle B avaient des porcs qui toussaient ou éternuaient le jour du bilan contre 35% dans la salle A.

Le RTE était de 0,54 dans la salle A et 3,00 dans la salle B, l'OR prenait donc la valeur de 5,5.

Ainsi, le lendemain de « l'incident », le risque de tousser ou d'éternuer était multiplié par 5,5 ( $P < 0,05$ ) pour les porcelets de salle B par rapport à ceux de la salle A (sans « incident »).

### 3. DISCUSSION

Dans un essai réalisé ultérieurement (printemps 2021) dans la même station (Guillou, communication personnelle), une panne de ventilation a affecté une salle pendant un week-end en période de 1<sup>er</sup> âge. Les écarts observés accidentellement pendant 24h étaient d'une magnitude comparable à notre simulation « d'incident » (minimum à 23°C écart à la consigne de 5°C). Cette observation indépendante du présent essai valide le mode opératoire mis en œuvre pour simuler un incident de chauffage en post-sevrage, malgré la différence de durée (7h en essai, 24h pour la vraie panne).

Les consignes de température en élevage ont pour objectif de maintenir le porc dans une zone de confort thermique, limitant le besoin de production de chaleur. Dans l'essai présenté, lors de « l'incident », la température avait atteint 19,1°C à son minimum, c'est-à-dire un écart à la consigne de 7,6°C. Cette température restait toutefois supérieure à la Tci des porcelets de 15 kg (Miller, 2012). Comme l'adjectif critique l'indique, la Tci représente une limite aux capacités d'adaptation de l'animal. Il est donc vital de ne pas exposer des porcelets à ce type de condition d'élevage.

Les résultats zootechniques de cet essai indiquent que des adaptations du porcelet sont mesurables même après un incident de courte durée (7 heures). L'augmentation de la consommation observée dans cet essai est en accord avec d'autres études (Madec *et al.*, 2003 ; Renaudeau *et al.*, 2012 ; Yu *et al.*, 2021). Ayant passé la période critique du sevrage, les porcelets étaient en capacité d'adapter leur consommation alimentaire aux conditions d'environnement, et le refroidissement subi semblait avoir stimulé leur appétit durablement. De manière remarquable, les jeunes animaux avaient maintenu leur vitesse de croissance, indiquant une adaptation réussie.

Dans cet essai, la baisse temporaire de température n'a pas induit de diarrhées ni d'augmentation de l'inflammation intestinale chez les porcelets, en accord avec les résultats de Yu *et al.* (2021). Des diarrhées seraient probablement survenues si « l'incident » avait duré plus longtemps ou s'il avait eu lieu dans la 1<sup>ère</sup> ou la 2<sup>ème</sup> semaine suivant le sevrage. En effet, durant cette période critique, la barrière intestinale est plus fragile (Madec *et al.*, 2003 ; Vente-Spreeuwenberg *et al.*, 2003 ; Wathes *et al.*, 1989). Par ailleurs, il est à noter que certains porcelets présentaient des niveaux d'inflammation élevés pour leur âge et leur niveau d'ingestion (Lemoine *et al.*, 2019). Ces animaux étaient répartis équitablement dans les deux salles en essai, ce qui indique probablement une sensibilité supérieure chez certains individus, sans lien avec les conditions environnementales.

Nos résultats révèlent l'effet de « l'incident » sur la fonction respiratoire. Chez l'Homme, il existe des récepteurs dit irritants, qui transmettent des informations sur la composition chimique et la température des gaz ventilés. Ces récepteurs sont sensibles à l'irritation du larynx et des bronches et déclenchent la toux et/ou l'éternuement (Mazzone, 2005 ; Jammes, 2013). Ces phénomènes sont le signe d'une réponse physiologique normale à l'irritation, même en l'absence d'infection. La baisse temporaire de la température dans la salle B a donc provoqué une irritation des voies respiratoires des porcelets, qui s'est traduite par une augmentation de la fréquence de toux et d'éternuements. L'absence de soins médicamenteux en 2<sup>ème</sup> âge pourrait indiquer une absence d'infection malgré ces symptômes précoces. En raison de la durée réduite de l'exposition au froid, il est probable que les défenses immunitaires des animaux et l'augmentation de l'ingéré suffisaient à les protéger.

La baisse transitoire de température pourrait également stimuler l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien et induire du stress (Moisan *et al.*, 2012). Or, d'après Hyun *et al.* (1998), les conséquences zootechniques et physiologiques de différents stress en élevage sont additives. Au-delà de sa durée limitée, notre simulation « d'incident » n'associait pas plusieurs dysfonctionnements de matériels, ni de rupture d'alimentation ou d'abreuvement, ni de circulation de pathogènes saisonniers, *etc.* Les réponses inflammatoires et sanitaires auraient probablement été plus importantes dans un contexte moins favorable. En effet, les catécholamines produites en réponse à un stress peuvent rendre l'animal plus sensible aux micro-organismes présents dans son environnement que ce soit au niveau de l'épithélium intestinal ou de l'épithélium bronchique (Lyte *et al.*, 2019).

Ces résultats, décrivant des relations entre les variations du milieu physique d'élevage et l'utilisation de l'aliment, suggèrent que la simulation d'incident de chauffage pourrait permettre d'étudier les effets de variations de composition des aliments sur la sensibilité ou la résistance des porcelets aux pathologies respiratoires.

### CONCLUSION

Une baisse de courte durée de la température ambiante en post-sevrage, de 7,6°C en dessous température de consigne, a dégradé significativement l'IC des porcelets et a augmenté l'irritation des voies respiratoires. Cela pourrait constituer un modèle expérimental pour l'étude des effets de mesure préventives, via l'alimentation par exemple, sur la robustesse des porcs, dans la mesure où tous les paramètres demeureraient confinés dans des bornes acceptables pour le respect du bien-être animal.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bradley P.P., Priebe D.A., Christensen R.D., Rothstein G., 1982. Measurement of cutaneous inflammation: estimation of neutrophil content with an enzyme marker. *J. Invest. Dermatol.*, 78, 206-209.
- Delteil et Meymerit, 2012. Pathologie respiratoire, in Manipulations, interventions et appréciations en élevage porcin, 111, édition Educagri.
- Elmore M.R.P., Garner J.P., Johnson A.K., Kirkden R.D., Richert B.T., Pajor E.A., 2011. Getting around social status: Motivation and enrichment use of dominant and subordinate sows in a group setting. *APPL ANIM BEHAV SCI* 133(3-4) 154-163.
- Hyun Y., Ellis M., Riskowski G., Johnson R. W., 1998. Growth performance of pigs subjected to multiple concurrent environmental stressors. *J Anim Sci*, 76,721-727.
- Jammes, 2013. Physiologie du contrôle ventilatoire [www.aem2.org/wp-content/uploads/2011/05/3-Physiologie-du-contrôle-ventilatoire-PARTIE-1\\_2-CORRIGEE.pdf](http://www.aem2.org/wp-content/uploads/2011/05/3-Physiologie-du-contrôle-ventilatoire-PARTIE-1_2-CORRIGEE.pdf), consulté le 23/09/2021.
- Lemoine N., Fautrel A., Techer M., Guillou D., 2018. Validation of a quantitative biomarker of gut inflammation in weaned piglets. *Adv. Anim. Biosci.* 9(S2), 250.
- Lemoine, N., Favier, C., Techer, C., Guillou, D., 2018. Factors influencing faecal myeloperoxidase in piglets from trials without in-feed therapeutics. In Proceedings of the Zero Zinc Summit, Copenhagen, Denmark, 17–18 June 2019; pp. 3–12.
- Lewis S.J., Heaton K.W., 1997. Stool form scale as a useful guide to intestinal transit time. *Scand J Gastroentero* 32:9, 920-924.
- Lyte M., 2016. Microbial endocrinology in the pathogenesis of infectious disease. *Microbiol Spectrum* 4(2), VMBF-0021-2015.
- Madec F., Le Dividich J., Pluske J.R., Verstegen M.W.A., 2003. Environmental requirements and housing of the weaned pig. In: J.R. Pluske, J. Le Dividich; M.W.A. Verstegen Eds. Weaning the pig, concept and consequences, 337-360, Wageningen Academic Publishers.
- Mazzone B., 2005. An overview of the sensory receptors regulating cough, *Cough*, 4, 1-2.
- Miller T.G., 2012. "Swine Feed Efficiency: Influence of Temperature", Iowa Pork Industry Center Fact Sheets. 11.
- Moisan M.P., Le Moal, M., 2012. Le stress dans tous ses états, *Med Sci*, 28 612–617.
- Ramonet Y., Etoire F., Fabre A., Laval A., Nielsen B, 2017. Abreuvement des porcs : état des connaissances et conséquences sur le bien-être des animaux et la gestion des effluents chez des porcs alimentés en soupe, *Journées Rech. Porcine*, vol.49, pp. 139-150.
- Renaudeau D., Glibert H., Noblet J., 2012. Effect of climatic environment on feed efficiency in swine. 183–210 In: Patience J.F. (eds) Feed efficiency in swine. Wageningen Academic Publishers.
- Sandrini S., Alghofaili F., Freestone P., Yesilkaya H., 2014. Host stress hormone norepinephrine stimulates pneumococcal growth, biofilm formation and virulence gene expression, *BMC Microbiol*, 14,180.
- Tallet C., Courboulay V., Devillers N., Meunier-Salaün M.-C., Prunier A., Villain A., 2020. Mieux connaître le comportement du porc pour une bonne relation avec les humains en élevage. *INRAE Prod. Anim.*, 33, 81–94.
- Taylor N. R., Main D. C. J., Mendl M., Edwards S. A., 2010. Tail-biting: A new perspective. *Vet. J.* 186, 137–147.
- Vente-Spreeuwenberg M.A.M., Beymen A.C., 2003. Diet-mediated modulation of small intestinal integrity in weaned piglet. In: J.R. Pluske, J. Le Dividich; M.W.A. Verstegen Eds. Weaning the pig, concept and consequences, 145-185, Wageningen Academic Publishers.
- Wathes, C., Miller, B., & Bourne, F., 1989. Cold stress and post-weaning diarrhea in piglets inoculated orally or by aerosol. *Anim Sci*, 49 : 489-496.
- Yu J., Chen S., Zeng Z., Xing S., Chen D., Yu B., He J., Huang Z., Luo Y., Zheng P. 2021. Effects of Cold Exposure on Performance and Skeletal Muscle Fiber in Weaned Piglets, *Animals*, 11, 21-48.

# Evaluation de la puberté de cochettes Landrace français et indentification de facteurs de variation

Sylviane BOULOT (1), Armelle PRUNIER (2), Marie-José MERCAT (1), Raphaël COMTE (2), Loïc FLATRES-GRALL (3), Aurélie LE DREAU (4), Hélène QUESNEL (2), Catherine LARZUL (5)

(1) IFIP-Institut du porc, Alliance R&D; La Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu, France

(2) INRAE, Institut Agro, PEGASE, Le Clos, 35590 Saint-Gilles, France

(3) AXIOM, Azay-sur-Indre, France

(4) SAS NUCLEUS, 35650 Le Rheu, France

(5) Université de Toulouse, INRAE, ENVT, GenPhySE, 24 chemin de Borde-Rouge, 31326 Castanet-Tolosan, France

sylviane.boulot@ifip.asso.fr

## Evaluation of puberty of French Landrace gilts and identification of variation factors

While insemination at first estrus is not recommended, most studies agree on the benefits of early puberty, both for reproductive performance and sow longevity. In the swine population in France, sexual maturity is expected at ca. 200 days of age. Although age at puberty is crucial information, it is not recorded on farms. Since selection for low boar taint influences male puberty, it raises questions about its potential side effects on female reproductive ability. This study was carried out as part of a project that assessed impacts of selection against boar taint on the reproduction of Landrace females. The sexual maturity of 1878 gilts at ca. 200 days of age was evaluated on five farms using quantitative plasma progesterone analysis in two blood samples taken 10 days apart. Cut-off values of 2.5 or 5.0 ng/mL gave similar estimates of 19% immature gilts, with a large variation among farms (8-49%). Insemination was not performed for 4% of gilts, 9% were re-inseminated during the first cycle and 15% did not farrow. The rate of early-reproduction difficulties varied greatly among farms. The influence of immaturity at 200 days was generally low, with a large farm effect. Further investigation is required to analyze long-term effects of late puberty.

## INTRODUCTION

Si une insémination des cochettes au premier cycle est déconseillée, beaucoup d'études s'accordent sur les bénéfices d'une puberté précoce sur la carrière reproductive et la longévité (Patterson *et al.*, 2010, Tart *et al.*, 2013). Pour un âge minimum d'un an à la première mise bas, on attend une puberté vers 200 jours d'âge. Alors qu'il s'agit d'un critère essentiel, variable selon les types génétiques et la conduite, l'âge à la puberté n'est pas enregistré en élevage en routine. Pourtant il existe plusieurs méthodes d'exploration : immobilité au verrat, échographie, dosages hormonaux (Martinat-Botté *et al.*, 2003). Dans le cadre d'une sélection génétique en vue de limiter les risques d'odeurs chez les mâles non castrés, les conséquences sur la reproduction des femelles posent question. En effet, la sélection contre l'accumulation d'androsténone, via de faibles niveaux d'œstradiol plasmatiques, impacte le développement pubertaire des jeunes verrats. Sans que les liens entre le développement pubertaire des mâles et des femelles soient bien établis, la corrélation génétique entre le niveau de stéroïdes des mâles et des femelles peut être très élevée (Brinke *et al.*, 2021). Cette étude s'inscrit dans un projet portant sur la relation entre les niveaux d'odeurs des mâles et la reproduction des femelles en lignée Landrace. L'objectif est ici de caractériser l'état de maturité sexuelle des truies autour de 200 jours d'âge,

et d'estimer l'impact d'un retard éventuel sur leur mise à la reproduction.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et prélèvements

Les truies étudiées font partie des noyaux de sélection Landrace français. Cinq élevages de sélection ont été impliqués dans l'étude. Deux échantillons de sang ont été collectés dans des tubes héparinés au niveau de la veine jugulaire, à 10 jours d'intervalle autour de 200 jours d'âge. Après centrifugation, le plasma a été conservé à -20°C. Au total, 1878 cochettes ont été prélevées. Elles ont été mises à la reproduction après synchronisation selon les procédures habituelles des élevages.

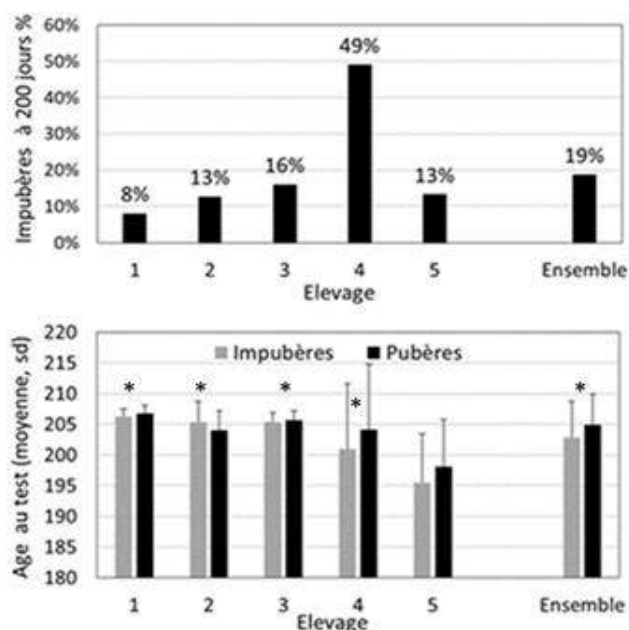
### 1.2. Mesures et enregistrements

Les concentrations en progestérone ont été mesurées au laboratoire de l'UMR PEGASE à l'aide de kits ELISA (ST AIA-PackPROGIII, Tosoh Corporation, Tokyo, Japon) mis au point pour un analyseur automatique (AIATosoh Corporation, Tokyo, Japon). Les cochettes ont été déclarées pubères lorsqu'au moins un de leurs prélèvements dépassait un seuil de cyclicité fixé à 2,5 ou 5,0 ng/mL (Boulot et Sallé, 2008 ; Silalahi *et al.*, 2016). Les nombres de cochettes pubères étant peu différents selon les seuils (écart de 12 femelles), la valeur de 2,5 ng/mL a

été retenue. Les données sur les chaleurs, les inséminations, les retours, les mises-bas et les réformes ont été transmises par les éleveurs et ont fait l'objet d'analyses descriptives.

## 2. RESULTATS DISCUSSION

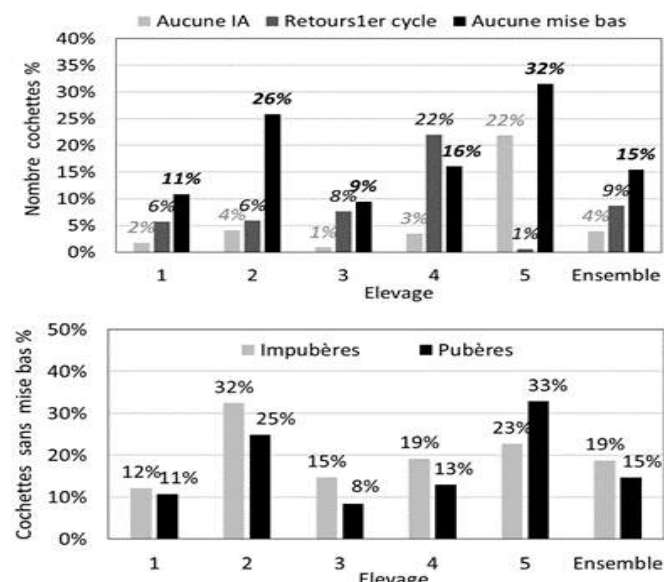
L'âge moyen des animaux lors du prélèvement était de  $204 \pm 6$  jours, avec un écart entre les deux prélèvements de 9 à 11 jours. Au total, sur la base des dosages, 351 femelles ont été déclarées impubères, soit 19% des cochettes. Elles étaient en moyenne 3 jours plus jeunes que les pubères ( $p < 0.05$ ). La fréquence des femelles immatures varie fortement selon les élevages entre 8 et 49% sans lien apparent avec des écarts d'âge aux tests (Figure 1). Si la puberté apparaît généralement entre 180 à 200 jours d'âge (Silalahi *et al.*, 2016), la vitesse de maturation peut présenter une forte variabilité, en lien avec des différences de conduites d'élevage (Boulot *et al.*, 2006).



**Figure 1** - Taux de cochettes impubères (a) et âge moyen au prélèvement sanguin (b) selon la maturité et les élevages (Test T Student : \* =  $P < 0,05$ )

L'âge à la puberté n'a pas été calculé faute de tests hormonaux ou de contrôles d'œstrus répétés dans le temps. Les progestéronémies élevées dès le premier prélèvement suggèrent des pubertés avant 200 jours d'âge dans 52% des cas. De plus, avec une première insémination enregistrée en moyenne à 270 jours d'âge, les femelles pubères pouvaient réaliser au moins trois cycles avant la mise à la reproduction. Ce délai permet aussi théoriquement aux cochettes immatures à 200 jours d'avoir au moins un cycle avant leur

synchronisation. Néanmoins, 4% des cochettes n'ont pas pu être inséminées ou ont été réformées pour non venues en chaleur, 9% ont été ré-inséminées suite à des retours au premier cycle et finalement 15% n'ont eu aucune mise bas (Figure 2). Ces problèmes apparaissent à des fréquences très variables selon les élevages et le degré de maturité des cochettes à 200 jours a globalement peu d'impact, avec des différences selon les troupeaux. En effet, la politique de gestion des retours propre à chaque élevage impacte le taux de première mise-bas, soit favorablement (ré-inséminations multiples), soit défavorablement (réforme systématique).



**Figure 2** - a) Fréquence des problèmes de reproduction des cochettes et b) pourcentage de cochettes sans mise-bas selon leur maturité à 200 jours et les élevages (Effet non significatif ( $P > 0.05$ ) de la maturité, Test de Chi2)

## CONCLUSION

Ce travail confirme que l'exploration hormonale de la puberté est un outil de diagnostic utilisable dans une démarche de phénotypage. Le degré de maturité à 200 jours d'âge peut varier fortement selon les élevages, et les causes sont à préciser. Enfin, l'impact du niveau d'odeurs des mâles sur la reproduction des femelles sera à étudier au-delà du premier cycle.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les entreprises de sélection Axiom et Nucléus, membres de Alliance R&D, et leurs éleveurs, pour leur forte implication. Ce travail a bénéficié du soutien financier de l'Institut Carnot France Futur Elevage (projet NoCast).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boulot S., Morvan R., Martinat-Botté F., 2006. Conditions de mise en œuvre et intérêt du contrôle échographique de puberté en élevage porcin. Journées Rech. Porcine, 38, 475-482.
- Boulot S., Sallé E., 2008. Accuracy of a rapid ELISA Test Kit to measure progesterone in sows. In: Proc 20<sup>th</sup> IPVS Congress, Durban, South Africa, O.07.10, p. 216.
- Brinke I., Grosse-Brinkhaus C., Roth K., Pröll-Cornelissen M.J., Klein S., Schellander K., Tholen E., 2021. Endocrine fertility parameters—genomic background and their genetic relationship to boar taint in German Landrace and large white. Animals, 11, 231.
- Martinat-Botté F., Royer E., Venturi E., Boisseau C., Guillouet P., Furstoss V., Terqui M., 2003. Determination by echography of uterine changes around puberty in gilts and evaluation of a diagnosis of puberty. Reprod. Nutr. Dev., 43, 225-236.
- Patterson J.L., Beltranena E., Foxcroft G.R., 2010. The effect of age at first estrus and breeding on third estrus on sow body weight changes and long-term reproductive performance. J. Anim. Sci., 88, 2500-2513
- Silalahi P., Tribout T., Prunier A., Billon Y., Gogué J., Bidanel J. P., 2016. Estimation of the effects of selection on French Large White reproductive performance using frozen semen. J. Anim. Sci., 94, 3655–3662.

# Des clés de réussite pour la conduite des truies libres en verraterie

Camille GERARD (1), Marie-Lou BERNARD (1), Rémi BERTHEVAS (2), Dorothee DESSON (3), Gabriel MANACH (4),  
Mélanie ROPARS (5)

(1) Chambres d'Agriculture de Bretagne, 4 avenue du chalonger sans pitié, 22190 Plérin, France

(2) Porélia, Petite Vallée, 29190 Pleyben, France

(3) Eureden, ZAC de Kervidanou 3 – 34 rue Ferdinand Buisson, 29300 Mellac, France

(4) Porc Armor Evolution, ZI Sud Très le Bois, Imp. Monge, 22600 Loudéac, France

(5) Evel'up, 1 rue Georges Guynemer, 22190 Plérin, France

camille.gerard@bretagne.chambagri.fr

## Keys for success of group housing of sows from weaning to farrowing

Reducing or prohibiting of the restraining of animals has become a current subject in today's societal debates about improving animal welfare on pig farms. According to French regulations, pregnant sows must be housed in groups one month after being inseminated. On a few farms, sows are not restrained before insemination or during the month following it, but this practice is considered risky for the implantation of the embryo in the uterus. A survey was performed to investigate how farmers can group-house their sows after weaning or immediately after inseminating. Thirty-eight farmers who group-housed their sows were interviewed about their practices, work organisation, opinions and advice about group-housing sows. They were grouped according to the moment when they group their animals: some group their sows immediately after weaning; others group their sows after weaning, then restrain them for reproduction, and group them again; while others also restrain their sow from weaning to the end of the artificial inseminations. The equipment used for housing was diverse: electronic sow feeders with static and dynamic groups, free-access stalls and short stalls on straw litter or slatted floors. While the respondents' housing systems differed, common strategies appeared for lot management, group creation and gilt management. Although adjustments remain to be made, all of the farmers who were surveyed are satisfied and would not change their group-housing system.

## INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Dans la majorité des élevages en France, les truies sont logées en stalles individuelles au cours du premier mois de gestation, conformément à la réglementation. La contention des truies est cependant remise en question. Suite à l'initiative citoyenne "End the Cage Age", la Commission Européenne s'est engagée à proposer une révision de la législation sur le bien-être des animaux d'ici fin 2023. Elle pourrait acter l'arrêt de la contention des truies.

L'Allemagne a voté la fin de la contention des truies en verraterie pour 2028, le Danemark pour 2035. La contention des truies en gestation est déjà interdite en Suède et aux Pays-Bas au maximum 10 jours après l'insémination artificielle (IA).

L'usage de bloquer les truies jusqu'à 28 jours après IA vise à prévenir les risques d'avortements et de retours en chaleurs lors des phases critiques physiologiques autour du 12<sup>ème</sup> au 18<sup>ème</sup> jour après IA (Boulot, 2010).

Cependant, l'élevage de truies libres dans la phase verraterie est depuis longtemps pratiqué par quelques éleveurs (Caille *et al.*, 2009).

Les objectifs de cette étude sont d'identifier les points de vigilance et facteurs de réussite de cette conduite.

## MATERIEL ET METHODES

Une enquête a été réalisée dans 38 élevages qui conduisent leurs truies en liberté pour tout ou partie de la phase qui suit le sevrage et le début de gestation. Cette phase de verraterie sera considérée en liberté dès lors qu'il y a libération des truies avant les 28 jours suivant l'IA. L'enquête consistait en un entretien semi-directif et une visite d'élevage. Le questionnaire abordait les motivations et ressentis des éleveurs ainsi que leurs conditions de travail, les bâtiments, la conduite des truies du sevrage jusqu'à l'IA, la santé et les performances des truies. Cette publication traite essentiellement de la gestion des truies et des facteurs de réussite de cette conduite.

## 1. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 1.1. Description de l'échantillon des éleveurs enquêtés

Les élevages ont en moyenne 193 truies présentes (min 60 ; max 640) et 30 truies par bande (min 10 ; max 85). Les conduites en bandes sont variées (3, 4, 5, 7, 10 et 21 bandes), avec une majorité de conduite en 7 bandes (19 élevages) et 5 bandes (9). Le sevrage est pratiqué à 28 jours dans 23 élevages, à 21 jours dans 14 et à 42 jours dans un élevage biologique. En moyenne, cette conduite est pratiquée depuis plus de 13 ans (min : 6 mois, max : 41 ans).

## 1.2. Gestion des truies selon le jour de la libération et le logement

Trois stratégies sont utilisées dans les élevages au cours de la semaine qui suit le sevrage.

- Truies libres en groupe dès le sevrage (groupe LIBSEV), 12 élevages

Dans le groupe LIBSEV, les truies ne sont pas bloquées du sevrage à la fin de gestation, sauf ponctuellement lors d'interventions sur les truies. Le logement en verraterie est de type réfectoire-courette pour neuf élevages, de type bat-flanc avec des groupes de 6 à 10 truies pour un élevage, et équipé d'un DAC statique pour un élevage. Huit éleveurs bloquent les truies pour les IA parmi lesquels six moins de 24 heures et deux juste le temps de l'acte d'IA. Les autres réalisent les IA en liberté, notamment grâce aux sondes d'auto-insémination. Dans deux élevages, les truies restent dans la même case jusqu'à l'entrée en maternité suivante (un DAC statique et un réfectoire courette). Dans les autres, les truies sont transférées en salle de gestation spécifique : sept en réfectoire courette, deux dans une case avec auges et un en case bat-flancs.

- Truies libres en groupe au sevrage, puis contention en stalle individuelle pendant 3 à 5 jours, et libération définitive après les IA (groupe LIBSEVIA), 11 élevages

Dans ce groupe, la contention temporaire des truies est d'abord justifiée par le travail - elle permet aux éleveurs de réaliser les inséminations sur des femelles bloquées -, par la conservation de l'état corporel des truies et pour éviter les chevauchements pendant les chaleurs. Dans tous ces élevages, les truies sont logées en réfectoire courette, avec un sol caillebotis (8 élevages) ou mixte paille/caillebotis (3 élevages). Pendant les IA, les éleveurs bloquent leurs truies 3 à 10 jours, puis les truies sont transférées en salle de gestation : DAC dynamique (8 élevages), DAC statique (2 élevages), réfectoire-courette (3 élevages), petits groupes bat-flanc (2 élevages).

Dans les deux groupes LIBSEV et LIBSEVIA, les éleveurs expliquent préférer libérer leurs truies dès le sevrage pour générer de meilleures venues en chaleur, que les truies se sociabilisent en verraterie et soient plus calmes en gestation.

- Truies logées en stalle individuelle après le sevrage, et jusqu'à environ 3 jours après les dernières inséminations, pour être ensuite logées en groupes (groupe LIBIA), 15 élevages

Dans le groupe LIBIA, la contention des truies dure une dizaine de jours. Les éleveurs réduisent la contention tout en s'assurant qu'elles récupèrent un bon état corporel pour la gestation. Les 15 élevages disposent d'une verraterie spécifique avec réfectoires fermés, sur caillebotis. Après IA, les truies sont directement transférées dans la salle de gestation : DAC dynamique (8 élevages), DAC statique (2 élevages), réfectoire-courette (3 élevages), petits groupes bat-flanc (2 élevages). Le transfert a lieu : moins d'un jour après IA dans un élevage, 1 à 2 jours après IA pour 9 élevages, 3 jours après IA pour 3 élevages et 5 à 6 jours après IA pour 2 élevages. Idéalement, pour limiter

le stress pendant les phases critiques, il faudrait libérer les truies moins de 3 jours après l'IA (Caille *et al.*, 2009).

## 1.3. Les précautions pour la mise en groupe des truies

La mise en groupe des animaux est un moment crucial pour réussir cette conduite. Les règles d'allotement utilisées par les éleveurs en début de gestation sont globalement les mêmes que celles utilisées 28 jours après IA lors du regroupement des truies en salle de gestation. On retrouve la constitution de groupes de truies homogènes sur le plan corporel, la paille fraîche pour les élevages sur litière, la prise en amont du repas ou non, l'utilisation de produits calmants le jour du regroupement... Les éleveurs reconnaissent l'importance d'accepter que des interactions agressives aient lieu pour la mise en place de la hiérarchie, tout en intervenant en cas de blessures.

## 1.4. Avantages de la verraterie en liberté

Les éleveurs enquêtés ont identifié de nombreux avantages à cette conduite. Le bien-être animal est cité 13 fois avec la satisfaction des éleveurs de voir les truies en groupe. Les conditions de travail sont jugées améliorées par 11 éleveurs. Certaines conduites permettent de réduire le déplacement des truies, et les éleveurs n'ont plus à racler les déjections derrière les truies. Huit éleveurs relatent de meilleures venues en chaleurs, le comportement plus calme des animaux (7), une meilleure relation homme-animal (7) et des bonnes performances (6). Les performances obtenues sur 12 élevages montrent qu'elles sont bonnes avec cette conduite : le nombre moyen de porcelets nés vifs par portées est de  $15 \pm 0,8$ , les morts nés par portée de  $1,1 \pm 0,3$ , l'intervalle sevrage-saillie première est de  $4,9 \pm 0,6$  jours, l'intervalle sevrage-saillie fécondante de  $6,9 \pm 1,6$  jours, le taux de fécondation en saillie première de  $93 \pm 3,7\%$ . Les inconvénients identifiés sont l'agressivité des truies et les boiteries, même si la majorité des éleveurs jugent la période d'agressivité modérée et courte, la gestion des retours et les interventions sur les truies en liberté.

## 1.5. Motivations des éleveurs pour cette conduite

Plusieurs motivations expliquent le choix des éleveurs pour pratiquer cette conduite. On retrouve à égalité, cités 11 fois, le bien-être animal et des choix techniques lors de la mise en groupe des truies gestantes. Face à l'impossibilité d'agrandir leur bâtiment de gestation, certains ont dû réagencer leur verraterie et opter pour une conduite en groupe. D'autres se sont lancés car le bâtiment s'y prêtait bien. Neuf éleveurs étaient familiers de ce système.

## CONCLUSION

Limiter la contention des truies du sevrage à la mise-bas est possible, avec de bonnes conditions de travail pour les éleveurs, et de bonnes performances. Pour des éleveurs qui ont des truies bloquées, cette pratique demanderait de revoir le parc de bâtiments et l'agencement des salles avec les places nécessaires entre la phase de verraterie et celle de gestation.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Communication de la commission relative à l'initiative européenne « End The Cage Age, 2021. [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=C\(2021\)4747&lang=fr](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=C(2021)4747&lang=fr) [consulté le 27 septembre 2021] »
- Boulot S., 2010. Bases physiologiques de la reproduction et lien avec la conduite des truies en groupe, *TechniPorc*, Vol 33, N°6, 15-17
- Caille M-E., Ramonet Y., Quillien J-P., Jegou J-Y., 2009. Enquêtes en élevages passés aux truies gestantes en groupes depuis la mise en application des normes « bien-être ». Rapport d'étude, CRAB, 37 p.

# Performances et comportements dans des loges de mise bas avec truies en liberté adaptées à l'élevage biologique

Ariane DEKEUWER (1), Vincent SERVAIS (1), Xavier KINIF (1), Myriam DELHAYE (2), José WAVREILLE (1)

(1) Centre wallon de Recherches agronomiques, Rue de Liroux 9, 5030 Gembloux, Belgique

(2) Elevéo secteur porcin, Rue des Champs Elysées 4, 5590 Ciney

a.dekeuwer@cra.wallonie.be

## Sow performance and behavior in organic free-farrowing pens

To improve animal welfare, free-farrowing systems are becoming common in many European countries. The aim of this study, which started in June 2019 and is still ongoing, was to evaluate sow and piglet performance and behavior in organic free-farrowing pens (WelCon bio, Schauer®) in Wallonia. The organic pig farm, which contains eight farrowing crates and two free-farrowing pens, has ca. 20 crossed Duroc × Landrace sows. The sows were housed on solid ground and straw bedding. In total, 113 sows (91 in farrowing crates (C) and 22 in free-farrowing pens (L)) were studied for performance. To study behavior, 15 L sows were filmed 24 hours a day, from the day before farrowing to the 5th day post-partum. For L sows, behavior was compared of Lf sows (in pens when the outside temperature around farrowing was below the average ( $12.3 \pm 5.3^\circ\text{C}$ ),  $n = 7$ ) and Lc sows (in pens when the outside temperature was above  $12.3 \pm 5.3^\circ\text{C}$ ,  $n = 8$ ). Regarding performance, no significant difference was observed between the treatments. On average, there were  $12.4 \pm 3.2$  and  $12.6 \pm 2.9$  live-born piglets per litter and  $9.3 \pm 2.1$  and  $10.1 \pm 1.9$  weaned piglets per litter for C and L sows, respectively. During nest building, Lc sows spent significantly ( $P < 0.05$ ) more time in the outdoor area. After farrowing, Lf sows carried more straw ( $P < 0.01$ ) and spent less time ( $P < 0.05$ ) in the outdoor area. Lf piglets spent more time in the nest ( $P < 0.001$ ).

## INTRODUCTION

Les loges avec liberté de mouvement se développent dans de nombreux pays d'Europe en vue d'améliorer le bien-être des truies. De plus, depuis juin 2021, le Parlement européen envisage une suppression totale des cages de contention individuelle en maternité dans les élevages pour 2027. La liberté de mouvement et la présence de paille permettent aux truies d'être mieux préparées pour la mise bas. Elles ont, en effet, la possibilité d'exprimer un comportement naturel de fouille, d'exploration et de construction d'un nid (Baxter *et al.*, 2010). La présente étude a pour objectif d'étudier les performances et les comportements des animaux dans des loges, avec liberté totale de mouvement, adaptées à l'élevage biologique.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Cadre expérimental et animaux

L'expérimentation s'est déroulée dans un élevage wallon de porcs biologiques à Fosses-La-Ville en Belgique. L'élevage est constitué d'une vingtaine de truies croisées Duroc x Landrace. La maternité comprend huit cases d'une superficie de  $8 \text{ m}^2$  avec contention durant la mise bas et deux loges avec liberté totale de mouvement, WelCon Bio Schauer®, « Welfare for animals and convenience for farmers », de  $13,75 \text{ m}^2$  dont  $6,25 \text{ m}^2$  de parcours extérieur. Les loges avec liberté sont constituées de trois zones fonctionnelles : allaitement/mise bas sur sol plein et litière de paille, alimentation et déjections. Elles sont également équipées d'une niche d'un mètre carré avec radiant électrique et d'une barre anti-écrasements.

### 1.2. Dispositions expérimentales et analyses des données

#### 1.2.1. Dispositions expérimentales

Au total, 91 truies en cases (C) et 22 en loges avec liberté (L) ont été étudiées, de juin 2019 à juillet 2021, pour les performances. Le rang de portée moyen des truies était de  $4,8 \pm 3,0$  (de 1 à 13). Pour les comportements, 15 truies L ont été observées de juin 2019 à mai 2021. Le rang de portée était de  $3,9 \pm 2,5$  (de 1 à 10). Les truies L ont été divisées en deux catégories selon la température moyenne extérieure mesurée la semaine autour des mise bas (CRA-W/Agromet.be). Les truies Lf ( $n = 7$ ) ou Lc ( $n = 8$ ) ont mis bas lorsque la température moyenne était respectivement inférieure (période froide, f) ou supérieure (période chaude, c) à la moyenne globale de  $12,3 \pm 5,3^\circ\text{C}$ .

#### 1.2.2. Mesures et observations

Les performances des truies C et L ont été déterminées et comparées. Les comportements des truies L ont été observés via trois caméras, une extérieure et deux intérieures, filmant 24/24h. Les comportements et déplacements des truies L ont été analysés de 24 heures pré mise bas au 5<sup>ème</sup> jour post partum compris. Les comportements des porcelets ont été observés de la mise bas au jour 5. Un score de mise bas a également été attribué aux truies (Martineau et Morvan, 2010).

#### 1.2.3. Analyses statistiques

Les données de performances ont été traitées par une analyse de variance (logiciel Minitab) avec le type de logement (C ou L) et la parité (1 ou > 1) en facteurs fixes croisés et la portée comme unité expérimentale. Les données de comportements ont été traitées par une analyse de variance avec la température extérieure (< ou >  $12,3^\circ\text{C}$ ) en facteur fixe et la portée comme unité expérimentale.



## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Performances

**Tableau 1** – Performances des truies C et L

Critère	C	L	ETR <sup>1</sup>	Effet <sup>2</sup>
Effectif, N	91	22		
Nés totaux/portée	14,4	14,4	0,35	NS
Nés vivants/portée	12,4	12,6	0,30	NS
Nés morts/portée	2,0	1,7	0,17	NS
Sevrés/portée	9,3	10,1	0,20	NS
Nés vivants/nés totaux, %	87,4	88,2	1,13	NS
Sevrés/nés totaux, %	68,5	72,4	1,77	NS
Sevrés/nés vivants, %	78,4	82,1	1,70	NS

<sup>1</sup>ETR : écart-type résiduel. <sup>2</sup>NS : non significatif ; \* : P<0,05 ; \*\* : P<0,01 ; \*\*\* : P<0,001.

Les performances des truies sont présentées dans le Tableau 1. Elles ont été similaires pour les truies C et L, il n'y a pas eu de différence significative entre les traitements.

### 2.2. Observations et comportements

La construction du nid pour la mise bas a duré, en moyenne, 11h31 ± 5h16. Durant cette période, les truies Lc ont passé significativement ( $P < 0,05$ ) plus de temps à l'extérieur et ont passé moins de temps à manipuler la paille que les truies Lf. En effet, les truies adaptent la construction de leur nid aux conditions environnementales (Jensen, 1989). Lorsque les températures sont basses, il y a une hausse significative du comportement de construction du nid et de fouille (Wischner *et al.*, 2009). Parmi les 10 positions de mise bas prédéfinies dans la loge, la majorité des truies (31,5%) ont mis bas dans la position idéale, c'est-à-dire allongées le long de la barre anti-écrasements avec le train arrière devant la niche. Cette position a été privilégiée en période froide. Les truies Lc ont davantage changé de posture et ont donc obtenu un score de mise bas plus élevé. Après la mise bas, les truies L ont passé la majorité de leur temps (79,1 ± 8,6%) à se reposer et à allaiter les porcelets. Presque tous les allaitements ont eu lieu à l'intérieur pour les truies Lf, 99,7 ± 0,5%, alors que 14,2 ± 12,4% des allaitements ont été observés à l'extérieur pour les truies Lc. Les truies Lf ont passé significativement ( $P < 0,01$ ) plus de temps à manipuler la paille tandis que les truies Lc ont été significativement ( $P < 0,05$ ) plus souvent à l'extérieur. Les porcelets des truies Lf ont mis plus de temps à se rendre à l'extérieur pour la première fois et se sont rendus plus rapidement dans la niche après la mise bas. Les porcelets Lf ont significativement ( $P < 0,001$ ) plus utilisé la niche. Les écrasements ont davantage eu lieu le jour de la mise

bas : 38,5 ± 4,2%. Ils ont diminué progressivement et ont été nuls au jour 5. Le nombre moyen d'écrasés était plus élevé pour les truies Lc, avec 2,4 ± 1,6, comparativement aux truies Lf, 1,2 ± 1,5.

**Tableau 2** – Observations et comportements des truies et des porcelets Lf et Lc

Critère	Lf	Lc	ETR <sup>1</sup>	Effet <sup>2</sup>
Effectif, N	7	8		
<b>Nidification</b>				
Nidification, h:m	12:15	10:54	1:31	NS
Manip. paille, %	50,2	30,2	5,4	NS
Repos, %	29,2	32,5	4,1	NS
Extérieur, %	10,7	29,9	4,4	*
Autre <sup>3</sup> , %	9,9	7,3	2,2	NS
<b>Mise bas</b>				
Mise bas, h:m	4:19	4:58	0:30	NS
Chgts de posture	5,8	12,9	2,9	NS
Score de mb <sup>4</sup>	0,8	1,1	0,2	NS
<b>Fin de mise bas à J5</b>				
Manip. paille, %	12,0	3,1	1,7	**
Repos et all., %	80,1	78,4	2,4	NS
Extérieur, %	3,7	15,5	2,5	*
Autre <sup>3</sup> , %	4,2	3,0	0,3	*
<b>Porcelets</b>				
1 <sup>ère</sup> sortie post-mb, j h:m	2 18:21	1 20:59	10:08	NS
1 <sup>ère</sup> fois niche post-mb, j h:m	20:36	1 12:47	5:11	NS
Utilisation niche fin mb à j 5, %	36,8	4,9	5,4	***

<sup>1</sup>ETR : écart-type résiduel. <sup>2</sup>NS : non significatif ; \* : P<0,05 ; \*\* : P<0,01 ; \*\*\* : P<0,001. <sup>3</sup>Autre : truie qui mange, marche ou qui est debout immobile.

<sup>4</sup>Score de mise bas : 0, truie calme et couchée ; 1, truie majoritairement couchée mais peut se lever occasionnellement ; 2, truie nerveuse qui se lève et se couche continuellement ; 3, truie très nerveuse et agressive envers les porcelets et l'éleveur.

## CONCLUSION

Les performances ont été similaires pour les truies C et L. La mortalité des porcelets n'a pas été significativement différente. Lors de la période de construction du nid et après la mise bas, les truies Lc se sont rendues significativement plus souvent à l'extérieur. Les truies Lf ont davantage manipulé la paille après la mise bas et les porcelets Lf ont significativement passé plus de temps dans la niche.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baxter E., Lawrence A., Edwards S., 2011. Alternative farrowing systems criteria for farrowing systems based on the biological needs of sows and piglets. *Animal*, 5, 580-600.
- Jensen P., 1989. Nest site choice and nest building of free-ranging domestic pigs due to farrow. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 22, 13-21.
- Martineau G., Morvan H., 2010. Maladies d'élevage des porcs. France Agricole Eds, Paris, 600 p.
- Minitab 17 Statistical Software, 2010. [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc. ([www.minitab.com](http://www.minitab.com)).
- Wischner D., Kemper N., Krieter J., 2009. Nest-building behaviour in sows and consequences for pig husbandry. *Livest. Sci.*, 124, 1-8.

# Premiers résultats sur les performances obtenues dans les maternités liberté aménagées à la station porcine de Crecom

Nicolas VILLAIN (1) et Yannick RAMONET (2)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Avenue Borgnis Desbordes, 56009 Vannes, France

(2) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, 4 Avenue du Chalutier Sans Pitié, 22190 Plérin, France

[nicolas.villain@bretagne.chambagri.fr](mailto:nicolas.villain@bretagne.chambagri.fr)

## Individual results for performances in the new temporary crating pens at the Crecom experimental farm

Two farrowing rooms on a fully slatted floor at the Crecom experimental farm were equipped with new temporary crating pens in June 2020. They were designed to offer maximum free space for sows and sufficient protected areas for piglets when opened. Working conditions were also considered when designing the new pens. One hundred and thirty-three farrowing events occurred in these new pens (72 sows). Only two sows were aggressive, while the others were considered "peaceful". Crates were opened a mean of 5.5 days after farrowing [range: 4-13 days] for a weaning date of 28 days. The mean number of live born piglets was 15.7, which equalled the herd reference in crates (CTL). The mean number of weaned piglets decreased to 12.0 (CTL: 12.6). In the meantime, mean weaning weight increased to 9.1 kg (CTL: 8.6 kg). A mean of 0.7 piglets were crushed when the sow was free. Fifty-six percent of the sows did not crush any piglets when free. Sows that farrowed only in these new pens (LIB) had a similar mean number of piglet deaths by crushing as the CTL (LIB:  $1.9 \pm 1.6$ ; CTL:  $1.9 \pm 1.8$ ). They also crushed significantly fewer piglets than sows that farrowed in both the crates and the new pens (BLO:  $3.7 \pm 2.5$ ). Seventy-six percent of sows from the LIB group did not crush piglets when free, compared to only 36% of sows from the BLO group.

## INTRODUCTION

La contention des animaux fait l'objet de vives critiques et, bien qu'elle soit permise par la réglementation (sauf en production biologique), la contention des truies en maternité n'y échappe pas. Cette dernière est concomitante à la rationalisation de l'élevage et effectuée afin de réduire les pertes de porcelets par écrasement. Dans le contexte actuel, les éleveurs français sont de plus en plus intéressés par les équipements permettant la liberté en maternité. Dans le cadre d'une rénovation ou de la construction d'un nouveau bâtiment, nombreux sont ceux qui s'équipent avec ce type de case (Bertin *et al.*, 2020). Cependant, nombreux sont aussi ceux qui craignent des conséquences sur leurs performances techniques à cause d'une augmentation des écrasements par les truies. En effet, Ramonet *et al.* (2018) rapportent une hausse des pertes par écrasement dans les cases de maternité en liberté à hauteur de 0,5 porcelets écrasés supplémentaires par portée. En outre, certains éleveurs décident de repeupler leur élevage et d'autres de conserver leur cheptel. Or, des études ont déjà montré l'importance de l'expérience des truies sur leurs performances en maternité (King *et al.*, 2019). Pour apporter des réponses aux éleveurs sur les performances des truies dans des cases permettant la liberté, nous avons suivi les performances du troupeau de l'élevage sur caillebotis de la station porcine des Chambres d'agriculture de Bretagne à Crecom qui en est équipé depuis juin 2020.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Description des cases

Les cases installées en 2020 à la station de Crecom sont un modèle prototype réalisé par Galvelpor. Elles ont une emprise

au sol de 6,6 m<sup>2</sup> (2,45 m x 2,7 m). L'espace est optimisé pour offrir le maximum de surface pour la truie lors de l'ouverture de la cage tout en offrant des zones protégées pour les porcelets. Une niche au capot transparent et chauffée par une lampe régulée sur la température de surface des porcelets permet un confort thermique de ces derniers et une surveillance facilitée. Différents types de sol (caillebotis béton, plastique et fil, sol plein en plastique) dans la case permettent la définition de zones de confort pour les animaux. L'accès à l'auge et au nid depuis le couloir avant et la possibilité d'entrer dans la case protégé par un bat-flanc facilitent travail.

### 1.2. Suivi des performances

Les performances des animaux sont suivies à l'aide de fiches présentes en routine au sein de l'élevage. Elles regroupent des informations générales sur la truie (rang de portée, nombre de tétines, comportement), des données à l'entrée et à la sortie de la salle (poids, épaisseur de lard dorsal, épaisseur de muscle dorsal), les performances de reproduction (nombre de nés vifs, morts nés, momifiés, sevrés). Les fiches comportent des données sur les porcelets (adoptions, poids moyen à la naissance et au sevrage). L'utilisation des cages (jour d'entrée, de blocage, d'ouverture, de sevrage) est renseignée. Les truies, de race Large White x Landrace français, sont inséminées avec de la semence Piétrain.

Les données ont été collectées entre septembre 2020 et septembre 2021. Le maintien du troupeau permet la comparaison des performances en maternité liberté (TOT) avec les références du troupeau en cases bloquées (de janvier 2019 à juin 2020, CTL). Pour répondre aux interrogations sur l'influence de l'expérience des truies, nous avons séparé les

truies TOT en deux groupes suivant qu'elles aient connu (BLO) ou non (LIB) les cases classiques en maternité lors de leurs mises-bas précédentes. Ces résultats ont également été comparés aux références du troupeau avant le changement de cases. Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel R (v 3.4.1) par analyses de la variance à un facteur.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Performances en maternité liberté

Les données correspondent à six bandes pour un total de 133 mises-bas dans les nouvelles cases (72 truies différentes) depuis la fin des travaux pour le groupe TOT et 201 mises-bas (93 truies différentes) pour le groupe CTL. Le rang moyen des truies de l'échantillon est de  $2,9 \pm 1,4$  (min : 1, max : 6). Les truies de l'échantillon ont mis bas entre 0 et 4 fois en cases bloquées et entre 1 et 4 fois en cases liberté. La libération a lieu en moyenne à  $5,5 \pm 1,7$  jours après la mise-bas une fois les soins aux porcelets effectués. Seules deux truies sont qualifiées d'agressives lors de leur présence en maternité ; les autres sont qualifiées de calmes. Le nombre moyen de nés vifs est de  $15,7 \pm 3,3$ , et ne diffère pas statistiquement des références du groupe CTL. Cependant, on note une diminution significative du nombre de porcelets sevrés à  $12 \pm 1,9$  porcelets (CTL :  $12,6 \pm 1$ ,  $P < 0,05$ ). Cette diminution du nombre de sevrés s'explique par une augmentation des pertes. Les pertes par écrasement des truies dans les nouvelles maternités sont significativement supérieures à celles du groupe CTL et s'élèvent à  $2,8 \pm 2,4$  porcelets (CTL :  $1,8 \pm 1,8$ ,  $P < 0,05$ ). Soixante-treize pourcents des pertes par écrasement ont lieu alors que les truies sont encore bloquées, 63% dans les premières 48h après la mise-bas, 10% entre 48h après mise-bas et la libération. Seulement 27% de ces pertes ont lieu après libération. On observe en moyenne 0,7 porcelet écrasé par truie après libération. La répartition est cependant hétérogène avec 56% des truies qui n'écrasent pas de porcelets après libération. Les autres types de pertes représentent en moyenne  $1,1 \pm 1,3$  porcelet et ne diffèrent pas de celles du groupe CTL. Si on note une diminution du nombre de sevrés, leur poids moyen est supérieur de 0,5 kg à celui des porcelets sevrés du groupe CTL (TOT :  $9,1 \pm 1,2$  kg, CTL :  $8,6 \pm 1$  kg,  $P < 0,001$ ). Deux hypothèses pourraient expliquer cette augmentation. La première serait un meilleur apport de lait aux porcelets en lien avec le nouveau système. L'absence d'obstacles comme la cage lors des tétées pourrait être un facteur favorable. Une meilleure production laitière permise par le nouveau système d'alimentation et/ou une meilleure prise alimentaire de la truie favorisée par la liberté pourraient également entrer en jeu. La seconde hypothèse pourrait être que les porcelets, moins nombreux du fait de pertes supérieures, disposent de plus de lait chacun.

### 2.2. Effet de l'expérience des truies

L'effet de l'expérience des truies sur les performances en maternité liberté a été étudié sur deux sous-groupes. Le groupe LIB comprend 67 mises-bas pour 37 truies et le groupe BLO 66 mises-bas pour 35 truies. Le rang moyen des truies du groupe LIB est de  $1,9 \pm 0,8$  et celui des truies du groupe BLO de  $4 \pm 1$ . Compte tenu de la question, l'âge des truies ne peut être dissocié du groupe et est donc un facteur confondant à prendre en compte dans la discussion. Il n'y a pas de différence significative dans la date de libération entre les deux groupes. Les truies du groupe LIB sont libérées en moyenne à  $5,6 \pm 1,9$  jours et celles du groupe BLO à  $5,5 \pm 0,7$  jours. Comme pour les résultats globaux, le nombre moyen de nés vifs ne diffère pas entre les groupes (LIB :  $15,3 \pm 3,1$ , BLO :  $16,2 \pm 3,5$ , CTL :  $15,6 \pm 3,4$ ). Les truies du groupe BLO présentent un nombre moyen de sevrés significativement inférieur aux truies du groupe LIB et du groupe CTL (LIB :  $12,5 \pm 1,5$ , BLO :  $11,4 \pm 2,1$ , CTL :  $12,6 \pm 1$ ,  $P < 0,001$ ). Les types de pertes autres que par écrasement ne diffèrent pas entre les groupes. Les pertes par écrasement sont quant à elles supérieures pour les truies du groupe BLO que ce soit sur la totalité de la présence en maternité (LIB :  $1,9 \pm 1,6$ , BLO :  $3,7 \pm 2,5$ , CTL :  $1,9 \pm 1,8$ ,  $P < 0,001$ ) ou après libération (LIB :  $0,3 \pm 0,8$ , BLO :  $1,1 \pm 1,1$ ,  $P < 0,001$ ). Les truies qui n'écrasent pas après la libération représentent 76% de celles du groupe LIB et seulement 36% de celles du groupe BLO. Enfin on observe un poids de porcelets sevrés statistiquement supérieur pour les portées du groupe BLO par rapport aux deux autres groupes (LIB :  $8,8 \pm 1$  kg, BLO :  $9,4 \pm 1,2$  kg, CTL :  $8,6 \pm 1$  kg,  $P < 0,05$ ).

## CONCLUSION

Les truies ayant déjà mi-bas en système bloqué à la station de Crecom présentent des performances inférieures lorsqu'elles sont ensuite logées en maternité liberté, ce qui affecte les performances moyennes. Les résultats des truies plus jeunes n'ayant connu que la liberté seront à confirmer avec le vieillissement de ces dernières pour dissocier l'impact de l'expérience et de l'âge des truies. Le poids moyen des porcelets sevrés doit également être pris en compte dans l'analyse des performances. Des travaux restent à mener pour savoir si l'augmentation du poids est en lien avec le nombre de porcelets sous la mère ou liée à la liberté de la truie. D'autres paramètres, comme l'utilisation du nid par les porcelets ou le comportement de couchage des truies, restent également à étudier.

## REMERCIEMENTS

Ce projet est conduit avec la contribution financière du Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural, dans le cadre des Programmes National et Régional de Développement Agricole et rural. Les auteurs tiennent à remercier les techniciens de la station de Crecom pour leur travail quotidien de suivi.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertin C., Villain N., Ramonet Y., 2020. Truies libres en maternité : retours d'expériences dans cinq élevages équipés. Journées Rech. Porcine, 52, 401-402.
- King R.L., Baxter E.M., Matheson S.M., Edwards S.A., 2019. Consistency is key: interactions of current and previous farrowing system on litter size and piglet mortality, *Animal*, 13,180-188.
- Ramonet Y., Caille M.E., Dubois A., Meunier-Salaün M.C., 2018. Les truies libres en maternité : modalités de logement et de conduite, performances, conditions de travail et bien-être. Journées Rech. Porcine, 50, 281-292.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

# Enquête exploratoire sur les pratiques entourant l'arrêt du meulage des dents des porcelets

Nicolas VILLAIN (1) et Marie-Lou BERNARD (2)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Avenue Bognis Desbordes, 56009 Vannes, France

(2) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France

[nicolas.villain@bretagne.chambaagri.fr](mailto:nicolas.villain@bretagne.chambaagri.fr)

## Survey on practices to stop the mechanical grinding of piglet teeth

In the current climate of concern about farm-animal welfare, common rearing practices that alter physical characteristics are often poorly understood and rejected. When piglets are a few days old, their teeth are mechanically ground down to protect sow udders and the faces of other piglets. There is little information about factors that succeed in stopping this practice, even though producers speak positively about it. An online survey was posted to collect narratives and data about successes and failures of pig producers who tried to stop tooth grinding. The aim was to inventory techniques, study particular cases and disseminate farm knowledge. The survey was divided into two parts. The first focussed on describing the farm and its farrowing room and practices (e.g. number of sows, genetics, feeding strategies). The second focussed on farmers' experiences with not grinding teeth, using a list of practices from the scientific literature and their effectiveness when performed alone or in combination. The survey ended with questions about working conditions. Farmers were also invited to express themselves freely and detail their experiences and viewpoints. The ten pig producers who answered the survey were distributed into three groups: five did not grind teeth, three ground the teeth of selected litters and two ground the teeth of all piglets. Initial results showed that practices differed widely among farms, even among farms in the same group. Ceasing tooth grinding often results in more wounds on piglets' faces. However, nearly all of the pig producers stated that stopping this practice had a positive influence on their working conditions.

## INTRODUCTION

Dans un contexte de fortes attentes sociétales sur le bien-être animal, les pratiques conduisant à une altération physique des animaux sont très mal comprises et majoritairement rejetées par les citoyens. Selon la réglementation, le meulage des dents est interdit en routine et doit être pratiqué « *uniquement lorsqu'il existe des preuves que des blessures causées aux mamelles des truies ou aux oreilles ou aux queues d'autres porcs ont eu lieu* ». De plus la réduction des dents doit avoir lieu dans les sept premiers jours de vie. La technique utilisée doit laisser « *une surface lisse, intacte et non blessante pour la truie et le porcelet* » (Annexe 1 de la Directive européenne 2008/120/EC). Les porcelets disposent à la naissance de huit dents pointues dont ils se servent pour défendre leur accès à la mamelle (Weary et Fraser, 1999). Ces caractéristiques peuvent occasionner des lésions sur la face des autres porcelets et sur les mamelles des truies (Lewis et al., 2005a, 2005b). Pour prévenir l'apparition de ces blessures, les éleveurs pratiquent une réduction de ces dents par meulage ou époinçage (Weary et Fraser, 1999). Ces deux techniques sont susceptibles de provoquer des lésions importantes sur les dents des porcelets induisant parfois des hémorragies, fractures, nécroses ou abcès (Hay et al., 2004). Des éleveurs ont expérimenté l'arrêt du meulage sur tout ou partie des porcelets. Si les effets directs des techniques de réduction des dents et de leur arrêt sont assez bien documentés, aucune donnée n'est disponible quant à la fréquence de cette pratique dans les élevages français. De plus

les méthodes utilisées en élevage et facilitant l'arrêt du meulage/époinçage sont peu documentées. L'objectif de cette étude exploratoire est d'identifier les mesures facilitant l'arrêt du meulage/époinçage et d'établir quelles sont les difficultés rencontrées par les éleveurs lors de cet arrêt afin d'alimenter des essais en station.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Structure du questionnaire d'enquête

Pour recueillir les témoignages d'éleveurs ayant arrêté ou tenté d'arrêter la réduction des dents, un questionnaire en ligne a été conçu. Ce questionnaire est divisé en deux parties. La première s'intéresse à la description de l'élevage (type de production, taille du cheptel, génétique), des maternités (type de cases, nombre de cases par salle) et de la conduite en maternité (âge au sevrage, alimentation/abreuvement, spécialisation du personnel). Les performances techniques sont également relevées. La seconde partie du questionnaire se concentre sur la question du meulage. Dans un premier temps les questions portent sur l'historique de l'arrêt du meulage et sur la situation actuelle de l'élevage. Puis les éleveurs sont interrogés sur les mesures appliquées lors de l'arrêt du meulage et leur efficacité seules ou combinées (changement de génétique truie, réaménagement des maternités, changement de sol sous la truie, massage des mamelles avant ou après la tétée, gestion des adoptions, surveillance accrue, augmentation du nombre

de repas pour les truies, supplémentation de l'aliment truie). Les conséquences de l'arrêt du meulage sur les blessures, le sanitaire et les performances sont également abordées. Enfin les éleveurs sont interrogés sur l'impact de l'arrêt du meulage sur leurs conditions de travail tant du point de vue physique que psychologique.

## 1.2. Phase d'enquête

La phase d'enquête a été menée en ligne auprès des éleveurs bretons. Une première diffusion non ciblée via la newsletter porc de la chambre d'agriculture a été réalisée. Dans un second temps le lien a été transmis aux groupements de producteurs pour relayer l'enquête auprès d'une population ciblée d'éleveurs déjà sensibilisés au sujet.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Description de l'échantillon

Le taux de réponse est faible. Il pourrait s'expliquer par un mode de diffusion inadéquat, un manque de temps pour répondre ou d'intérêt vis-à-vis de la thématique. L'échantillon se compose de 10 élevages. Tous sont naisseurs-engraisseurs et élèvent leurs porcs en bâtiment. La taille des cheptels varie de 120 truies à 600 truies. Les salles de maternité sont équipées de cases maternités classiques pour six de ces élevages. Les autres sont équipés de cases ascenseur. L'âge au sevrage est de 21 jours pour la moitié des élevages et de 28 jours pour l'autre moitié.

### 2.2. Pratique du meulage

On distingue trois groupes d'éleveurs : ceux qui ont définitivement arrêté de meuler les dents de l'intégralité de leurs porcelets (groupe AM, 5 éleveurs), ceux qui ont repris le meulage sur l'intégralité des porcelets (groupe MT, 2 éleveurs), et enfin ceux qui pratiquent un meulage partiel ciblé sur quelques portées à risque (groupe MP, 3 éleveurs).

Les éleveurs du groupe AM ont la particularité d'avoir directement cessé cette pratique sur l'intégralité de leurs porcelets. Ils estiment avoir maîtrisé l'arrêt de cette pratique en une ou deux bandes. Les éleveurs ne notent aucun changement de leurs résultats techniques. Néanmoins, pour trois de ces élevages, les porcelets présentent plus de blessures sur la face. Un élevage note également l'apparition de lésions buccales. Cependant, le degré de gravité de celles-ci semble suffisamment faible pour que les éleveurs ne renoncent pas à l'arrêt du meulage. Les deux éleveurs du groupe MT ont repris intégralement le meulage en raison de blessures trop importantes sur les porcelets et les mamelles des truies. Tous les deux ont noté une baisse des performances de croissance et une augmentation de la mortalité des porcelets. Un précise que

les truies « *ne donnent plus leur lait et écrasent* [leurs porcelets] ». L'autre éleveur mentionne un seuil critique de 15 porcelets par truie au-delà duquel « *se passer du meulage devient trop compliqué* », malgré une expérience importante sans meulage des dents sur cet élevage. Parmi les trois éleveurs du groupe MP, deux ont cessé totalement le meulage avant de reprendre partiellement suite à des blessures et une chute des performances. Le troisième éleveur a débuté directement par un meulage partiel. Tous suivent une grille de décision propre à chaque élevage. Ainsi un éleveur meule les dents des portées de « *cochettes et de truies sensibles* », un autre laisse les dents intactes sur les « *portées nées en première partie de nuit* ». Le troisième élevage se base sur une observation des blessures sur la mamelle des truies et sur les porcelets ainsi que sur le comportement des truies (refus d'allaiter et/ou écrasement).

Parmi les pratiques listées dans le questionnaire, peu semblent avoir été testées par les éleveurs. Le changement de sol sous la truie a été testé et reconnu efficace par un seul répondant. Les avis sont partagés quant à l'effet de l'équilibrage des portées et la supplémentation de l'aliment truie. Toutefois, la grande majorité recommande une surveillance accrue en maternité pour accompagner l'arrêt du meulage (six sur huit réponses).

### 2.3. Conditions de travail

Tous les éleveurs ont relevé un impact positif de l'arrêt du meulage sur leurs conditions de travail d'un point de vue physique, en grande partie car cela constituait une tâche pénible et répétitive. Un éleveur précise « *mon salarié n'a plus besoin de faire des séances de kiné en amont de la semaine de mise-bas !!!* ». Tous groupes confondus, sept éleveurs indiquent que l'arrêt du meulage a représenté un soulagement psychologique. Trois se sont sentis plus épanouis et trois autres ont au contraire redouté la survenue de blessures sur les animaux. Un éleveur MT a été particulièrement éprouvé par la chute de ses résultats : « *la baisse de performance a entraîné plus de stress car la trésorerie se tend* ».

## CONCLUSION

Peu de réponses ont été reçues pour cette enquête exploratoire. Si elle ne nous permet pas de mettre en avant des pratiques pour faciliter l'arrêt du meulage, elle nous apporte une première idée de la façon de procéder dans les élevages. Quelques pistes à explorer pour les études à venir ont pu être dégagées et mériteraient d'être approfondies par une étude complémentaire. Citons par exemple l'impact de la taille de portée, les critères influençant la sensibilité individuelle des truies, la notion de surveillance accrue. Cette enquête aura également été l'occasion de s'intéresser au ressenti des éleveurs suite à l'arrêt de cette pratique, un aspect jusqu'ici peu abordé dans l'état de l'art.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Directive européenne 2008/120/EC, Annexe 1, 2008. Directive 2008/120/CE du Conseil du 18 décembre 2008 établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs (version codifiée). OJ L 47, 18.2.2009, 5–13.
- Hay M., Rue J., Sansac C., Brunel G., Prunier A., 2004. Long-term detrimental effects of tooth clipping or grinding in piglets: a histological approach. *Anim. Welf.*, 13, 27-32.
- Lewis E., Boyle L.A., Lynch P.B., Brophy P., O'Doherty J.V., 2005(a). The effect of two teeth resection procedures on the welfare of piglets in farrowing crates. Part 1. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 90, 233-249.
- Lewis E., Boyle L.A., Brophy P., O'Doherty J.V., Lynch P.B., 2005(b). The effect of two teeth resection procedures on the welfare of sows in farrowing crates. Part 2. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 90, 251-264.
- Weary D.M., Fraser D., 1999. Partial tooth-clipping of suckling pigs: effects on neonatal competition and facial injuries. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 65, 21-27.

# Impact de la pratique des tétées alternées sur la prise colostrale

Philippe LENEVEU (1), Anne-Lise BODARD (2), Morgane REMOND (3), Eric LEWANDOWSKI (4), Patrick BOURGUIGNON (3)

(1) Ceva Santé Animale, 10 avenue de La Ballastière, 33 500 Libourne, France

(2) BTSA PA de Limoges et du Nord Haute Vienne, les Vaseix, 87 430 Verneuil sur Vienne, France

(3) Epidalis, Avenue de la Promenade, 79 140 Cerizay, France

(4) Ceva Biovac, 4 rue O de Serres, 49 070 Beaucozézé, France

[philippe.leneveu@ceva.com](mailto:philippe.leneveu@ceva.com)

Avec la collaboration de Gabriel VIMONT (Agrocampus Ouest Rennes), Thomas BLONDEL (1)

## Impact of split suckling on colostrum intake

Colostrum intake (CI) is a component of survival and performance of piglets, and many factors can influence its effectiveness. Among them, the split suckling (SS) technique (i.e. blocking piglets under a heating lamp to facilitate udder access and CI of small piglets) has not been evaluated. The objectives of this study were (i) to evaluate SS using the CI evaluation of Leneveu *et al.* (2019), (ii) to follow rewarming of blocked piglets (BP) and (iii) to discuss the duration of blocking time. The study took place on a farm that had high prolificacy and used SS.

A total of 304 piglets selected from large litters (20.4 Live Born), most weighing > 1.2 kg, were blocked and split suckled, and had a mean blocking time of 1 h 44 min. To limit litter bias, only litters with 40-80% of BP were selected. Comparing BP vs non-BP groups, BP had higher CI ( $P < 0,001$ ), especially piglets weighing < 1 kg. This result was contrary to the assumptions.

Next, rectal temperatures of 203 BP were recorded every 30 min. Due to a non-compliance with farm procedures, however, 62% were blocked without heating, which significantly decreased rectal temperature ( $P = 0,002$ ). Therefore, non-warmed BP experienced a decrease in rectal temperature, similar to that of non-suckling non-BP, whereas warmed BP with low temperature at blocking experienced an increase in rectal temperature. Improved homeothermy of BP can explain the increase in CI, and the primary issue for piglets appears to be homeothermy rather than udder access. A duration of 1 h-1 h 30 min of blocking time appears to be optimal.

## INTRODUCTION

Après avoir défini une méthode d'évaluation de la prise colostrale (PC), Leneveu *et al.* (2019) ont identifié des facteurs pouvant l'influencer. Parmi eux la pratique des tétées alternées (TA), qui consiste à bloquer des porcelets sous une lampe chauffante pour favoriser l'accès à la mamelle des petits porcelets et leur PC, n'a jamais été évaluée. Ce travail vise (i) à reprendre la même méthodologie pour analyser l'efficacité de cette pratique, (ii) à suivre le réchauffement des porcelets bloqués (PB) et (iii) à discuter les durées de blocage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Elevage sélectionné

Il s'agit d'un élevage commercial à très forte prolificité (17,4 nés vivants, (NV), en 2020), qui utilise régulièrement la pratique des TA au cours de la première journée de vie.

### 1.2. Description et évaluation des tétées alternées

#### 1.2.1. Contexte

Cette première partie a eu pour cadre une évaluation globale de la PC selon Leneveu *et al.* (2019) sur la base du gain de poids

24 h (GP24 : différence entre pesée à la naissance et pesée 24 h après la fin de mise bas). Elle a porté sur 701 porcelets nés vivants issus de 39 truies (97 % des NV inclus ; poids moyen à la naissance de 1,225 kg pour 18,5 NV).

Le GP24 moyen observé de 68 g est bien en deçà des 88 g de Leneveu *et al.* (2019). Une insuffisance de confort des nids et un sous-abreuvement des truies ont été mis en évidence.

#### 1.2.2. Porcelets suivis

Le descriptif des TA a concerné 304 PB parmi les 701 NV suivis lors de l'évaluation de PC. Les PB pouvant être bloqués plusieurs fois sous une source de chaleur, de la naissance à la pesée 24h, le temps de blocage étudié est le temps bloqué cumulé.

Pour limiter les biais d'effet portée, l'efficacité de la pratique des TA est évaluée par l'étude du GP24 dans les portées ayant de 40 à 80% de PB, et moins de deux porcelets adoptés avant 24 h. Les analyses statistiques (Logiciel R, Anova) prennent en compte le poids de naissance, facteur de variation du GP24.

### 1.3. Suivi du réchauffement des porcelets

Cette seconde partie a eu lieu l'été suivant, les porcelets ont été bloqués une seule fois, par 6 ou 7 en même temps. Il y a eu de un à trois blocages de porcelets différents par portée au cours de la première journée de vie. Dans les portées incluses, tous

les porcelets ont été identifiés et pesés lors du premier blocage de la portée. Les PB ont fait l'objet d'un suivi de température rectale toutes les 30 minutes à partir de leur blocage (de T0, début de leur blocage à T3, à 1h30).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Tétées alternées

#### 2.1.1. Pratique des tétées alternées

Le blocage a été réalisé entre 12 et 24 h de vie pour 82% des PB. Il a surtout été observé dans les grandes portées (15,9 NV dans les portées sans blocage vs 20,4 dans les portées avec) pour lesquelles 69% des porcelets ont été concernés (35 à 100% par portée). Les plus de 1,2 kg sont les plus représentés et sont bloqués plus longtemps (Figure 1). La durée de blocage varie de 40 mn à 4h40 (1h44 en moyenne ; un tiers bloqué plus de 2 h).

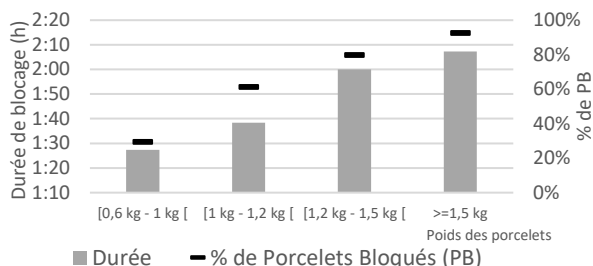


Figure 1 – Durée de blocage et % de porcelets concernés selon leurs classes de poids

#### 2.1.2. Efficacité des tétées alternées

Quatorze portées répondent aux critères de sélection (245 porcelets avec GP24, 175 bloqués). Les PB ont de meilleures performances que les porcelets non bloqués (PNB) (Figure 2 ;  $P < 0,001$ ). Il est à noter que les porcelets de moins de 1 kg bloqués ont un excellent GP24 (57 g vs 22 g de Leneveu *et al.*, 2019), bien meilleur que celui des PNB ( $P = 0,004$ ). Le bénéfice est donc à l'inverse de ce qui était attendu. La figure 3 illustre l'évolution du GP24 en fonction de la durée de blocage ( $P = 0,007$ ). L'efficacité s'estompe avec le temps.

### 2.2. Température des porcelets bloqués

Le suivi a porté sur 203 porcelets ; 138 (68%) ont été bloqués (une seule fois ; 1h57 en moyenne) mais par non-respect des consignes de l'élevage, 85 (62%) l'ont été sans lampe. Compte tenu des effectifs, deux classes de poids ( $\pm 1,2$  kg) et deux classes de T0 ( $\pm 38,4^\circ\text{C}$  ; médiane de la population) ont été constituées. L'usage de la lampe a un effet sur l'évolution de la température rectale ( $P = 0,002$ ) qui est maintenue ou augmentée. Inversement, l'absence de lampe a un effet très négatif sur l'homéothermie (situation similaire à celle de PNB ne tétant pas).

Par contre, il n'y a pas d'effet significatif des critères poids et T0 sur l'évolution de la température. Ceci est particulièrement visible pour les porcelets sans lampes mais pas pour les porcelets avec lampe (figure 4). Pour ces derniers ( $n=53$  ; manque de puissance statistique), on observe l'évolution de température rectale attendue. A savoir, un meilleur réchauffement des porcelets légers et à T0 faible, les porcelets

à T0 élevée ne pouvant que difficilement progresser. Le maintien de l'homéothermie lors du blocage peut expliquer le meilleur GP24 des PB.

Au vu de ces données, une durée de blocage de 1h-1h30 semble optimale pour favoriser l'homéothermie et le GP24.

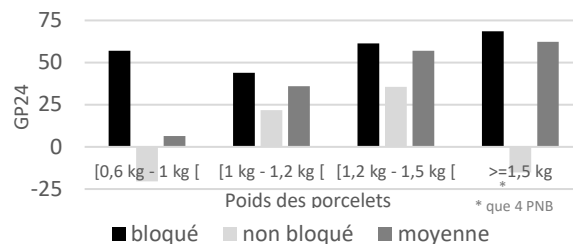


Figure 2 – Gain de poids à 24h (GP24) en fonction du blocage des porcelets

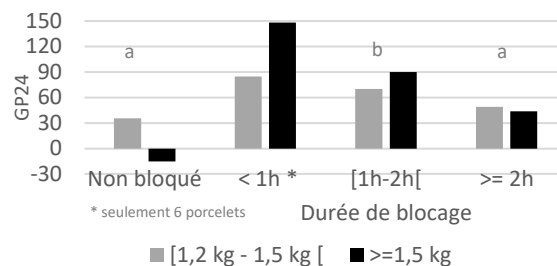


Figure 3 – Gain de poids à 24h (GP24) des porcelets de plus de 1,2 kg en fonction de leur durée de blocage

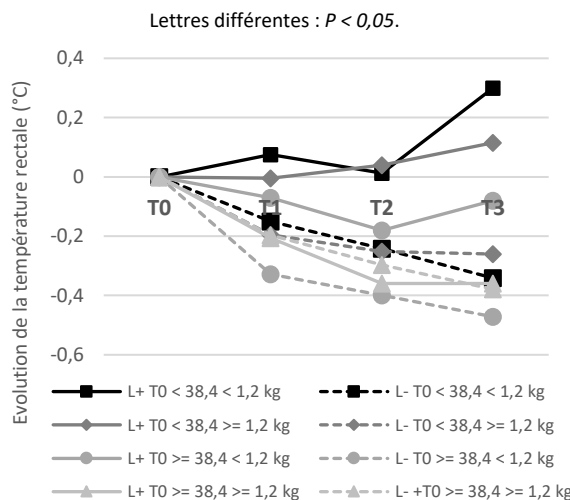


Figure 4 – Evolution toutes les 30 minutes de la température rectale des porcelets bloqués. Données en fonction de la présence, ou pas, de lampe (L+/-), de leur poids (< ou  $\geq 1,2$  kg) et de leur température au blocage (< ou  $\geq 38,4^\circ\text{C}$ ).

## CONCLUSION

Dans les conditions de cet élevage, la pratique des TA ne permet pas d'améliorer la PC des petits PNB. Elle améliore la PC des PB. Ce travail renforce l'idée que le premier problème du porcelet à la naissance est le maintien de son homéothermie, bien avant les problèmes de compétition à la mamelle. Il plaide pour le réchauffement des porcelets.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Leneveu P., Launay B., Jardin A., Creac'h P., Schüller V., Leblanc Maridor M., Belloc C., 2019. Prise colostrale en élevage porcin : analyse des facteurs de variation dans 10 élevages de production. Journées Rech. Porcine, 51, 272-276.

# Evaluation de la condition physiologique de porcelets sevrés après exposition au stress social

Gemma TEDO (1), Pol LLONCH (2), Jose J. PASTOR (1)

(1) LUCTA, SA - Innovation Division, UAB Research Park, Eureka, 08193 Campus UAB, Bellaterra, Espagne

(2) Department of Animal and Food Science, Veterinary school, 08193 UAB, Bellaterra, Espagne

*gemma.tedo@lucta.com*

Avec la collaboration de Carles COLOM, Marta BLANCH, Almudena MARTINEZ, Sergi LOPEZ et François DENIEUL

## Evaluation of the physiological condition of weaned piglets after exposure to social stress

Weaning stress causes gut-barrier dysfunction partly by triggering the release of corticotropin releasing factor (CRF) and thereby inducing degranulation of intestinal mast cells, which in turn results in intestinal dysfunction that compromises piglet's welfare. The aim of this study was to evaluate how mixing (social stress) influences the physiological condition of weaned piglets by inducing intestinal mast cell degranulation. To this end, 48 21-day-old weaned piglets (Danbred x Pietrain, 6 kg body weight) were divided into a negative control (CT) and a socially stressed (SS) group. Social stress consisted of mixing the piglets for three consecutive days (day 22-24 after weaning) with unfamiliar piglets. Piglets were housed in groups of four (six pens/treatment) and fed *ad libitum*. Performance parameters were measured weekly. To evaluate the physiological condition of weaned piglets, blood and intestinal samples (jejunum and ileum) were collected from 12 piglets per treatment (two pigs/pen) the day after mixing (day 25 after weaning). Haematological and histological measurements, including the number of degranulated mast cells, were taken. Performance was analysed using a mixed-effects model (SAS, v.9.4). Haematological and histological parameters were analysed using one-way ANOVA (GraphPad Prism). Compared to the CT group, the SS group showed a trend for an increase in the number of degranulated mast cells in the jejunum ( $P < 0.10$ ), an increase that was significant in the ileum ( $P < 0.05$ ). Several haematological parameters differed significantly between groups ( $P < 0.05$ ). According to the parameters measured in the present study, social stress may also induce mast cell degranulation in the intestine, which may influence the physiological status of the animal.

## INTRODUCTION

Le stress de sevrage provoque un dysfonctionnement de la barrière intestinale en libérant le facteur de libération de la corticotrophine (CRF) et en induisant la dégranulation des mastocytes intestinaux, ce qui compromet le bien-être du porcelet (Moeser *et al.*, 2007). L'objectif de cette étude était d'évaluer comment le stress social, un autre facteur de stress présent dans la production porcine, affecte l'état physiologique des porcelets sevrés en induisant la dégranulation des mastocytes intestinaux.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux

L'essai a été conduit à la ferme expérimentale de Lucta (Sant Aniol de Finestres, Espagne). Au total, 48 porcelets mâles croisés Danbred x Piétrain, sevrés à  $21 \pm 2$  jours de vie avec un poids vif (PV) moyen de  $6,0 \pm 0,1$  kg, ont été utilisés.

### 1.2. Logement et programme alimentaire

Les porcelets ont été logés par groupe de quatre animaux par case ( $0,75 \text{ m}^2$  / porcelet) du sevrage (jour zéro) à 42 jours après le sevrage et alimentés *ad libitum* selon le traitement.

Trois régimes ont été utilisés dans l'expérience : un aliment de premier âge (du sevrage jusqu'à 7 j post-sevrage) contenant 18,1 % de protéines brutes (PB) et 3450 kcal d'énergie métabolisable (EM), un second aliment (de 8 j jusqu'à 21 j post-sevrage) contenant 17,1 % de PB et 3350 kcal d'EM, et un troisième aliment (de 22 j jusqu'à 42 j post-sevrage) contenant 17,0 % de PB et 3335 kcal d'EM. Le régime alimentaire a été formulé selon les besoins nutritionnels du porc (NRC, 2012).

### 1.3. Traitements expérimentaux et procédure expérimentale

Les porcelets ont été divisés en deux groupes expérimentaux : le groupe témoin non stressé (CT) et le groupe socialement stressé (SS). Le stress social consistait à mélanger des animaux pendant trois jours consécutifs (de 22 j à 24 j post-sevrage) avec des porcelets inconnus. Un seul animal de chaque case est resté dans la même case. Le reste des animaux a été changé chaque jour. L'aliment a été prélevé pendant la procédure dans les deux groupes expérimentaux. Le lendemain après la fin de la procédure de stress social (jour 25 post-sevrage), des échantillons (12 porcelets/groupe, deux/case) de sang (veine jugulaire) ont été prélevés. Les porcelets prélevés ont ensuite été étourdis et euthanasiés par exsanguination pour obtenir des échantillons d'intestin (jéjunum et iléon). Toutes les procédures expérimentales ont obtenu l'approbation du comité d'éthique de l'Université Autonome de Barcelone (UAB, 9019/10548/2017).



#### 1.4. Mesures expérimentales

Les PV individuels et la consommation moyenne journalière par case ont été mesurés chaque semaine du sevrage jusqu'à 42 j post-sevrage. Pour évaluer l'état physiologique, un hémogramme complet de chaque échantillon a été réalisé (SHCV, UAB, Espagne). Les échantillons d'intestin (jéjunum et iléon) sont fixés au Methacarn (IRTA-CReSA, Espagne), déshydratés dans des bains d'alcool en série, nettoyés dans du xylène puis noyées dans de la cire de paraffine. Des blocs de tissus ont été montés et des sections d'environ 4 µm ont été réalisées. Les coupes ont été automatiquement colorées à l'hématoxyline et à l'éosine (SOP IT-A4-EHP 003) et également colorées au bleu de toluidine. Des mesures morphométriques ont été effectuées dans le jéjunum et l'iléon, avec un microscope optique (BHS, Olympus, Barcelone, Espagne). Les mesures ont été prises dans 10 villosités et cryptes bien orientées de chaque animal. La hauteur des villosités (VH) et la profondeur de la crypte (CD) ont été mesurées à l'aide d'un micromètre oculaire linéaire (Olympus, Réf. 209-35040, Microplanet, Barcelone, Espagne). Le nombre de mastocytes (total et apparemment dégranulés) a été déterminé dans la lamina propria dans une zone de 40 000 µm<sup>2</sup> de chaque section à l'aide d'une grille oculaire (Olympus, Microplanet). Des mesures ont été prises dans 10 zones de chaque animal.

#### 1.5. Analyses statistiques

Les données de performances ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) de mesures répétées en utilisant un modèle mixte, avec l'effet aléatoire de la case et des effets fixes du traitement, de la semaine et de leur interaction, avec le logiciel SAS (v.9.4, SAS Institute Inc, Cary, États-Unis). Les paramètres hématologiques et histologiques ont été analysés par ANOVA, avec l'effet fixe du traitement, en utilisant le logiciel GraphPad Prism (v.9). Les résultats sont considérés comme significatifs à  $P < 0,05$  et une tendance à  $P \leq 0,1$ .

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Il n'y avait pas de différence significative de performances entre les groupes (16,71 vs 16,80 ± 0,62 kg PV final,  $P = 0,543$ ). Par contre en général, les résultats montrent une diminution des valeurs hématologiques pour les paramètres des globules rouges et une tendance à leur diminution pour les paramètres plaquettaires (Tableau 1), ainsi qu'une augmentation de la dégranulation des mastocytes aux niveaux intestinaux, significativement dans l'iléon et une tendance dans le jéjunum (Figure 1) chez les animaux soumis au modèle du stress social, par rapport aux animaux du groupe témoin. Les traits hématologiques sont des paramètres essentiels pour évaluer l'état de santé et l'état physiologique, y compris la réactivité au stress (Etim *et al.*, 2013). Selon ces résultats, les porcelets

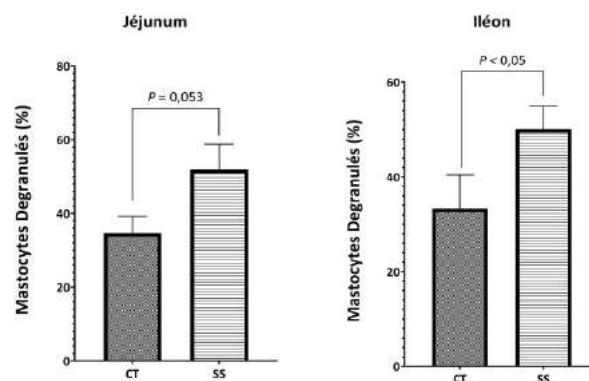
réagissent systématiquement au stress social. D'autre part, au niveau intestinal, l'augmentation observée de la dégranulation des mastocytes due au stress social correspond avec les résultats de Moeser *et al.* (2007) chez des porcelets sevrés précocement et de Vicario *et al.* (2010) chez la souris dans des conditions de stress social, suggérant que le stress social altère le système immunitaire au niveau gastro-intestinal.

**Tableau 1** – Comparaison des teneurs hématologiques entre le groupe témoin non stressé (CT) et le groupe socialement stressé (SS)

Paramètres <sup>1</sup>	CT	SS	ETR <sup>2</sup>	P-value
Hématies, x10 <sup>6</sup> cell/µL	6,14	5,59	0,10	0,003
Hémoglobine, g/dL	10,18	9,98	0,15	0,052
Hématocrite, %	31,49	28,51	0,41	0,035
Largeur de distribution des globules rouges, %	20,52	19,16	0,56	0,045
Numération plaquettaire, x10 <sup>3</sup> cellules/µL	345,4	258,6	32,3	0,040
Composant moyen plaquettaire, g/dL	21,07	19,94	0,33	0,075
Concentration plaquettaire, %	0,32	0,24	0,02	0,077

<sup>1</sup>Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne (n = 12/groupe).

<sup>2</sup>ETR: écart type résiduel. P-value de l'effet traitement.



**Figure 1** – Comparaison du pourcentage de mastocytes dégranulés (%) au niveau intestinal entre le groupe témoin non stressé (CT) et le groupe socialement stressé (SS)

## CONCLUSION

Cette étude montre la liaison entre le stress social subi par le porc et la réponse en termes de statut physiologique de l'animal à deux niveaux, systémique et intestinal. Ce modèle de stress social pourrait être utilisé dans l'évaluation de solutions ayant pour objectif de stabiliser la condition physiologique des porcelets pendant le sevrage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Etim N.N., Enyenihi G.E., Williams M.E., Udo M.D., Offiong E.E.A., 2013. Haematological parameters: indicators of the physiological status of farm animals. *Br. J. Sci.*, 10, 33-45.
- Moeser A.J., Klok C.V., Ryan K.A., Wooten J.G., Little D., Cook V.L., Blikslager A.T., 2007. Stress signaling pathways activated by weaning mediate intestinal dysfunction in the pig. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.*, 292, 173-181.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine: 11th revised edition. The National Academies Press, Washington D.C., USA, 210 p.
- Vicario M., Alonso C., Yang P., Martínez C., Ramos L., Lobo B., González A., Guilà M., Pigrau M., Saperas E., Azpiroz F., Santos J., 2010. Chronological assessment of mast cell-mediated gut dysfunction and mucosal inflammation in a rat model of chronic psychosocial stress. *Brain. Behav. Immun.*, 24, 1166-1175.

# Présentation de l'installation porcine biologique INRAE, #porganic : choix techniques et premiers résultats

Stéphane FERCHAUD, Tony TERRASSON, Stéphane MOREAU, Doryan GRIVAULT, Yvon BILLON

INRAE GenESI, La Gouvanière, 86480 Rouillé, France

[stephane.ferchaud@inrae.fr](mailto:stephane.ferchaud@inrae.fr)

## Presentation of the INRAE organic pig facility, #porganic: technical choices and initial results

For more than a year, the INRAE organic pig experimental facility, #porganic, has been operating in Rouillé, France (Vienne-86). This study presents the technical and management choices made and some initial results. The farm has 48 farrow-to-finish sows and complies with organic-production specifications. All animals are raised on large straw-filled beds and have access to small courtyards. The sows are kept in four batches, spaced six weeks apart, which provide ca. 120 piglets at weaning for fattening experiments (four boxes of 30). The multiple of three weeks facilitates reintegration of females in case they failure to reproduce. The age at weaning is 49 days, which yields a high piglet weight and favourable digestive maturity, which decreases health problems post-weaning. Pregnant sows are reared in a dynamic group. Suckling sows join the group of pregnant sows at weaning time. The low stress caused favours a rapid return to oestrus. Male piglets are not castrated which increases performance during fattening. The mean number of pigs sold per sow per year is 21.2. The mean weight at weaning is  $14.7 \pm 3.7$  kg. The low post-weaning mortality (0.83%) confirms good adaptation of piglets after this late weaning. The sows came back in heat quickly (ISO of 4.8 days), and 91.7% were mated after the first service. The percentage of odorous males detected at the slaughterhouse is 1.6%.

## INTRODUCTION

Depuis mars 2020, l'installation expérimentale porcine biologique de l'INRAE, #porganic, est en fonctionnement à Rouillé (DOI 10.15454/1.5572415481185847E12). Cette étude présente les choix techniques et de conduites faits et les premiers résultats.

### 1. MATERIEL ET METHODES

L'élevage naisseur-engraisseur de 48 truies a été construit en 2019 et mis en activité en mars 2020. Il est conduit selon le cahier des charges de l'agriculture biologique (AB). Tous les animaux sont élevés sur de larges litières de paille et ont accès à des courettes. Le peuplement a été réalisé avec des cochettes large-white (LW). Les cochettes nullipares ont été inséminées avec des verrats Piétrain (P) ; des verrats LW ont ensuite été utilisés.

Les truies sont conduites en quatre bandes de 12 truies, espacées de six semaines. Ceci correspond au cycle de 24 semaines de la truie conduite en AB (5 jours d'intervalle sevrage œstrus, 114 j. de gestation, 49 j. d'allaitement). L'âge au sevrage de 49 jours (peu pratiqué en AB) permet un poids des porcelets élevé et une maturité digestive limitant les problèmes sanitaires en post-sevrage. Cette conduite permet de sevrer plus de 120 porcelets par bande. Les porcelets mâles ne sont pas castrés. Au sevrage, les porcelets rejoignent le site d'engraissement conduit en « wean to finish (WTF) ».

Les truies gestantes sont élevées en groupe dynamique. Les truies allaitantes l'intègrent au moment du sevrage. Le stress provoqué est favorable à un retour rapide en œstrus. Les surfaces sont de 4,4 m<sup>2</sup> d'aire paillée et 4,4 m<sup>2</sup> de courettes.

Le site est équipé de 40 réfectoires qui permettent d'éviter les conflits au moment des repas. Les truies sont alimentées une fois par jour avec un aliment gestante (9,3 MJ EN, 13,5 % protéine brute (PB)) et ont un accès libre aux abreuvoirs et à un fourrage grossier (foin de prairie) dans un râtelier. La consommation annuelle s'élève à 1,4 tonne par truie.

Les deux maternités sont composées de 12 cases de 10 m<sup>2</sup> équipées de cages de contention qui peuvent être utilisées quelques jours autour de la mise-bas. Elles sont utilisées successivement, la seconde dispose de courettes individuelles de 6,25 m<sup>2</sup> (2,5 x 2,5) en accès libre. Les truies en maternité reçoivent un aliment pour truie allaitante (9,85 MJ EN, 16,5 %PB), les porcelets un aliment premier âge AB de 21 à 35 jours d'âge, puis un aliment deuxième âge jusqu'au sevrage. Les cases de post-sevrage sont équipées de cabanes/dômes pour garantir un meilleur confort thermique au porcelet. Elles sont sexées (2 cases de mâles, 2 cases de femelles) et allotées selon le poids des porcelets (une case de petits et une case de gros) sauf demande expérimentale. Les porcelets sont alimentés avec un aliment deuxième âge sécurisé (MJ EN porc, 16,5 %PB, 0.84% lysine).

L'engraissement est composé de 16 cases (4 cases /bande) de 30 porcs chacune. Chaque case, équipée de deux nourrisseurs et de deux abreuvoirs, dispose d'une surface de litière paillée de 39 m<sup>2</sup> et d'une courette de 30m<sup>2</sup>, raclée toutes les semaines, soit respectivement 1,3 et 1 m<sup>2</sup>/porc. De 70 à 112 jours d'âge, les porcs reçoivent un aliment croissance (9,5 MJ EN, 14,1%PB, 0,73 lysine), puis un aliment finition jusqu'à l'abattage (9,3 MJ EN, 13.5 %PB, 0.65 lysine). Pour s'assurer d'un parfait respect des conditions de surface du cahier des charges AB, un premier départ des porcs charcutiers a lieu avant 150 jours d'âge.

Une de nos exigences architecturales a été la facilité de raclage des courettes, une fois par semaine. Les cases sont paillées à ce moment. La consommation de paille est d'environ 2 tonnes par semaine, soit environ 100 kg par porc charcutier sorti. Le fumier est composté.

## 2. LES PERFORMANCES D'ELEVAGE

### 2.1. La reproduction

Les bandes de cochettes ont été constituées après synchronisation par altrenogest, avant conversion en AB. Après 49 jours d'allaitement, les femelles rejoignent le groupe de gestantes. L'intervalle sevrage saillie première (ISS1) est de 4,8 jours, le taux de mise-bas de 91,7%, le nombre de porcs produits/truie présente/an de 21,2.

### 2.2. La croissance

Les porcelets sont sevrés à  $14,6 \pm 3,7$  kg. Les performances en PS (Tableau 1) sont satisfaisantes. Depuis la création de l'élevage, le nombre de morts est de 20 porcelets sur 1 436 sevrés soit 1,4%, avec un seul mort par diarrhée. Le poids au sevrage élevé, la maturité digestive, l'apprentissage alimentaire avec la mère et un aliment 2e âge assez peu protéique contribuent à ces bonnes performances. La consommation individuelle moyenne est de 22 kg/porcelet, le Gain Moyen Quotidien (GMQ) de  $492 \pm 154$  g.

**Tableau 1** – Performances selon le type génétique

	LWxP	LWxLW
<b>Performances en post-sevrage</b>		
Nombre de porcs	486	925
Poids à l'entrée PS (49 j)	$14,4 \pm 3,9$	$14,7 \pm 3,5$
Poids à la sortie PS (70 j)	$25,2 \pm 5,6$	$24,6 \pm 5,7$
GMQ	$524 \pm 174$	$475 \pm 139$
IC à la case	2,00	2,19
Mortalité	1,2%	1,5%
<b>Performances en engraissement</b>		
Nombre de porcs	483	511
Poids à l'entrée (70 j)	$25,3 \pm 5,4$	$25,8 \pm 5,4$
Poids à la sortie (178 j)	$126,8 \pm 10,6$	$122,3 \pm 10,2$
GMQ	$917 \pm 112$	$927 \pm 110$
IC à la case	3,00	2,86
Mortalité	6,2 %	2,4 %

L'engraissement se poursuit dans les cases du sevrage. Les porcs sont alimentés en biphasé, avec un aliment croissance de 70 à 112 jours puis un aliment finition. Les performances de croissance y sont satisfaisantes et diffèrent peu de celles obtenues dans notre élevage conventionnel. Entrés en engraissement à 70 jours à  $25,6 \pm 5,4$  kg, les porcelets en sortent à  $178 \pm 15$  jours à  $124,4 \pm 10,6$  kg.

**Tableau 2** - les caractéristiques des carcasses et le prix de vente selon le type génétique

Type génétique	# porcs	Poids chauds	TMP	Plus-value (€)	Prix du porc
LWxP	454	$96,8 \pm 8,5$	$61,1 \pm 2,8$	$14,05€ \pm 2,3€$	367€
LWxLW	438	$92,1 \pm 7,9$	$58,5 \pm 2,3$	$8,02€ \pm 1,7€$	336€

Les caractéristiques des carcasses (Tableau 2) sont comparables à celles obtenues dans notre élevage conventionnel. Les rendements ( $74,2\% \pm 1\%$ ) sont inférieurs, car malgré la mise à jeun, la paille n'est pas digérée et pèse dans l'appareil digestif.

## 3. LES CHOIX TECHNIQUES

La conduite des truies en un seul groupe dynamique n'a pas posé de difficulté, avec peu de conflits, y compris au moment de l'arrivée des nouvelles femelles, et l'absence de blessures et griffures. Les grands espaces, les différentes zones (litière, repas, râtelier et courettes) permettent le maintien d'un équilibre social. Le taux de réforme est de 6,4%. L'apport de fourrages grossiers aux porcs, imposé par le cahier charge AB a des effets particulièrement intéressants sur l'équilibre hiérarchique et la santé du troupeau. Pour les gestantes, son effet rassasiant permet de compenser la frustration liée au rationnement alimentaire. La consommation de fibres est favorable à un meilleur transit digestif, bénéfique au moment des mise bas. La capacité d'ingestion améliorée par le fort encombrement des fourrages permet d'augmenter la consommation en maternité et la production de lait. Enfin, ces fourrages enrichissent le milieu de vie des porcs en bâtiments. La durée d'allaitement et l'âge au sevrage de 49 jours sont élevés, la majorité des éleveurs AB sevrèrent les porcelets à 42 jours (ITAB IFIP 2016). Cela diminue le nombre de bandes sevrées par an d'environ 5%. Mais les performances de reproduction et les faibles mortalités obtenues en post-sevrage confirment ce choix. En outre le risque d'œstrus de lactation souvent évoqué n'est pas avéré dans la station ; seuls quatre cycles sur 146 ont été décalés ( $ISS1 > 7$  jours).

Le WTF, avec sevrage directement en cases d'engraissement, n'a pas posé de difficultés. Il simplifie l'organisation du travail. Le poids de sevrage élevé, les profondes litières de paille et la mise à disposition de dômes permettent aux porcelets de gérer cette transition dans des bâtiments semi-ouverts. Les croissances et indices de consommation y sont satisfaisants avec un aliment 2e âge peu protéique.

L'abattoir de proximité (Cooperl Sainte Eanne 79) accepte les mâles entiers AB, c'était une opportunité pour débiter les expérimentations sur ce nouveau modèle. Malgré l'âge des porcs et la litière, les mâles odorants sont rares, six sur 529 abattus. L'élevage de mâles entiers permet de bénéficier de meilleures performances en engraissement. Les GMQ des mâles et des femelles sont équivalents entre type génétiques. Le seul problème concerne les comportements délétères et de chevauchements observés dans les cases de mâles entiers.

## CONCLUSION

Les premiers résultats techniques obtenus sur la station porcanic montrent que l'élevage porcin biologique peut être productif. Les performances de reproduction et de croissance sont équivalentes à celles obtenues en conventionnel. Ces résultats confortent les choix techniques réalisés. Ils devront être confirmés au long cours.

# SANTÉ ANIMALE



# **Biosécurité et santé : caractérisation multidimensionnelle de la biosécurité dans 20 élevages porcins et mesure des états de santé associés**

*Pierre LEVALLOIS, Mily LEBLANC-MARIDOR, Christine FOURICHON, Catherine BELLOC*

*INRAE, Oniris, BIOEPAR, 44300 Nantes, France*

*pierre.levallois@oniris-nantes.fr*

## **Biosécurité et santé : caractérisation multidimensionnelle de la biosécurité dans 20 élevages porcins et mesure des états de santé associés**

La biosécurité est un moyen de prévenir l'introduction et la propagation d'agents pathogènes dans un élevage. Des hauts scores de biosécurité sont liés à une réduction de la consommation d'antibiotiques et à de meilleures performances techniques. Bien que le lien entre des pratiques de biosécurité et la prévention de certaines maladies ait pu être établi, le lien entre les scores de biosécurité et la santé d'un élevage est encore peu décrit. L'objectif de ce travail est de caractériser la biosécurité de 20 élevages porcins naisseurs-engraisseurs et de mettre en regard leurs données de santé. Cette étude réalisée dans le Grand Ouest français s'inscrit dans le projet européen HealthyLivestock. Les élevages ont été recrutés car un problème de santé y était à maîtriser et/ou des pratiques de biosécurité étaient à améliorer. Un audit de biosécurité (interne et externe) a systématiquement été réalisé. Une description de la santé a été faite via des observations cliniques à tous les stades physiologiques. Les statuts sanitaires, les diagnostics cliniques effectués durant l'année écoulée avant la visite et les protocoles vaccinaux ont été collectés. Une analyse en composante principale puis une classification des élevages selon leurs scores de biosécurité avec un score de santé en variable supplémentaire ont été réalisées. Dans notre échantillon un score élevé de biosécurité n'est pas lié à un bon niveau de santé et inversement. Ces résultats ont ainsi conduit à relativiser l'interprétation du score de biosécurité au regard de la santé. Une approche de la biosécurité avec des audits permettant d'identifier au cas par cas des pratiques à améliorer plutôt qu'aboutissant uniquement à des scores pourrait permettre de mieux utiliser la biosécurité comme levier d'amélioration de la santé.

## **Biosecurity and health: multidimensional characterisation of biosecurity on 20 pig farms and measurement of associated health conditions**

Biosecurity is a way to prevent introduction and spread of pathogens on a farm. Higher biosecurity scores are related to a decrease in antibiotic consumption and better technical performances. Although the relation between biosecurity practices and the prevention of some diseases has been demonstrated, the relation between biosecurity scores and farm health is less well known. The aim of this study was to describe biosecurity on 20 farrow-to-finish farms and to relate it to health data. This study, carried out in western France, is part of the HealthyLivestock European Union research project. Farms recruited needed to address a health issue and/or improve biosecurity practises. A biosecurity audit (internal and external) was performed for all farms. Health was described through clinical observations at each physiological stage. Health status, clinical diagnoses performed during the year before our visit and vaccine protocols were collected. Principal component analysis followed by a hierarchical clustering on principal components were performed. In our sample, a higher biosecurity score was not related to a good health level or vice-versa, which puts the interpretation of the relation between biosecurity scores and health into perspective. A biosecurity audit focused on tailor made biosecurity practices that could be improved rather on the biosecurity score could help in using biosecurity as a mechanism to improve health.



## INTRODUCTION

La santé en élevage porcin est une notion complexe dépassant la simple présence ou absence de maladies (Leonardi, 2018). De nombreux indicateurs sont utilisés pour décrire la santé, allant de l'observation clinique en élevage ou à l'abattoir aux tests de laboratoire (PCR ou sérologique par exemple). Un des leviers pour améliorer la santé en élevage est la biosécurité, du fait qu'elle participe à prévenir l'introduction (biosécurité externe) et la transmission (biosécurité interne) d'agents pathogènes au sein des élevages.

Des audits sont régulièrement réalisés pour évaluer la biosécurité en élevages porcins, notamment depuis l'arrêt du 16 octobre 2018 (République Française, 2018). Les audits existants permettent d'évaluer les pratiques de biosécurité externe et interne, en utilisant par exemple Pig Connect ou BioCheck Ugent™, et peuvent également sensibiliser les éleveurs aux enjeux et aux principes de la biosécurité, comme dans l'audit réalisé lors de la visite sanitaire porcine 2020-2021.

Certaines études ont mis en évidence dans les élevages ayant des scores de biosécurité plus élevés de meilleures performances techniques (scores obtenus avec BioCheck Ugent™; Laanen *et al.*, 2013; Rodrigues Da Costa *et al.*, 2019) ou des marges économiques par truies présentes par an plus élevées (Corrégé *et al.*, 2012). Bien que le lien entre des pratiques de biosécurité et la prévention de certaines maladies ait pu être établi par le passé (Fablet *et al.*, 2006), le lien entre les scores de biosécurité et la santé est encore peu décrit.

L'objectif de ce travail est de caractériser la biosécurité de 20 élevages porcins naisseurs-engraisseurs et de mettre en regard leurs données de santé.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Conception et description de l'audit de biosécurité

Un audit de biosécurité en élevage naisseur-engraisseur a été conçu dans le cadre du projet européen HealthyLivestock. Il s'agit d'un audit complet évaluant la biosécurité interne et externe. L'évaluation des pratiques et des facteurs environnementaux relatifs à la biosécurité, appelés items par la suite, est structurée selon cinq zones de l'exploitation : zone publique (espace de l'exploitation délimité à l'extérieur du site d'exploitation comprenant les locaux d'habitation et, le cas échéant, une zone d'accueil pour les visiteurs), zone professionnelle (espace de l'exploitation délimité à l'extérieur de la zone d'élevage, réservé à la circulation des personnes et véhicules habilités et au stockage ou transit des produits entrants et sortants tels qu'aliments pour suidés, litières, fumier et lisier), zone d'élevage (espace du site de l'exploitation constitué par l'ensemble des bâtiments d'élevage, parcs ou enclos) et transitions entre chacune de ces zones (article 1 de l'arrêt du 16 octobre 2018 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations détenant des suidés dans le cadre de la prévention de la peste porcine africaine et des autres dangers sanitaires réglementés).

Chaque item de biosécurité a été noté de 1 à 4. Une note de 4 correspond à un item ne présentant a priori pas de risques pour l'introduction ou la circulation d'agents pathogènes dans l'élevage. Le cumul des notes de tous les items concernant une zone permet d'obtenir un score pour une zone. Le cumul des

scores de chaque zone permet d'obtenir un score pour l'élevage. Certains items ne pouvant être évalués dans certains élevages (comme les items liés à la gestion du lisier en élevages ayant des aires paillées par exemple), les scores des zones et de l'élevage sont ramenés à des pourcentages pour pouvoir être comparés. Chaque item pouvant prendre une modalité maximale de 4, le pourcentage d'une zone est obtenu en faisant le rapport entre la somme des notes de cette zone et la somme maximale possible pour les items de cette zone (pourcentage appelé ici score). Par la suite, ce qui sera appelé score fera ainsi référence aux pourcentages calculés.

Des objectifs de biosécurité ont aussi été définis au sein de chaque zone, chaque objectif regroupant un ensemble d'items. Par exemple, un objectif dans la zone professionnelle est de prévenir la persistance des agents pathogènes dans cette zone. Cet objectif est évalué en considérant deux items (i) l'absence d'affaires/matériel pouvant représenter un habitat pour les nuisibles et (ii) la possibilité de pouvoir laver le sol à haute pression. Pour qu'un objectif soit atteint, tous les items relatifs à cet objectif doivent ainsi avoir une modalité maximale de 4. Le nombre d'objectifs diffère selon les zones allant de trois pour la zone publique à sept pour la zone d'élevage (24 au total pour l'élevage).

### 1.2. Réalisation des audits de biosécurité

L'audit de biosécurité a été réalisé dans une cohorte de 20 élevages naisseurs-engraisseurs du Grand-Ouest. Les élevages ont été recrutés car un problème de santé y était à maîtriser et/ou des pratiques de biosécurité étaient à améliorer. Une première visite complète de l'élevage a concerné toutes les zones (publique, professionnelle et d'élevage) et a permis d'observer les animaux à tous les stades physiologiques, en présence de l'éleveur et du vétérinaire en charge du suivi sanitaire. Tous les audits ont été réalisés par le même auditeur.

### 1.3. Collecte de données de santé

Les bilans sanitaires d'élevage, les protocoles de soins ainsi que les résultats de tests PCR et sérologiques, lorsqu'ils étaient disponibles, ont été collectés. Des échanges avec les vétérinaires lors des visites sont venus compléter ces informations relatives à la santé des animaux de l'élevage, notamment sur la présence et la nature de possibles expressions cliniques chroniques. Ces informations ont permis de définir des statuts pour la liste d'agents pathogènes suivants : *Actinobacillus pleuropneumoniae*, circovirus porcin de type 2, coccidies, *Escherichia coli* (responsables de diarrhées d'une part et de la maladie de l'œdème d'autre part), *Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Glaesserella parasuis*, influenza, *Lawsonia intracellularis*, leptospires, *Mycoplasma hyopneumoniae*, parvovirus, *Pasteurella multocida*, *Streptococcus suis*, salmonelles et virus du SDRP. Pour chaque agent pathogène sont relevés la présence ou non de vaccination, de test (PCR ou sérologique) et/ou de l'expression clinique d'une ou plusieurs maladies, seule ou associée à des pertes.

### 1.4. Observations cliniques et mesures

Des observations cliniques et des mesures ont été réalisées lors d'une seconde visite dans chacun des 20 élevages une à trois semaines après la première visite. Les nombres de toux et d'éternuements ont été comptés trois fois pendant deux minutes dans le bâtiment des truies en gestation, en maternité,

en début et fin de post-sevrage et en début et fin d'engraissement et exprimés en nombres pour 100 animaux pendant deux minutes. Les diarrhées ont été évaluées aux mêmes stades physiologiques. Une note entre 1 (féces normales) et 4 (diarrhée liquide) a été attribuée par case. La note de la case était définie par la note de féces dans la case la plus élevée. Trois observateurs formés à un même protocole ont réalisé ces observations.

### 1.5. Elaboration d'un score global de santé

Pour obtenir un score global de santé par élevage, trois scores ont préalablement été calculés :

- 1) Un score a été attribué à chaque statut de l'élevage vis-à-vis des agents pathogènes. Les scores vont de 0 à 3 :
  - 0 - expression clinique chronique et pertes
  - 1 - expression clinique chronique
  - 2 - vaccination ou test de laboratoire positif
  - 3 - absence d'expression clinique chronique, de vaccination et/ou de test PCR/sérologique négatif

La somme des scores attribués à chaque agent pathogène a permis d'obtenir un score global par élevage : *score des statuts d'agents pathogènes*.

- 2) Pour le syndrome respiratoire, un score a été attribué à chaque stade physiologique selon les nombres de toux (ou d'éternuements) comptés pour 100 animaux pendant deux minutes. Les seuils utilisés ont été définis à partir des distributions des nombres de toux (ou d'éternuements) observées :

- 0 - plus de 15
- 1 - entre 10 (inclus) et 15
- 2 - entre 5 (inclus) et 10
- 3 - entre 2,5 (inclus) et 5
- 4 - strictement moins de 2,5

La somme des scores de chaque stade physiologique a permis d'obtenir un *score de syndrome respiratoire* pour chaque élevage.

- 3) Pour le syndrome digestif, un score a été attribué pour chaque stade physiologique, dès lors qu'au moins trois cases ont pu être observées, en fonction de la moyenne des notes de féces attribuées lors des visites :

- 0 - moyenne entre 2 et 4
- 1 - moyenne entre 1,5 et 2 exclu avec au moins une case notée 3 ou 4
- 2 - moyenne entre 1,5 et 2
- 3 - moyenne strictement inférieure à 1,5

La somme des scores de chacun des stades physiologiques observés a permis d'obtenir un *score de syndrome digestif*.

Les observations cliniques étant ponctuelles, un coefficient de pondération a été attribué aux scores des deux syndromes pour relativiser leur importance tout en maximisant la variabilité des scores globaux pour distinguer les élevages.

Chaque score a été ramené à un pourcentage puisque des notes n'ont pas toujours pu être attribuées, notamment pour le syndrome digestif (les systèmes sur aire paillée visités présentaient au plus deux cases par bande de porcs et n'ont donc pas de score pour tous les stades physiologiques).

Un score global de santé a été calculé par élevage avec la formule suivante :

**Score global de santé** = *Score statuts agents pathogène* + 0,16 × (*Score syndrome respiratoire* + *Score syndrome digestif*).

### 1.6. Analyse statistique

Les données ont été analysées avec le logiciel R version 4.0.5. Pour distinguer des clusters d'élevages selon leurs scores de biosécurité, une analyse en composante principale (ACP) puis une classification ascendante hiérarchique (CAH) ont été réalisées (package FactoMineR, respectivement fonctions PCA et HCPC). Les scores de chaque zone des élevages ont été inclus dans l'ACP. Le score total de biosécurité (toutes zones confondues) et le score de santé globale ont été inclus en variables supplémentaires. Les scores ont préalablement été centrés et réduits.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Scores de biosécurité

L'ensemble des scores de biosécurité sont présentés par zone dans le tableau 1. Les scores sont hétérogènes avec des scores toutes zones confondues allant de 57,3 % à 77,1 % (score moyen de 68,0 ± 5,3 %). L'hétérogénéité est plus marquée dans la zone professionnelle, où les scores vont de 31,3 % à 81,3 % avec un score moyen de 63,1 ± 13,6 %.

Les élevages ont des scores de biosécurité plus élevés dans la zone d'élevage que dans les autres zones, avec un score moyen de 79,2 ± 6,8 %. A l'inverse, ils ont de moins bons scores dans la zone publique (score moyen de 60,0 ± 7,9 %).

### 2.2. Objectifs de biosécurité

Le nombre d'objectifs atteints par zone est décrit dans le tableau 1. Toutes zones confondues, il existe une hétérogénéité dans l'atteinte des objectifs entre les élevages (8/24 à 19/24). On observe que les objectifs sont moins atteints en zone publique (12 élevages n'atteignent aucun objectif sur trois, sept élevages en atteignent un, un seul élevage en atteint deux et aucun n'atteint les trois) en raison des accès identiques à l'élevage pour tous les véhicules et d'une fréquence de nettoyage des bacs d'équarrissage souvent insuffisante (moins d'une fois par mois). L'observation est similaire dans la transition entre les zones publique et professionnelle (18 élevages atteignent au maximum deux objectifs sur cinq) du fait par exemple que les sas et les clôtures de la zone professionnelle sont souvent en cours d'installation. Les objectifs sont plus atteints en zone d'élevage (16 élevages ont atteint plus de quatre objectifs sur sept et seulement quatre élevages deux objectifs sur sept). Les objectifs non atteints en zone d'élevage sont dus au fait que les cottes et les bottes ne soient pas changées entre les secteurs de naissance et d'engraissement ou que certaines pratiques comme la marche en avant ne soient pas appliquées rigoureusement (dans trois élevages sur 20).

### 2.3. Scores de santé

Les scores globaux de santé sont décrits dans le tableau 1. Les scores de santé globaux, allant de 71,9 % à 90,3 % attestent de la variabilité (i) du statut vis-à-vis des agents pathogènes et (ii) des observations cliniques respiratoires et digestives.

**Tableau 1** - Scores et nombre d'objectifs atteints de biosécurité dans les cinq zones de l'élevage et scores de santé.

Elevage	BIOSECURITE : scores en % et nombre d'objectifs atteints <sup>1</sup>												Santé globale
	Zone publique		Transition zones publique-professionnelle		Zone professionnelle		Transition zones professionnelle-élevage		Zone élevage		Toutes zones confondues		
	Score	Obj. /3	Score	Obj. /5	Score	Obj. /4	Score	Obj. /5	Score	Obj. /7	Score	Obj. /24	
A	70,5	2	56,3	1	77,5	2	48,1	3	65,2	2	62,2	10	87,5
B	65,9	0	62,5	1	62,5	2	35,7	3	79,3	4	64,2	10	90,3
C	54,2	1	50,0	0	37,5	2	75,0	4	71,6	2	60,3	9	79,7
D	52,1	0	50,0	1	31,3	1	70,8	4	67,5	2	57,3	8	80,7
E	60,4	1	65,6	1	81,3	1	64,1	3	82,5	5	72,1	11	81,7
F	56,3	0	53,1	1	50,0	2	53,9	4	81,9	5	62,5	12	78,1
G	68,8	1	71,9	3	62,5	3	79,2	5	81,9	7	74,7	19	84,4
H	52,1	0	65,6	2	59,1	2	70,8	4	84,5	4	70,0	12	77,7
I	68,2	0	59,4	3	68,8	3	75,0	4	81,9	7	71,5	17	78,2
J	70,5	0	62,5	2	75,0	2	57,8	3	71,6	5	67,1	12	81,3
K	50,0	0	68,8	2	75,0	2	62,5	3	74,1	6	67,7	13	77,8
L	56,3	0	75,0	1	81,3	2	79,0	3	84,2	5	77,1	11	84,3
M	63,6	1	65,6	1	50,0	3	75,0	4	74,1	6	67,8	15	81,2
N	63,6	1	56,3	2	62,5	3	55,0	4	76,7	5	64,3	15	83,3
O	54,6	0	75,0	2	75,0	3	70,8	4	89,7	5	76,3	14	82,8
P	65,9	0	68,8	1	56,3	3	62,5	3	81,9	5	69,8	12	84,7
Q	47,9	1	62,5	1	68,8	2	53,1	3	87,1	2	67,5	9	71,9
R	56,3	0	68,8	1	62,5	3	75,0	3	87,1	4	73,2	11	74,2
S	50,0	0	50,0	2	56,3	2	75,0	4	84,5	5	66,2	13	85,0
T	72,7	1	55,2	1	68,8	3	72,2	4	76,7	4	68,9	13	88,6
$\mu$	60,0		62,1		63,1		65,5		79,2		68,0		81,7
$\sigma$	7,9		8,1		13,6		11,7		6,8		5,3		4,6
Minimum	45,8	0	50	0	31,3	1	35,7	3	65,2	2	57,3	8	71,9
Maximum	70,5	2	78,1	3	81,3	3	79,2	5	89,7	7	77,8	18	90,3

1 : Obj. dans le tableau

#### 2.4. Identification de clusters pour les élevages naisseurs-engraisseurs de la cohorte selon leurs scores de biosécurité et leurs données de santé

Les deux premières dimensions de l'ACP synthétisent 68,3% de l'information. La dimension 1 est définie par les scores des trois zones suivantes : zone de transition entre les zones publique et professionnelle, zone professionnelle et zone d'élevage (contributions respectives de 40,3 ; 24,5 et 31,4 %). La dimension 2 est définie par les scores des trois zones suivantes : zone publique, zone professionnelle et zone d'élevage (contributions respectives de 42,1 ; 23,2 et 25,0 %).

Quatre clusters ont été identifiés par la CAH. Les élevages inclus dans chaque cluster ainsi que leurs scores, relatifs à la biosécurité et à la santé, sont détaillés dans le tableau 2.

**Cluster 1** : Les quatre élevages de ce cluster sont caractérisés par des scores plus bas que l'ensemble de la cohorte toutes zones confondues (moyenne de 61,6  $\pm$  3,7 % contre 68,0  $\pm$  5,3 %), dans la transition entre les zones publique et professionnelle (moyenne de 50,8  $\pm$  1,6 % contre 62,1  $\pm$  8,1 %) et pour la zone professionnelle (moyenne de 43,8  $\pm$  11,4 % contre 63,1  $\pm$  13,6 %).

Leur score global de santé se situe au troisième rang sur quatre par ordre décroissant de scores des clusters.

**Cluster 2** : Les quatre élevages de ce cluster sont caractérisés par des scores de biosécurité plus hauts dans la zone publique que l'ensemble de la cohorte (moyenne de 67,6  $\pm$  3,5 % contre 60,0  $\pm$  7,9 %) et plus bas que l'ensemble de la cohorte dans la transition entre les zones professionnelle et d'élevage (moyenne de 49,2  $\pm$  9,8 % contre 65,5  $\pm$  11,7 %) ainsi que dans la zone d'élevage (moyenne de 73,2  $\pm$  6,2 % contre 79,2  $\pm$  6,8 %).

Ces élevages ont le plus haut score global de santé moyen par rapport aux trois autres clusters. Il n'y a pas de diarrhées chroniques au moment du sevrage (4/4) alors qu'elle est observée dans huit élevages parmi les seize autres.

**Cluster 3** : Ces cinq élevages sont caractérisés par des scores de biosécurité plus hauts que l'ensemble de la cohorte en zone publique (moyenne de 67,8  $\pm$  3,4 % contre 60,0  $\pm$  7,9 %).

Leur score global de santé moyen est le deuxième meilleur en comparaison des trois autres clusters.

**Cluster 4** : Les sept élevages de ce cluster sont caractérisés par des scores de biosécurité plus hauts que l'ensemble de la cohorte pour toutes les zones confondues (moyenne de 72,0  $\pm$  3,8 % contre 68,0  $\pm$  5,3 %), dans la transition entre les zones publique et professionnelle (moyenne de 68,8  $\pm$  4,8 % contre 62,1  $\pm$  8,1 %), en zone professionnelle (moyenne de 71,9  $\pm$  8,7 % contre 63,1  $\pm$  13,6 %), en zone d'élevage (moyenne de 84,2  $\pm$  5,0 % contre 79,2  $\pm$  6,8 %). Seul leur score dans la zone publique



**Tableau 2** - Scores moyens de biosécurité, en %, selon les zones de l'élevage et leur variabilité dans les quatre clusters identifiés par la classification ascendante hiérarchique.

Cluster élevages	Variables	Zone publique	Transition zones publique-professionnelle	Zone professionnelle	Transition zones professionnelle-élevage	Zone élevage	Toutes zones confondues	Santé globale
1 C,D,F,S	$\mu$	53,2	50,8	43,8	68,7	76,4	61,6	80,9
	$\sigma$	2,7	1,6	11,4	10,0	8,1	3,7	3,0
	Minimum	50,0	50,0	31,3	53,9	67,5	57,3	78,1
	Maximum	56,3	53,1	56,3	75,0	84,5	66,2	85
2 A,B,J,N	$\mu$	67,6	59,4	69,4	49,2	73,2	64,5	85,6
	$\sigma$	3,5	3,6	8,0	9,8	6,2	2,0	4,1
	Minimum	63,6	56,3	62,5	35,7	65,2	62,2	81,3
	Maximum	70,5	62,5	77,5	57,8	79,3	67,1	90,3
3 G,I,M,P,T	$\mu$	67,8	64,2	61,3	72,8	79,3	70,5	83,4
	$\sigma$	3,4	6,8	8,2	6,3	3,7	2,7	3,9
	Minimum	63,6	55,2	50,0	62,5	74,1	67,8	78,2
	Maximum	72,7	71,9	68,8	79,2	81,9	74,7	88,6
4 E,H,K,L,O, Q,R	$\mu$	53,9	68,8	71,9	67,9	84,2	72	78,6
	$\sigma$	4,3	4,8	8,7	8,7	5,0	3,8	4,6
	Minimum	47,9	62,5	59,1	53,1	74,1	67,5	71,9
	Maximum	60,4	75,0	81,3	79,0	89,7	77,1	84,3
Cohorte	$\mu$	60,0	62,1	63,1	65,5	79,2	68,0	81,7
	$\sigma$	7,9	8,1	13,6	11,7	6,8	5,3	4,6
	Minimum	45,8	50,0	31,3	35,7	65,2	57,3	71,9
	Maximum	70,5	78,1	81,3	79,2	89,7	77,8	90,3

est significativement plus bas que l'ensemble de la cohorte (moyenne de  $53,9 \pm 4,3$  % contre  $60,0 \pm 7,9$  %).

Le score global de santé moyen de ces élevages est le plus faible des quatre clusters. Des diarrhées néonatales chroniques sont observées dans six de ces sept élevages. Des diarrhées chroniques au moment du sevrage sont également fréquentes (4/7).

En considérant que le score de biosécurité toutes zones confondues et que le score global de santé sont bons au sein de notre cohorte lorsque qu'ils sont supérieurs aux scores moyens de la cohorte, et moins bons lorsqu'ils sont inférieurs aux scores moyens de la cohorte, on observe quatre associations entre les profils de biosécurité et de santé dans ces clusters : (1) moins bon en biosécurité-moins bon en santé, (2) moins bon en biosécurité-bon en santé, (3) bon en biosécurité-bon en santé et (4) bon en biosécurité-moins bon en santé.

## DISCUSSION

Les caractéristiques des clusters indiquent que de meilleurs scores de biosécurité ne sont pas systématiquement liés à une meilleure santé dans nos 20 élevages et inversement. Alors qu'on pourrait s'attendre à ce que des scores de biosécurité élevés contribuent à une meilleure santé, l'inverse est ici observé dans le cluster 4. De même, on pourrait s'attendre à ce que de bas scores de biosécurité contribuent à une moins bonne santé, or l'inverse est observé dans le cluster 2. Dans une étude explorant également le lien entre biosécurité et santé, Pandolfi *et al.* (2018) ont montré, en utilisant des données de mortalité et issues d'observation à l'abattoir pour décrire la santé, que les élevages où le score de biosécurité interne était le plus élevé étaient aussi les élevages où la mortalité était la plus élevée.

Une hypothèse pour expliquer ces observations est la présence d'un biais de causalité inversée (la présence de troubles de santé conduit à une amélioration des pratiques de biosécurité). Cette hypothèse ne peut être vérifiée dans notre étude ou dans celle de Pandolfi *et al.* (2018) du fait que la biosécurité et la santé ont été observées au même moment, sans prendre en compte leur évolution au cours du temps. Cependant, des éléments peuvent étayer cette hypothèse. En effet, les élevages du cluster 2 sont moins exposés au risque d'introduction d'agents pathogènes, en raison de la faible densité porcine dans un rayon de 5km aux alentours de leurs élevages (<300 porcs/km<sup>2</sup>) mais aussi du fait de leurs pratiques d'autorenouvellement, où aucun animal venant de l'extérieur n'entre dans l'élevage (sauf occasionnellement des verrats ; pour trois de ces quatre élevages). Certaines pratiques de biosécurité, comme la séparation stricte entre les bâtiments de stades physiologiques différents, pourraient être perçues comme aujourd'hui non nécessaires par ces éleveurs et ne sont donc pas mises en place.

Postma *et al.* (2015) ont observé que les élevages où la biosécurité était mieux maîtrisée présentaient une consommation d'antibiotiques moins importante. Certaines pratiques de biosécurité, comme des cases sales avec un chargement élevé, sont liées à une consommation plus importante d'antibiotiques (Stygar *et al.*, 2020). Un lien entre la consommation d'antibiotiques et la biosécurité a donc été mis en évidence. La consommation d'antibiotiques est toutefois un indicateur peu précis pour décrire la santé d'un élevage, d'autant plus lorsque des cahiers des charges limitant ou excluant l'utilisation d'antibiotiques sont appliqués. Dans cette étude, nous avons choisi de privilégier des indicateurs d'exposition des animaux aux agents pathogènes et

d'expression clinique des maladies en s'appuyant sur la connaissance de la santé des animaux par le vétérinaire traitant. L'un des objectifs d'un audit de biosécurité est de pouvoir prioriser les pratiques à améliorer (Alarcón *et al.*, 2021). Résumer un audit biosécurité à un score ne met pas en avant les pratiques qui sont plus importantes vis-à-vis de la santé dans le cas particulier de l'élevage considéré. Des pondérations existent dans l'audit BioCheck Ugent™ mais concernent des thématiques et non des pratiques (Laanen *et al.*, 2013). Les pratiques à améliorer en priorité ne sont pas systématiquement formalisées à la suite de l'audit. A notre connaissance, cette façon de procéder a été mise en œuvre mais uniquement en considérant les facteurs de risque d'une maladie donnée, en l'occurrence du SDRP, et non l'ensemble des pratiques de biosécurité de l'élevage (Silva *et al.*, 2018).

Une approche de la biosécurité par objectif permettant de prioriser les pratiques à améliorer, comme proposée dans l'audit HealthyLivestock, est prévue dans une prochaine phase du projet incluant les mêmes élevages. Elle permettra une approche de la biosécurité au cas par cas en évaluant l'observance des recommandations formulées et l'évolution de la santé des animaux grâce à un suivi dans le temps de notre cohorte.

## CONCLUSION

Dans notre échantillon un score élevé de biosécurité n'est pas lié à un bon niveau de santé et inversement, conduisant à relativiser l'interprétation du score de biosécurité au regard de la santé. Une approche de la biosécurité avec des audits permettant d'identifier au cas par cas des pratiques à améliorer plutôt qu'aboutissant uniquement à des scores pourrait permettre de mieux utiliser la biosécurité comme levier d'amélioration de la santé.

## REMERCIEMENTS

Cette recherche a été menée dans le cadre du projet UE-Chine HealthyLivestock. HealthyLivestock est financé par le programme de recherche et d'innovation H2020 de l'Union européenne sous le numéro de contrat 773436. Le soutien de la Commission européenne à la production de cette publication ne constitue pas une approbation du contenu, qui ne reflète que les opinions des auteurs, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alarcón L. V., Alberto A. A., Mateu E., 2021. Biosecurity in pig farms: a review. *Porc. Health Manag.*, 7, 1–15.
- Corrége I., Fourchon P., Brun T. L. E., Berthelot N., 2012. Biosécurité et hygiène en élevage de porcs : état des lieux et impact sur les performances technico - économiques. *Journées Rech. Porcine*, 44, 101–102.
- Fablet C., Chauvin C., Jolly J., Eveno E., Chouet S., Mieli L., Beloeil P., Croix L., 2006. Etude des circonstances associées à l'infection des porcs en croissance par *Lawsonia intracellularis*. *Journée Rech. Porcine*, 38, 353–358.
- Laanen M., Persoons D., Ribbens S., de Jong E., Callens B., Strubbe M., Maes D., Dewulf J., 2013. Relationship between biosecurity and production/antimicrobial treatment characteristics in pig herds. *Vet. J.*, 198, 508–512.
- Leonardi F., 2018. The Definition of Health : Towards New Perspectives. *Int. J. Health. Serv.*, 0, 1–14.
- Pandolfi F., Edwards S. A., Maes D., Kyriazakis I., 2018. Connecting different data sources to assess the interconnections between biosecurity, health, welfare, and performance in commercial pig farms in Great Britain. *Front. Vet. Sci.*, 5, 1–13.
- Postma M., Backhans A., Collineau L., Loesken S., Sjölund M., Belloc C., Emanuelson U., Grosse Beilage E., Stärk K. D. C., Dewulf J., 2015. The biosecurity status and its associations with production and management characteristics in farrow-to-finish pig herds. *Animal*, 10, 478–489.
- Rodrigues Da Costa M., Gasa J., Calderón Díaz J. A., Postma M., Dewulf J., McCutcheon G., Manzanilla E. G., 2019. Using the Biocheck.Ugent™ scoring tool in Irish farrow-to-finish pig farms: Assessing biosecurity and its relation to productive performance. *Porc. Health Manag.*, 5, 1–9.
- République Française, 2018. Arrêté du 16 octobre 2018 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations détenant des suidés dans le cadre de la prévention de la peste porcine africaine et des autres dangers sanitaires réglementés. *JO*, 240, 70-75.
- Silva G. S., Corbellini L. G., Linhares D. L. C., Baker K. L., Holtkamp D. J., 2018. Development and validation of a scoring system to assess the relative vulnerability of swine breeding herds to the introduction of PRRS virus. *Prev. Vet. Med.*, 160, 116–122.
- Stygar A. H., Chantziaras I., Toppari I., Maes D., Niemi J. K., 2020. High biosecurity and welfare standards in fattening pig farms are associated with reduced antimicrobial use. *Animal*, 14, 2178–2186.

# Construction d'un modèle prescriptif visant à proposer des pistes d'amélioration personnalisées pour les éleveurs de porcs

*Arnaud BUCHET (1), Laurent DALUZEAU (2), Justina IVANAUSKAITE (3), Ivan TRESTKOV (3), Bastien RIERA (4), Jean-Yves LEGAUD (5), Florian VOISIN (6), Sylvie CHOUET (2)*

*(1) Cooperl Innovations SAS, 1 rue de la Gare, 22640 Plestan, France*

*(2) MSD Santé Animale, 7 rue olivier de serres 49071 Beaucozé cedex, France*

*(3) MSD, Na Valentince 3336/4, 150 00 Prague 5, République Tchèque*

*(4) Cooperl Data Sciences, 1 rue de la Gare, 22640 Plestan, France*

*(5) Cooperl Groupement d'éleveurs, 21 Rue d'Armor Maroué, 22403 Lamballe-Armor cedex, France*

*(6) SELAS HYOVET, Carrefour de la Penthièvre, 22640 Plestan, France*

*arnaud.buchet@cooperl.com*

*Avec la collaboration de Lukas Ergt*

## **Construction d'un modèle prescriptif visant à proposer des pistes d'amélioration personnalisées pour les éleveurs de porcs**

L'accompagnement technique et sanitaire des éleveurs de porcs vise à leur proposer des solutions pour améliorer les performances générales de l'élevage. L'incertitude liée à la mise en place de nouvelles pratiques peut être due au manque de visibilité sur les impacts de ces solutions. A partir des données de Cooperl et de l'expertise en analyse de données de MSD, une étude visant à construire un modèle prescriptif pour proposer des pistes d'amélioration personnalisées pour les éleveurs de porcs a été conduite. Les données de neuf sources issues de 579 élevages ont été compilées au semestre entre 2015 et 2019 permettant l'identification de trois indicateurs clés de performances de l'élevage : productivité moyenne annuelle des truies, indice de consommation global, âge moyen à 115 kg. Le statut sanitaire de l'élevage a été approché par un score de performances zootechnique et sanitaire, l'utilisation d'antibiotiques et le nombre de valences vaccinales pour les truies ou les porcelets. L'analyse des relations directes et indirectes, linéaires et non linéaires entre variables et la segmentation des élevages ont permis d'estimer les impacts de la mise en place de nouvelles pratiques sur les trois indicateurs clés d'une part et d'établir une liste de recommandations personnalisées par élevage avec une estimation de gains de performance d'autre part. Au final, le modèle recommande en moyenne 18, 15 et 13 changements de pratiques pour un impact moyen de respectivement +1,33 porc vendus/truie/an, -0.02 kg/kg d'indice global et -2.6 jours à 115 kg. Un déploiement terrain sur un réseau restreint d'éleveurs permettra de confirmer ou non si les gains annoncés par le modèle se concrétisent.

## **Construction of a prescriptive model to propose personalized improvement paths to pig farmers**

Swine-health-management programs exist to propose solutions to pig producers that improve the performance of their operations. The uncertainty around implementing new practices can be related to the lack of visibility of the impact of these practices on performance. A study was conducted to build a prescriptive model to propose personalized health-management recommendations to pig farmers. It uses data generated by Cooperl and data-analysis expertise of MSD. Data from nine sources coming from 579 farms was compiled by semester from 2015-2019, which allowed for identification of three key performance indicators for pig farms: annual mean productivity of sows, overall feed conversion rate and mean age at 115 kg. The health status of each pig farm was assessed by calculating a performance and health score and quantifying the use of antibiotics and vaccines in sows or piglets. Analyzing direct and indirect linear and non-linear relations between variables and the clustering of farms estimates impacts, for each farm, of implementing new practices on the three key performance indicators and generates of a list of personalized recommendations. In addition, this analysis estimates performance improvements. On average, the model recommended 18, 25 and 13 changes to on-farm practices, which had a mean impact of +1.33 pigs sold/sow/year, -0.02 kg/kg of overall feed conversion rate and -2.6 days to reach 115 kg, respectively. Applying the model to a selected pig farms would help verify the estimated improvements under field conditions.

## INTRODUCTION

L'accompagnement technique et sanitaire des éleveurs de porcs nécessite de maîtriser la théorie sur les pratiques et une force de conviction pour que l'éleveur mette en place la pratique recommandée. Il est d'autant plus facile de convaincre que l'incertitude liée à l'effet supposé de la pratique sur les performances et sur les variables indirectes est réduite. Ceci passe notamment par un chiffrage de cette réduction de l'incertitude à partir des données générées à l'élevage. Aujourd'hui, l'objectivation des espoirs de gains de performances liés à la mise en place de recommandations pour un élevage est complexe car elle repose sur une analyse des gains sur les élevages qui ont mis en place la pratique sans tenir compte des caractéristiques spécifiques des élevages. Par conséquent, aujourd'hui, on ne sait pas objectiver de façon précise, les potentielles conséquences de la mise en place d'une pratique d'élevage sur ces performances.

Depuis de nombreuses années, beaucoup de données sont collectées au sein des élevages adhérents à la Cooperl et sont utilisées pour bâtir les références techniques communiquées aux éleveurs dans le but de les faire progresser. La consolidation de données très variables permettant une vision globale de l'élevage est possible mais nécessite la prise en compte des interactions multiples entre variables afin d'interpréter au mieux l'effet d'une pratique sur les performances d'un élevage en extrayant les relations directes et indirectes. Il s'agit là d'une méthode mathématique et statistique non maîtrisée par les équipes Cooperl. De son côté, MSD a une équipe Data Science qui travaille sur des projets en santé humaine avec prise en compte des différentes interactions entre variables. Par conséquent, un travail collaboratif entre Cooperl et MSD Santé animale a été mené avec pour objectif de construire un modèle prescriptif permettant d'établir des recommandations de changement de pratiques d'élevage et de quantifier leurs potentiels impacts sur les performances. Cet article vise à présenter la démarche et les premiers résultats.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Constitution d'une base de données unique

La première phase de travail a concerné le rassemblement de bases de données d'éleveurs de porcs naisseurs engraisseurs adhérents à la coopérative Cooperl avec les données suivantes :

- Gestion technique du troupeau de truies (GTTT) : données en lien avec la reproduction et la productivité des truies ;
- Gestion technico-économique de l'élevage (GTE) : données en lien avec les performances techniques et économiques de l'atelier porc ;
- Facturation des produits vétérinaires ;
- Facturation des produits d'hygiène : désinfectant, dégraissant, produits de luttés contre les nuisibles ;
- Données d'exposition des animaux aux antibiotiques : Average Levels of Exposure to Antimicrobials (ALEA) ;
- Contrôles nez et poumons en abattoir : notation des cloisons et des volutes nasales et lésions sur les lobes pulmonaires ;
- Facturation des aliments ;

- Données d'abattage : poids et qualité de carcasse, notation des mâles entiers odorants ;
- Facturation des reproducteurs.

Les données ont été agrégées au semestre pour 579 sites d'élevage sur 11 semestres entre le premier semestre 2015 et le deuxième semestre de 2019.

### 1.2. Calcul de nouvelles variables

Pour toutes les données de facturation, des catégories de produits ont été constituées :

- Données d'aliment : regroupement par stade physiologique : Truie Gestante, Truie Allaitante, Porcelet 1<sup>er</sup> âge, Porcelet 2<sup>ème</sup> âge, nourrain, croissance et finition ;
- Données de produits vétérinaires : identification des vaccins regroupés par leurs valences d'indication :
  - Vaccins sur Truie : SDRP (Syndrome Dysgénésique et Respiratoire Porcin), Parvovirose, Rouge, Rhinite Atrophique, diarrhées à Clostridies, diarrhées néonatales, Grippe, Leptospirose, Maladie de Glässer
  - Vaccins sur Porcelet : Pneumonie à *Mycoplasma hyopneumoniae*, Circovirose due à PCV2, iléite, SDRP, Pleurésie à Actinobacilles, Oedème colibacillaire, Diarrhées à *E. coli*
- Données de facturation de reproducteurs : regroupement par type génétique ;
- Données de facturation des produits d'hygiène : Identification du désinfectant et du dégraissant utilisés.

Pour chaque catégorie créée, le produit le plus utilisé par catégorie et par site d'élevage a été identifié. Par exemple, « Prem'Acti » a été renseigné comme l'aliment 1<sup>er</sup> âge utilisé par l'élevage A au premier semestre 2015 lorsqu'il représentait le produit le plus acheté en volume entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 30 juin 2015 pour ce site d'élevage dans la catégorie aliment pour porcelet 1<sup>er</sup> âge.

Pour les vaccins, une variable binaire de l'existence ou non d'une vaccination contre la maladie visée au sein de l'élevage a été créée lorsque des doses de vaccins contre ladite valence étaient achetées au cours de la période considérée pour l'élevage concerné.

Les données manquantes ont été traitées de deux manières complémentaires. D'une part pour chaque base de données originale, une variable représentant le pourcentage de valeurs manquantes pour un élevage au semestre considéré a été construite. Ainsi, pour le cas d'un éleveur qui n'enregistrerait pas de données de GTTT sur un semestre, la variable « Valeurs manquantes GTTT » est à 100%. D'autre part, des sous-jeux de données ont été créés avec :

- Un jeu de données rassemblant toutes les variables mais uniquement avec les couples élevage/semestre renseignant toutes les données ;
- Un jeu de données rassemblant tous les couples élevage/semestre mais uniquement avec les variables renseignées par tous.

Ces deux jeux de données ont été utilisés tout au long de l'analyse de données de façon complémentaire.

Le jeu de données final comprend 126 variables.

### 1.3. Définition des indicateurs clés

L'évaluation de la performance technico-économique globale de chaque élevage a été définie par les experts-métiers par trois indicateurs clés issus de la GTE :

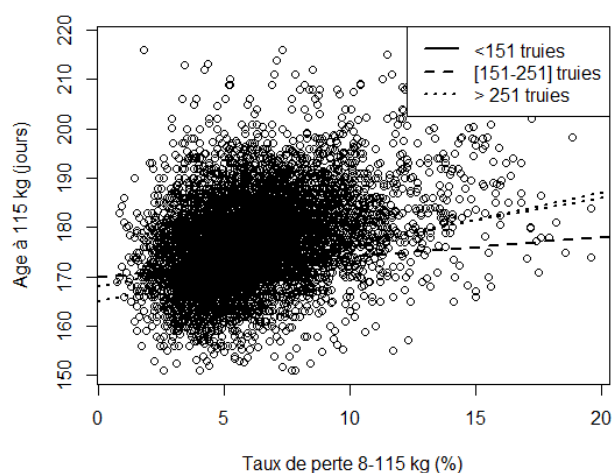
- L'âge moyen des porcs à 115 kg : reflet de la croissance des animaux ;
- L'indice de consommation global : indicateur de l'efficacité alimentaire des porcs, de la productivité numérique des truies et de la mortalité des porcs en croissance ;
- Le nombre moyen de porcs vendus par truie productive et par an : indicateur de la productivité numérique des truies et de la mortalité des porcs de la naissance à l'abattoir.

Ces trois indicateurs permettent de mesurer de façon assez synthétique le niveau de performances technico-économiques d'un élevage de porcs.

### 1.4. Analyse des relations entre variables

Les relations linéaires entre chaque variable numérique ont été explorées à l'aide du logiciel R. Lorsque la corrélation linéaire était significative au seuil de 5% et le coefficient de corrélation  $r^2$  était supérieur à 0,3, les variables ont été marquées comme reliées linéairement et directement.

En complément, les relations non linéaires entre les variables numériques ont été étudiées avec des modèles polynomiaux ou quadratiques à l'aide du logiciel R. Les relations non linéaires ont été considérées comme significatives au seuil de 5%.



**Figure 1** – Relation linéaire entre l'âge moyen semestriel à 115 kg des porcs d'un élevage et le taux de mortalité moyen semestriel entre 8 kg et 115 kg.

*L'effet indirect de la taille d'élevage est matérialisé par trois droites de régression pour les petits, moyens et gros élevages de l'échantillon.*

Pour chaque relation linéaire ou non linéaire entre deux variables numériques, l'effet d'une variable qualitative sur la relation entre les deux variables étudiées a été exploré d'un point de vue purement mathématique par un modèle linéaire multivarié à l'aide du logiciel R (Croissant et Millo, 2008). Ensuite, des experts métiers de Cooperl et de MSD ont apporté leur regard sur la signification biologique ou économique de la relation décrite par le modèle mathématique. Ainsi, la taille de l'élevage est indirectement associée à la relation linéaire entre l'âge moyen semestriel à 115 kg par élevage et le taux de mortalité moyen semestriel entre 8 kg et 115 kg (Figure 1).

La description complète des relations directes et indirectes, linéaires ou non-linéaires, a permis de construire un réseau d'association entre variables permettant de prendre en compte les interactions multiples entre elles.

### 1.5. Détermination du statut sanitaire des élevages

L'appréciation du niveau de performances des élevages et de l'adéquation du choix de certaines pratiques d'élevage (aliment, vaccination, produits d'hygiène) sont difficiles sans avoir connaissance du statut sanitaire de l'élevage. L'évaluation du statut sanitaire d'un élevage est communément réalisée par un audit complet de l'élevage par un vétérinaire en prenant en compte l'animal, le logement, l'alimentation, le respect de la conduite d'élevage, le microbisme ou encore l'éleveur. Ces audits sont très riches d'informations mais souvent très consommateurs en temps. Reposant sur un seul vétérinaire, ils sont peu répétables.

A partir des variables du jeu de données, le statut sanitaire de chaque élevage pour chaque semestre a été approché par quatre indicateurs complémentaires :

- Performances techniques : indice de consommation global moyen, comme indicateur synthétique des performances technico-économiques de l'élevage ;
- Performances de santé :  $0,6 \times$  taux de mortalité moyen entre 8 kg et 115 kg +  $0,21 \times$  pourcentage de carcasse avec une saisie abattoir +  $0,19 \times$  pourcentage de poumons lésés. Cet indicateur évalue les performances sous l'angle santé ;
- Investissement préventif dans la santé à visée long terme : nombre de valences vaccinales pour les truies et les porcelets ;
- Investissement curatif dans la santé à visée court terme : ALEA. Cet indicateur évalue l'exposition moyenne aux antibiotiques des porcs de l'élevage.

Les paramètres de l'équation de détermination des performances de santé ont été calculés à partir des coefficients de l'équation linéaire explicative de l'indice de consommation global.

Pour une meilleure lisibilité, les quatre indicateurs approchant le statut sanitaire des élevages de notre échantillon ont été centrés et réduits avec une moyenne à 100 et un écart-type à 20 pour le semestre 1 de 2015. Ainsi, le statut sanitaire d'un élevage pour un semestre donné s'approche par une interprétation complémentaire des quatre indicateurs sans que ceux-ci ne soient cumulés en un seul.

### 1.6. Construction du modèle prescriptif

A partir du réseau de corrélations construit sur la base des relations directes et indirectes entre les variables du jeu de données d'une part et entre les variables et les trois indicateurs clés de performances (âge à 115 kg, productivité annuelle des truies et indice de consommation globale) d'autre part, l'impact de la mise en place d'une pratique en élevage (vaccin, nouvel aliment, nouveau désinfectant) a été mesuré. Ainsi, pour chaque pratique mise en place, un sous-échantillon d'élevages ayant mis en place la pratique pendant les périodes considérées, avec une mise en place pendant au moins deux semestres pour l'une et/ou l'autre des pratiques considérées, a été constitué. Au sein de ce sous-échantillon, l'impact de la mise en place de la pratique a été estimé et isolé des autres facteurs

associés à l'évolution de la variable considérée. Par exemple, la mise en place de la vaccination SDRP sur les truies a été étudiée en analysant l'évolution de la productivité annuelle des truies pour tous les élevages ayant mis en place la vaccination entre le premier semestre 2015 et le deuxième semestre 2019. Les autres variables significativement associées à l'évolution de la productivité annuelle ont donc été prises en compte pour visualiser uniquement les effets de la vaccination SDRP.

Pour chacun des trois indicateurs clés, l'impact du changement de pratiques a été testé sur le semestre du changement sur le semestre suivant ou avec un décalage de deux semestres. En effet, d'un point de vue métier, la mise en place d'une vaccination sur un troupeau de truies peut impliquer un délai pour la stabilisation de la circulation de l'agent pathogène visé et ainsi l'augmentation de la productivité numérique moyenne annuelle des truies. En revanche, la mise en place d'un nouvel aliment sur la phase de croissance peut avoir un impact direct sur l'évolution de l'indice de consommation global de l'élevage au semestre de la mise en place de ce nouvel aliment.

### 1.7. Evaluation du modèle prescriptif

A partir de l'analyse des effets de la mise en place de nouvelles pratiques dans les élevages sur les trois indicateurs clés, une modélisation mathématique a été construite pour tester l'impact de la mise en place d'une nouvelle pratique dans des élevages qui ne l'ont pas mise en place au cours de la période couverte par la base de données (modèle linéaire multivarié, logiciel R). Pour cela, une segmentation des élevages basée sur le niveau de performances, le statut sanitaire estimé à partir des données et sur les pratiques mises en place a été faite. Il s'agit ici d'étudier sur des profils d'éleveurs homogènes l'impact de la mise en place de nouvelles pratiques, déjà mises en place chez certains éleveurs du groupe homogène, sur le niveau de performances synthétisé par les trois indicateurs clés (âge à 115kg, indice de consommation global, productivité numérique annuelle moyenne des truies).

Ainsi, pour chaque élevage, l'impact de la mise en place d'une ou plusieurs pratiques nouvelles l'élevage a été testé sur les trois indicateurs clés sur le semestre du changement, le semestre suivant et deux semestres après la mise en place. Pour chaque élevage, une liste de recommandations a donc été établie avec l'impact estimé de l'adoption de ces recommandations sur ses indicateurs clés. Ceci permet donc de classer les recommandations selon leur niveau d'impact sur le niveau de performances de l'élevage.

La robustesse de ce modèle de prescription a été analysée par un processus de traitement de données visant à estimer les gains de performances obtenus par la mise en place d'une pratique dans un élevage au cours de la période considérée. Ainsi, le gain de performance estimé par le modèle a été comparé au gain de performance qui a réellement été observé suite à l'adoption de la pratique dans l'élevage considéré (De Hoyos et Sarafidis, 2006).

## 2. RESULTATS

### 2.1. Description du jeu de données

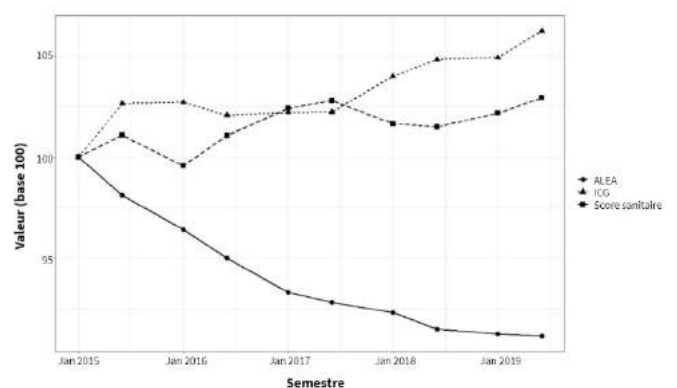
Comme attendu, l'âge à 115 kg, l'indice de consommation global, la productivité annuelle permettent de définir les élevages performants. Ces élevages ont les caractéristiques suivantes :

- Performances parmi les plus élevées sur la partie reproduction (nés vifs, productivité annuelle, taux de fécondité) et sur la partie élevage des porcs (indice de consommation, poids de carcasse et plus-value technique) ;
- Collecte plus exhaustive des données que la moyenne des éleveurs : le nombre de données manquantes par base et le nombre de bases de données sans données collectées sont plus faibles pour les élevages performants que pour la moyenne ;
- Capacité à s'adapter à leur situation sanitaire : la variabilité du nombre de vaccins utilisés ou du niveau d'ALEA moyen traduit une extrême diversité de profils d'élevage, selon leur statut sanitaire ;
- Utilisation des dernières innovations de Cooperl : les éleveurs considérés produisent davantage de porcs dans les cahiers des charges les plus exigeants du groupe et utilisent davantage les derniers produits mis en marché par Cooperl (aliments ou produits d'hygiène) que la moyenne des éleveurs.

L'analyse descriptive du jeu de données de l'étude a permis de confirmer des relations déjà connues par les experts métier et de valider la première approche du projet.

### 2.2. Evolution des indicateurs de statut sanitaire

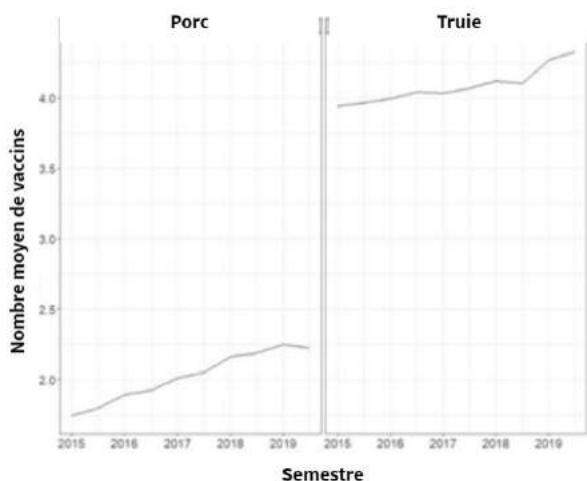
L'exploration des données de l'échantillon a montré une augmentation des scores de performances sanitaire (réduction des taux de perte entre 8 kg et 115 kg, des taux de saisies carcasses à l'abattoir et du pourcentage de poumons lésés) et technique (amélioration de l'indice de consommation globale) entre le premier semestre 2015 et le deuxième semestre de 2019 et une diminution de l'ALEA sur cette même période (Figure 2). Ainsi, l'état sanitaire moyen des élevages de l'échantillon semble être meilleur en 2019 qu'en 2015.



**Figure 2** – Evolution des scores de performances sanitaires et techniques ainsi que de l'ALEA entre le premier semestre 2015 et le deuxième semestre de 2019 (base 100 au premier semestre de 2015, ICG : Indice de consommation Global)

### 2.3. Utilisation des vaccins

Entre 2015 et 2019, le nombre de valences vaccinales utilisées par élevage a augmenté en moyenne pour les élevages de l'échantillon (Figure 3). Au semestre 1 de 2015, les élevages de l'échantillon vaccinaient les truies pour 3,90 valences et les porcelets pour 1,75 valences contre respectivement 4,30 valences et 2,24 valences au deuxième semestre de 2019 (+0,40 valences pour les truies et +0,49 valences pour les porcelets).



**Figure 3**– Evolution du nombre de valences vaccinales sur les truies et les porcelets entre le premier semestre 2015 et le deuxième semestre de 2019.

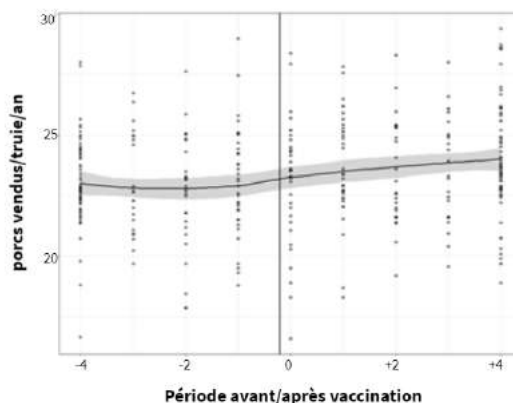
Ainsi, l’amélioration tendancielle de l’indicateur sanitaire d’élevage se traduit par une amélioration des performances sanitaires et techniques, d’une diminution de l’exposition aux antibiotiques et d’une augmentation du nombre de vaccins. Ceci est cohérent avec l’augmentation du nombre d’élevages de l’échantillon dans le cahier des charges de production de Cooperl « Porcs sans antibiotiques » dans l’échantillon (23% des élevages de l’échantillon au premier semestre 2015 et 55% des élevages au deuxième semestre 2019).

#### 2.4. Modèle prescriptif

##### 2.4.1. Vaccins

La productivité numérique moyenne des truies dans les élevages ayant mis en place la vaccination SDRP sur les truies augmente de 0,188 porc vendu par truie et par an dès le semestre de la mise en place du vaccin (Figure 4). Après quatre semestres, l’augmentation atteint 0,92 porc vendu par truie et par an.

La mise en place de la vaccination SDRP sur les porcelets dans les élevages de l’étude n’a pas entraîné d’évolution significative des performances de l’élevage (productivité annuelle moyenne numérique des truies, indice de consommation global et âge à 115 kg) lors du semestre de la mise en place du vaccin ou lors du semestre suivant (Tableau 1). Pour ces élevages, deux semestres après la mise en place de la vaccination SDRP sur les porcelets, la productivité moyenne annuelle des truies a augmenté (+ 0,482 porc vendu/truie/an,  $P < 0.001$ ), l’indice de consommation global a diminué (-0,023 kg/kg,  $P < 0.001$ ) et l’âge moyen à 115 kg s’est réduit (-0,793 jour,  $P < 0.001$ ). Par ailleurs, la mise en place de la vaccination SDRP sur les truies a provoqué une augmentation de la productivité annuelle moyenne (+0,188 porc vendu/truie/an,  $P < 0.01$ ), une diminution de l’indice de consommation global (-0,008 kg/kg,  $P < 0.05$ ) et une diminution de l’âge moyen à 115 kg (-0,0605,  $P < 0.01$ ) dès le semestre de sa mise en place. Ces résultats sont en accord avec des études qui ont montrées que les effets de la mise en place de la vaccination SDRP sur la réduction de la mortalité en post-sevrage (Alvarez *et al.*, 2015) ou la mise en place d’un vaccin combiné PCV2 et *Mycoplasma hyopneumoniae* sur l’amélioration des notes pulmonaires (Duivon *et al.*, 2018).



**Figure 4**– Evolution de la productivité numérique moyenne annuelle des truies suite à la mise en place de la vaccination SDRP chez les truies dans les élevages ayant mis en place cette vaccination (0 est le semestre de mise en place de la vaccination SDRP).

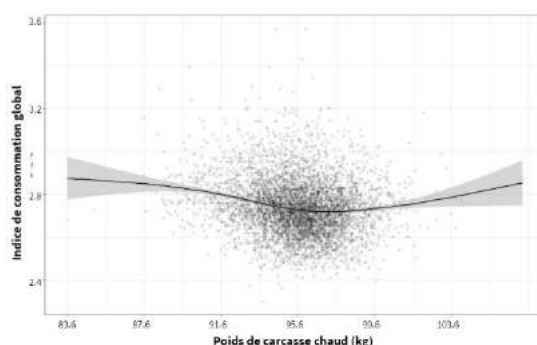
**Tableau 1** – Impacts estimés de la mise en place de la vaccination SDRP (truies ou porcelets) dans les élevages ayant mis en place cette vaccination entre le premier semestre 2016 et le deuxième semestre 2018

	Productivité annuelle (porcs vendus/truie/an)	Indice de consommation global	Âge à 115 kg
Mise en place vaccination SDRP porcelet			
Semestre 0	+0,169	-0,009	-0,389
Semestre +1	-0,110	-0,001	+0,146
Semestre +2	+0,482***	-0,023***	-0,793*
Mise en place vaccination SDRP Truie			
Semestre 0	+0,188**	-0,008*	-0,0605**

\*  $P < 0,05$ , \*\*  $P < 0,01$ , \*\*\*  $P < 0,001$

##### 2.4.2. Poids de carcasse

L’augmentation du poids de carcasse à chaud semble avoir, en moyenne, un effet sur l’indice de consommation global de l’élevage (Figure 5). Ainsi, lorsque le poids de carcasses à chaud augmente jusqu’à 96 kg, l’indice de consommation diminue, il se stabilise lorsque le poids de carcasse à chaud est entre 96 kg et 98 kg puis l’indice de consommation augmente en moyenne lorsque le poids de carcasse moyen des porcs augmente au-delà de 98 kg.



**Figure 5** – Evolution estimée de l’indice de consommation global selon le poids de carcasses chaud moyen des porcs à l’abattoir

Il s’agit donc ici d’objectiver l’impact sur l’indice de consommation global pour un éleveur d’une évolution de sa stratégie de départ des porcs à l’abattoir qui conduirait à une évolution du poids de carcasse des animaux.

## 2.5. Recommandations en élevage

Le modèle prescriptif appliqué à tous les élevages de l'échantillon a permis d'identifier en moyenne 18, 15 et 13 recommandations de mise en place de nouvelles pratiques pour un impact moyen de respectivement +1,33 porc vendus/truie/an, -0.02 kg/kg d'indice de consommation global et -2.6 jours à 115 kg.

**Tableau 2** – Nombre de recommandations et impact moyen de la mise en place des recommandations dans les élevages de l'échantillon

	Productivité annuelle (porcs vendus/truie/an)	Indice de consommation global	Âge à 115 kg
Nombre moyen de recommandations par élevage	18	15	13
Impact moyen attendu par élevage de la mise en place des recommandations	+1,33	-0,02	-2,6

Les recommandations de changement de pratiques concernent la mise en place d'un nouveau vaccin sur porcelets ou sur truies, d'un nouvel aliment de la gamme Cooperl sur la phase de 1<sup>er</sup> âge, de 2<sup>ème</sup> âge, de croissance ou de finition pour les porcs, de nouveaux aliments sur les phases de gestation ou d'allaitement pour les truies, l'achat d'un autre type de reproducteur, le changement ou la mise en place d'un dégraissant et/ou d'un désinfectant, une évolution du poids de vente des animaux. A ce stade, le modèle mathématique émet des propositions de changement de pratiques qui reposent essentiellement sur l'analyse des données et la confrontation entre données prédites et données réelles lors de la vérification de la précision du modèle. Ces tentatives de modélisation d'impacts de mise en place de pratiques dans les élevages sont restées, à notre connaissance, uniquement théoriques, que ce soit pour les impacts de la vaccination SDRP (Bitsouni

*et al.*, 2019) ou les impacts de la diffusion de la grippe (Cador *et al.*, 2017). En effet, le regard et l'expertise métier restent nécessaires pour juger de la pertinence de la mise en place de la pratique sur le terrain. Ainsi, le technicien d'élevage, le vétérinaire et l'éleveur restent les premiers acteurs impliqués dans le choix final des pratiques à mettre en place pour améliorer les performances de l'élevage. Il ne s'agit donc pas ici de substituer l'expert dans l'apport d'une solution mais de lui apporter une visibilité sur le potentiel permis par la mise en place de la nouvelle pratique et d'aider l'encadrement technique à convaincre et rassurer l'éleveur dans la mise en place de changements au sein de son élevage.

## CONCLUSION

La mise en place d'une démarche de progrès en élevage par les équipes techniques, les vétérinaires et les éleveurs est parfois freinée par le manque de visibilité sur l'efficacité d'une nouvelle mesure. La méthodologie employée dans cette étude se propose de prendre en compte les interactions multiples existantes entre les différentes variables des données issues de ces élevages pour établir un réseau de relations directes et indirectes, linéaires et non linéaires. Par ailleurs, à partir de ces données, une estimation du statut sanitaire de l'élevage a été approchée par le calcul de scores de performances techniques et sanitaires, d'utilisation d'antibiotiques et de nombre de valences vaccinales employées sur les truies et les porcelets. Le modèle mathématique permet d'identifier des recommandations qui pourront être mises en place pour améliorer la productivité annuelle moyenne, l'indice de consommation global et l'âge moyen à 115 kg, indicateurs de la performance de l'élevage. Il convient désormais d'engager les équipes techniques, les vétérinaires partenaires de Cooperl et le laboratoire MSD Santé Animale dans un premier déploiement terrain sur un échantillon restreint d'éleveurs qui visera à vérifier si les gains annoncés par le modèle se concrétisent sur le terrain. A plus long terme, le déploiement de ce nouveau service est envisagé pour les adhérents.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alvarez J., Sarradell J., Kerkaert B., Bandyopadhyay D., Torremorell M., Morrison R., Perez A., 2015. Association of the presence of influenza A virus and porcine reproductive and respiratory syndrome virus in sow farms with post-weaning mortality. *Prev. Vet. Med.*, 121(3-4):240-5.
- Bitsouni V., Lycett S., Opriessnig T., Doeschl-Wilson A., 2019. Predicting vaccine effectiveness in livestock populations: A theoretical framework applied to PRRS virus infections in pigs. *PLoS ONE* 14(8): e0220738.
- Cador C., Andraud M., Willem L., Rose N., 2017. Control of endemic swine flu persistence in farrow-to-finish pig farms: a stochastic metapopulation modeling assessment. *Vet. Res.*, 48, 58.
- Croissant Y, Millo G. 2008. Panel Data Econometrics in R: The plm Package. *Journal of Statistical Software*, 27(2).
- De Hoyos R, Sarafidis V. 2006. "Testing for Cross-Sectional Dependence in Panel-Data Models." *The Stata Journal*. 6 (4). 482-496
- Duivon, D., Corrége, I., Hémonic, A. Rigaut M., Roudaut D., Jolie R., 2018. Field evaluation of piglet vaccination with a *Mycoplasma hyopneumoniae* bacterin as compared to a ready-to-use product including porcine circovirus 2 and *M. hyopneumoniae* in a conventional French farrow-to-finish farm. *Porc Health Manag* 4, 1-8.



# Les filières « porcs élevés sans antibiotiques » en France : caractéristiques, atouts, limites et perspectives

## Projet européen ROADMAP

*Christine ROGUET et Anne HEMONIC*

*Ifip-institut du porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu, France*

*christine.roguet@ifip.asso.fr*

### **Les filières « porcs élevés sans antibiotiques » en France : caractéristiques, atouts, limites et perspectives**

Le projet européen ROADMAP vise à accompagner les transitions vers une utilisation prudente et responsable des antibiotiques en élevage. Il mobilise les sciences sociales et l'économie au côté des sciences animales et vétérinaires. Cet article présente les résultats du diagnostic réalisé dans ce cadre en 2020, à partir d'entretiens auprès (i) de 10 vétérinaires ou responsables qualité de cinq organisations de producteurs (OP), d'un transformateur et d'un distributeur, puis (ii) de 18 éleveurs dont la moitié en filière sans antibiotiques (SA). Il éclaire sur les pratiques et comportements des éleveurs en santé animale et usage d'antibiotiques, et sur le fonctionnement des filières SA : historique, partenaires, motivations, rémunération, volumes et contrôles. Les modes de calcul des quantités d'antibiotiques utilisées en élevage, lorsqu'il existe, sont hétérogènes entre OP ce qui ne permet pas de conclure sur des différences de niveaux d'usage entre élevages SA et hors SA adhérents à des OP différentes. Les filières SA développées par les acteurs de la filière depuis 10 ans répondent à des attentes sociétales et sécurisent les débouchés. Elles représentent environ 15% de la production française. La première motivation des éleveurs pour y entrer est économique : ils perçoivent une plus-value, variable selon les contraintes et leur degré d'approvisionnement auprès de leur OP. Contrairement au critère sans OGM, l'allégation SA ne fait l'objet d'aucune définition légale, conduisant à des cahiers des charges et étiquetages très divers. Leur simplification pourrait conduire à une segmentation en quatre filières : standard « Le Porc Français-Qualité et Traçabilité » (niveau d'entrée d'allégations harmonisées), sous certification de conformité des produits (CCP) (exigences supérieures), Label Rouge, BIO. Avec une seule CCP, chaque éleveur pourrait livrer plusieurs abattoirs ce qui contribuerait à un meilleur équilibre dans le rapport de force entre la production et l'aval de la filière.

### **“Antibiotic-free” pig supply schemes in France: characteristics, advantages, limits and prospects**

The European project ROADMAP promotes transitions for prudent and responsible antimicrobial use in livestock farming. Besides animal and veterinary sciences, it uses social sciences and economics to analyse the structure of food and drug supply chains, as well as the practices, knowledge and behaviours of stakeholders involved in managing the health of farmed animals. This article presents results of the assessment carried out in this project in 2020, based on interviews with (i) 10 veterinarians or quality managers from five producer organizations (PO), a processor and a retailer, and then (ii) 18 pig farmers, half of them in an antibiotic (AB)-free scheme. It clarifies the practices and behaviours of breeders in animal-health management and use of antibiotics, as well as the AB-free private schemes. Methods for calculating the quantities of antibiotics used at the farm level, when it is done, vary among POs, which does not allow conclusions to be drawn about differences in use between AB-free and conventional farms belonging to different POs. The AB-free lines developed by the pig sector over the past 10 years meet societal expectations and secure outlets. They represent approximately 15% of French pig production. The main motivation of breeders to enter a scheme is economic: they perceive a bonus, which varies according to the constraints and their degree of supply from their PO. Unlike a GMO-free claim, the AB-free claim is not subject to any legal definition, leading to very diverse specifications and labelling. Simplifying them could lead to segmentation into four sectors: standard 'Le Porc Français-Qualité et Traçabilité (entry level of harmonized claims), under product conformity certification (CCP, upper levels), Label Rouge, and organic. With a single CCP, each breeder could deliver to several slaughterhouses, which would help improve the power balance.

## INTRODUCTION

L'émergence et la propagation de la résistance aux antimicrobiens est amplifiée par l'utilisation inappropriée des antibiotiques. Il est donc nécessaire de lutter contre les infections bactériennes et d'utiliser les antibiotiques de façon plus responsable afin de préserver leur efficacité. La réduction des usages d'antibiotiques en élevage passe par l'activation de leviers, variables selon les pays, à différents niveaux, des politiques publiques (réglementations, plans de réduction, suivi et contrôle des usages, instruments économiques tels les taxes, prélèvements, subventions ou plus-values, financement de la recherche...), des filières (sensibilisation et formation des acteurs, cahiers des charges, soutien financier à l'amélioration des pratiques, communication auprès des consommateurs, traçabilité...) et des éleveurs (bonnes pratiques). En France, le premier plan EcoAntibio (2012-2016) a été un succès : les usages d'antibiotiques chez les animaux ont baissé de 37% pour un objectif initial fixé à -25 % (Anses, 2020). Dans le second plan EcoAntibio (2017-2021), l'objectif spécifique de réduction de 50% en cinq ans de l'exposition à la colistine en filière bovine, porcine et avicole a également été dépassé (-64%).

Lancé en 2019 pour quatre ans, le projet européen ROADMAP ([www.roadmap-h2020.eu/](http://www.roadmap-h2020.eu/)) vise à favoriser les transitions vers une utilisation prudente des antibiotiques dans les filières bovines, porcines et avicoles. Il implique 16 instituts de recherche et 11 pays (France, Espagne, Italie, Pays-Bas, Danemark, Belgique, Grande-Bretagne, Suisse, Suède, Vietnam et Mozambique). Son originalité réside dans l'attention portée à l'étude des systèmes de décision en matière d'usage des antibiotiques tout au long des chaînes alimentaires et pharmaceutiques. Les sciences sociales et l'économie sont mobilisées, aux côtés des sciences animales et vétérinaires, pour analyser la structure des systèmes alimentaires et pharmaceutiques, et les pratiques et comportements des acteurs impliqués dans la gestion de la santé animale.

Cet article présente l'état des lieux, réalisé par l'Ifip pour le projet ROADMAP, des filières « porcs élevés sans antibiotiques » (SA) et des pratiques des éleveurs en termes de santé animale et d'usage d'antibiotiques en 2020 en France.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Outre des données documentaires (sites internet des entreprises, presse professionnelle...), l'analyse des filières SA et des pratiques des éleveurs en termes de santé animale et d'usage d'antibiotiques a reposé sur deux séries d'entretiens, principalement par téléphone en raison du contexte sanitaire : 1) en juillet 2020 auprès de 10 vétérinaires ou responsables qualité de cinq organisations de producteurs (OP) (Cirhyo, Cooperl, Eureden, Porc Armor Evolution, Porvéo), représentant 55% de la production porcine française, d'un transformateur et d'un distributeur, 2) de septembre à décembre 2020, auprès de 18 éleveurs de porcs conventionnels, dont la moitié engagée dans une filière SA. Les coordonnées des éleveurs ont été fournies par les cinq OP : quatre éleveurs par OP (deux hors filière SA et deux en filière SA). Deux des 20 éleveurs proposés n'ont pas donné suite à notre demande d'entretien. Enregistrés et intégralement retranscrits, les 30 entretiens ont duré entre 33 et 105 min (76 min en moyenne). Si l'effectif d'élevages ne permet pas de réaliser des analyses statistiques, ni de tirer des généralités des résultats obtenus, ces entretiens sont très informatifs d'un point de vue qualitatif.

Les vétérinaires et responsables qualité ont été interrogés sur leur vision des principaux acteurs de la santé des porcs en France et de leurs rôles, les facteurs de réduction de l'utilisation des antibiotiques, les freins et les perspectives, les indicateurs de suivi de la santé des porcs et de l'usage des antibiotiques dont ils disposent, ainsi que sur les filières SA dans lesquelles est impliquée leur structure (partenaires, historique, volumes, contrôle, rémunération, commercialisation). Les éleveurs ont été invités à décrire leur exploitation (ateliers, taille, conduite, travail), leurs représentations et pratiques en termes de santé animale et d'usages d'antibiotiques (raisons, part des animaux traités, mesure des usages, évolutions et perspectives), les leviers et freins à la baisse de leurs usages d'antibiotiques, ainsi que leur expérience ou perception des filières SA.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Caractéristiques des élevages enquêtés

#### 2.1.1. Pas de différence de structures et de résultats entre filières

Les 18 élevages enquêtés sont répartis dans les départements 01 (1 élevage), 03 (1), 10 (2), 22 (6), 29 (4), 56 (1), 44 (2) et 53 (1). Les dix élevages en filière SA ne se distinguent pas des huit autres par leur nombre de truies : des exploitations de taille inférieure et supérieure à la moyenne française coexistent dans les deux systèmes (Tableau 1). Parmi les élevages SA, certains ont des résultats techniques meilleurs que la moyenne nationale : un faible niveau d'usage d'antibiotiques est donc possible sans dégrader les performances techniques comme l'ont montré Collineau *et al.* (2018) et Poissonnet *et al.* (2021). Mais de bons résultats ne sont pas systématiques dans les élevages SA, certains pouvant présenter une situation sanitaire ou des conditions d'élevage moins bien maîtrisées.

**Tableau 1** – Caractéristiques des élevages enquêtés

	Huit élevages hors filière SA			Dix élevages dans une filière SA			Moy France 2016
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	
Nombre de truies	150	450	283,8 (n=8)	120	1500	521,5 (n=10)	230
Pertes sevrage-vente (%)	1,7	7,8	4,8 (n=7)	3,8	11,3	6,7 (n=8)	5,3
GMQ 8-115 (g/j)	664	738	707,0 (n=6)	628	724	681,7 (n=7)	706
IC 8-115	2,37	2,59	2,452 (n=6)	2,38	2,95	2,636 (n=7)	2,49

#### 2.1.2. Le suivi des usages d'antibiotiques

La connaissance par les éleveurs de leurs quantités d'antibiotiques utilisées est plus ou moins précise selon le type d'information transmise par leurs conseillers techniques (OP et/ou vétérinaires). Certains analysent avec les éleveurs leurs dépenses de santé exprimées en €/100kg de carcasse mais ne calculent pas d'indicateurs spécifiques aux usages d'antibiotiques. D'autres utilisent un indicateur spécifique d'exposition aux antibiotiques, appelé ALEA (Animal Level of Exposure to Antimicrobials), calculé soit au cas par cas sur un échantillon d'élevages, soit de façon automatisée, en routine, sur tout ou partie de leurs élevages adhérents. Souvent, les ALEA ne sont pas calculés ou analysés pour les naisseurs-engraisseurs partiels (les ventes de porcelets induisant un biais), ni pour les post-sevrageurs-engraisseurs ni pour les élevages achetant des antibiotiques chez différents vétérinaires. Quand ils existent, les résultats d'ALEA sont transmis aux éleveurs une

fois par an ou tous les trimestres, avec possibilité de se comparer à la moyenne de l'OP. Mais le calcul de l'ALEA à l'échelle de l'élevage n'étant pas harmonisé au niveau national, les modes de calcul sont hétérogènes entre les structures, ce qui ne permet pas de comparaisons inter-OP. Dans cette étude, il est donc impossible de conclure sur des différences de quantités d'antibiotiques utilisées entre les élevages SA et les élevages conventionnels adhérents à des OP différentes. Par contre, la comparaison intra-OP est intéressante ; elle a notamment permis de mettre en évidence l'exemple d'un élevage hors filière SA avec un ALEA inférieur à celui d'un élevage SA, illustrant que des élevages peuvent avoir des usages d'antibiotiques très réduits, même sans obligation liée à un cahier des charges. Parmi les 18 élevages enquêtés, seuls six ont connaissance d'un ALEA calculé par leur vétérinaire. L'intérêt manifesté est alors varié : « *je ne fais pas attention à ça* » ou à l'inverse « *on le regarde régulièrement avec le vétérinaire. On fait le point sur l'utilisation de chaque antibiotique* ». Les 12 autres éleveurs ont plus l'habitude d'analyser leurs dépenses de santé enregistrées en GTE, ventilées en vaccins, antibiotiques, hormones, anti-parasitaires. Un point sur ces dépenses est fait à intervalles réguliers avec le vétérinaire « *pour se situer - sur la dépense globale et par poste, réfléchir aux moyens de les réduire et remettre en cause les habitudes et les automatismes* ».

Aujourd'hui, « *le calcul des ALEA individuels est un travail fastidieux* » indique un responsable qualité d'OP qui voudrait « *un système permettant la remontée automatique, dans un cloud, des données d'antibiotiques qu'ont les vétérinaires, pour ne pas avoir à aller les récupérer éleveur par éleveur auprès d'eux [...]* » et cherche « *comment standardiser le calcul pour répondre aux questions qui seront de plus en plus nombreuses* ».

Cette standardisation et centralisation nationales du calcul des usages d'antibiotiques par élevage, à partir des données des cessions par les vétérinaires, permettraient, selon certaines structures enquêtées, d'offrir une vision plus précise de la consommation des antibiotiques en porc que le calcul annuel fait par l'ANSES à partir des données de vente des laboratoires pharmaceutiques. C'est l'objectif du projet Calypso, lancé en 2019, d'organiser la remontée des cessions de médicaments vétérinaires contenant des substances antibiotiques, conformément à la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt. Le calcul des usages d'antibiotiques est aussi possible, et même plus précis, à partir des données sur les traitements directement enregistrés dans le registre d'élevage. Cette saisie est aujourd'hui encore largement manuelle donc inexploitable pour des études à large échelle alors que des logiciels proposent d'informatiser ce registre et de calculer des indicateurs d'usages, selon une standardisation validée par l'Ifip et l'Anses (démarche GVET).

### 2.1.3. Les types de traitements antibiotiques réalisés

Dans notre échantillon, des traitements préventifs sont réalisés dans cinq élevages hors filière SA et dans deux élevages SA à partir de 42 j (SA42J), soit sur les cochettes, les truies ou les porcelets. Les traitements collectifs métaphylactiques concernent un élevage SA42J (problèmes de diarrhées sur les porcelets en maternité) et cinq élevages hors filières SA. Ces résultats indiquent que, si des traitements collectifs sont parfois réalisés dans des élevages SA (« *On a essayé d'arrêter pendant une bonne année mais ça n'a pas fonctionné* »), leur fréquence semble moindre que dans les élevages hors SA. Les élevages SA enquêtés privilégient davantage les traitements curatifs, injectables et individuels qui concernent entre 0 et 30% des truies en lactation, 1 et 35% des porcelets en maternité, 0 et 3%

des porcelets sevrés, 0 et 2% des porcs en engraissement. Certains taux, autour de 30%, pourraient sembler élevés, mais ils restent souvent inférieurs à ceux pratiqués en cas de traitements collectifs préventifs et métaphylactiques et ils sont nécessaires, et même obligatoires, pour soigner les animaux malades. D'autres taux, nuls ou proches de zéro, peuvent à l'inverse paraître faibles. L'objectif n'est en effet pas de tomber dans l'excès de s'interdire totalement l'usage d'antibiotiques, comme l'ont parfois remarqué certains vétérinaires : « *Beaucoup d'éleveurs aujourd'hui s'autocensurent sur l'utilisation des antibiotiques ; ils ont tellement entendu que ce n'était pas bien qu'ils en arrivent à ne plus soigner leurs animaux, au point d'avoir des remontrances de la DDPP. Cette censure existe aussi chez les vétérinaires* ». Certains déclarent aussi préférer euthanasier un animal malade en engraissement car « *les cochons ont déjà eu leur chance en post-sevrage ou sous la mère* » et « *peuvent être saisis à l'abattoir s'ils ne se rétablissent pas complètement* ».

### 2.1.4. Evolution des usages d'antibiotiques sur les trois dernières et trois prochaines années

Sur les trois dernières années, la large majorité des élevages considèrent que leurs usages d'antibiotiques ont baissé ou stagné sur tous les stades physiologiques. Seuls deux élevages hors filière SA rapportent des hausses d'usage chez les truies en raison de problèmes de reproduction. D'après les entretiens, les mesures ayant contribué à la baisse des usages d'antibiotiques sont multiples : renforcement de l'hygiène et de la biosécurité, vaccination, utilisation de produits alternatifs (phytothérapie, homéopathie, prébiotiques, cures hépatiques), amélioration des conditions de logement, de la qualité du bâtiment, formulation de l'aliment...

Pour les trois prochaines années, la majorité des éleveurs enquêtés déclare ne pas imaginer pouvoir continuer à baisser leurs usages d'antibiotiques ; ils considèrent avoir atteint un plancher : « *je suis arrivé au niveau où faire moins est compliqué car on n'utilise vraiment pas grand-chose* » ; « *maintenir le niveau actuel sera déjà bien* ». A l'inverse, selon les vétérinaires et techniciens enquêtés, des marges de réduction demeurent. Outre les caractéristiques des élevages (qualité et cohérence des bâtiments), les freins à un usage plus prudent des antibiotiques sont psychologiques. Les éleveurs justifient leurs usages d'antibiotiques par l'habitude (« *j'ai toujours fait comme ça* »), la peur (« *je n'ose pas arrêter, j'ai peur de prendre un carton* »), des a priori (« *Il vaut mieux sécuriser au sevrage et que le cochon n'ait plus besoin d'antibiotiques ensuite* »).

Certains éleveurs sont moteurs dans les évolutions, d'autres préfèrent ne rien changer « *tant que ce n'est pas obligé* ». A cet égard, le rôle de la réglementation pour impulser les changements de pratiques est souligné. D'ailleurs, des évolutions réglementaires semblent probables pour certains, comme l'interdiction d'utilisation d'autres antibiotiques qui seront réservés à la médecine humaine. Heureusement, la sensibilité des éleveurs à l'antibiorésistance a augmenté selon les vétérinaires enquêtés : « *les éleveurs ne sont pas tous sensibles dans la même mesure, mais je n'ai plus d'éleveurs qui veulent des antibiotiques à tout prix* ». C'est « *plus une question de personnalité que de génération* », les irréductibles étant « *étonnamment des jeunes alors qu'on s'attendrait à ce qu'ils soient mieux éduqués. Mais ils sont stressés, ont peur de changer des pratiques qui marchent, besoin de se sécuriser et la pression sur la réussite...* ».

## 2.2. Filières sans antibiotiques

### 2.2.1. Des démarches multiples et évolutives

Depuis le début des années 2010, les acteurs de la filière porcine française ont développé des référentiels privés SA pour répondre à la demande de certains distributeurs et communiquer sur les efforts des éleveurs. La disposition des consommateurs à payer pour l'atténuation d'une caractéristique négative (démarches dites de requalification du standard) étant faible ou inexistante (Sylvander, 2001), le critère SA est toujours inclus dans une démarche de valorisation plus globale combinant absence d'OGM dans l'alimentation des animaux et autres critères

(environnement, bien-être animal, rémunération des éleveurs...). En l'absence de réponse collective, les cahiers des charges privés se sont multipliés comme un moyen pour les entreprises de se démarquer de leurs concurrents et d'améliorer leur image. Ils émanent de distributeurs, transformateurs, abatteurs ou coopératives (**Tableau 2**). Les spécifications sont évolutives, dans une démarche de progrès : par exemple, pour le critère SA, l'allégation « à partir de 42 jours » (deux ou trois semaines après le sevrage) est progressivement remplacée ou complétée par « depuis la naissance ».

**Tableau 2** - Chronologie d'apparition des principales filières « sans antibiotiques » identifiées

Porteur	Année	Gamme de produits	Garantie
CARREFOUR	2013 (volailles) 2015 (porc)	Filière Qualité Carrefour	SA42J
Cooperl	2013	Filière « bien élevés », Marque Brocéliance	SA42J puis SAOJ à partir de 2018
Porvéo (Terrena) - SYSTEME U	2014	« La Nouvelle Agriculture »	SA42J puis SAOJ en 2020
AUCHAN	2014	Filière « responsable engagée pour vous », gamme « Fiers de nos éleveurs »	SAOJ
FLEURY-MICHON -Avril (Porc Armor Evolution)	2015	Filière « Engagés dans l'Élevage », Marque « J'aime » devenue « Filière Française d'Éleveurs Engagés » en 2020	SA42J puis SAOJ à partir de 2020
GRPPO (Groupe Michel)	2016	Démarche « Valeurs d'éleveurs »	SA42J puis SAOJ à partir de 2017
Porveo (Terrena) -Socopa	2016	Filière « Bien produire Bien consommer »	SAOJ
CASINO	2016	RSE Agriplus, gamme « Terre et Saveurs », Le Julo	SAOJ
HERTA	2017 (SA)	Filière « Préférence » (2013)	SA42J
INTERMARCHE	2017	Marque « Monique Ranou »	SAOJ
Agrial	2017	Porcristal, Charcuterie Brient	SAOJ
SYSTEME U - Socopa	2018	Filière « U Confiance »	SA42J
Porc Armor Evolution	2019	CCP Porc Armorique (2005)	SA42J
MONOPRIX	2019	MDD	SA42J
E. LECLERC	2019	Démarche « Collectif », Gamme « Nos recettes privilège », « juste et bon »	SA42J

### 2.2.2. Volumes et marché

Notre étude a évalué la part des porcs produits en filière SA à environ 15% en France en 2020, celle des charcuteries issues de démarches « responsables » (SA, bien-être...) à environ 2% du marché. Selon les responsables interrogés, le marché est mature, la demande satisfaite : « la gamme SA s'est développée et a touché les gens que ça intéressait vraiment ». Elle porte principalement sur « le jambon cuit, un produit enfant/famille avec une attente santé forte. En revanche, la côte de porc SA ne fonctionne pas car l'attente sur ce produit est le prix et le goût ». La valorisation du reste de la carcasse constitue une limite au développement de ces démarches même si des débouchés en porc frais, saucisses, pâtés ou terrines sont actuellement tentés. Les filières SA les plus importantes en volumes sont « Bien élevé » de la Cooperl (350 élevages, 3 millions de porcs produits SA, dont 1 million depuis la naissance, sur un total de 6 millions), « La Nouvelle Agriculture » de la coopérative Terrena (60 élevages, 200 000 porcs sur un total de 825 000) et « Engagé dans l'élevage » de la société Avril et du transformateur Fleury-Michon (40-50 élevages, 120 000 porcs sur 1,9 million). Lancée en 2011, la gamme de produits « Bien Elevé » de Brocéliande, marque propre de la Cooperl, vise une amélioration globale de la production, avec en premier lieu l'arrêt de la castration (élevage de mâles entiers), clef d'entrée du porc SA. Elle est présente dans une dizaine d'enseignes de la grande distribution (Auchan, Carrefour, Leclerc, Cora, Géant Casino, Monoprix, Simply Market...). En 2013, la Cooperl a lancé, toujours sous sa marque Brocéliande, une gamme de produits issus de « porcs élevés sans antibiotiques dès la fin du sevrage » (à la fin de la distribution de l'aliment lacté 1er âge,

vers le 42ème jour d'âge). Une filière est une somme de spécifications : le module Porc Sans Antibiotiques de la Cooperl est ainsi combiné avec d'autres spécifications dans plus d'une dizaine de cahiers des charges pour produire des porcs différents répondant aux diverses attentes des clients. En 2018, l'absence de recours aux antibiotiques a été étendue dès la naissance : une partie des produits est étiquetée « sans antibiotiques dès la fin du sevrage », une autre « sans antibiotiques dès la naissance ». Outre les efforts en logement, alimentation, conduite, biosécurité et santé, l'évolution de l'allégation SA42J à SAOJ est permise par un suivi individuel et informatisé des porcs grâce à une boucle auriculaire électronique posée à la naissance. Après les saucisses au rayon boucherie, le jambon, les lardons et allumettes, les produits « Bien Elevés » se déclinent en pâtés, terrines et autres pour parvenir à une valorisation d'une grande partie de la carcasse. Ils sont vendus 10 à 15% plus cher que le standard contre environ +25% pour le Label Rouge et +150% pour le bio. La démarche Nouvelle Agriculture (NA) s'est déployée sur le lapin en 2013, le porc en 2014, le poulet en 2015 et le bœuf en 2016 en intégrant des solutions aux questions de bien-être, santé et alimentation des animaux. Concrètement, le porc NA est nourri selon le cahier des charges Bleu-Blanc-Cœur à base de graines de lin, avec des céréales issues des Pays de la Loire ou des départements limitrophes, sans OGM et sans soja en engraissement. La NA comprend un cahier des charges, élément de communication B to C, un plan de progrès identifiant des enjeux clés notamment en matière de santé et bien-être animal, élément de communication B to B (échéances et volumes visés) et un catalogue de solutions techniques. A l'échelle des

élevages participants, il n'y a pas encore de suivi quantitatif des usages d'antibiotiques dans les élevages (type calcul d'ALEA). En 2020, à l'occasion du renouvellement du contrat de 5 ans (2015-2019), la NA évolue : la castration est interdite et l'arrêt de l'utilisation des antibiotiques passe de 42 à 0 jour. Le renouvellement de contrat a été proposé à tous les éleveurs engagés dans la démarche. Il prévoit un système de paiement qui prend en compte le coût de revient et le prix de marché pour définir un prix de base, auquel s'ajoute une plus-value d'une dizaine de centimes.

En 2013, Fleury Michon et le pôle animal d'Avril (Abera et Sanders) se sont alliés pour monter une filière SA (entre autres exigences). Co-écrit, le cahier des charges « Engagés dans l'Élevage » (EE) appartient à Fleury Michon et Avril. En 2015, Fleury Michon a lancé la gamme de produits de charcuterie (jambon, rôti, lardons) « J'aime » avec des « porcs élevés sans traitement antibiotique après le 1er âge (42ème jour) - issu d'animaux nourris sans OGM (<0,9%) et avec des céréales françaises » produits par des « éleveurs partenaires d'une démarche de progrès plus respectueuse de l'environnement et du bien-être animal » (allégations indiquées sur les produits). Fleury Michon achète les jambons, la longe, la poitrine et les épaules. Vendu 20 à 30% plus cher que le standard, le jambon « Filière française d'éleveurs engagés » représente environ 6% des ventes de jambon de Fleury Michon. Avril et Fleury Michon sont liés par un contrat d'exclusivité. Le cahier des charges est confidentiel, les éleveurs EE ne peuvent servir une autre filière ou un concurrent de Fleury Michon, et la marque ne peut utiliser que des porcs issus d'élevages EE. En 2020, l'allégation SA est passée à 0 jour (dès la naissance), le plan 2021-2025 pourrait contenir l'arrêt de la castration.

### 2.2.3. Recrutement et motivations des éleveurs

Une fois le compromis trouvé entre les partenaires de la filière SA sur les exigences, les surcoûts et les primes, les OP proposent à certains de leurs adhérents (en particulier faibles utilisateurs d'antibiotiques, jeunes installés ou récents investisseurs), ou à des prospects, d'entrer dans la démarche et évaluent par un audit leur capacité à respecter les exigences. Les éleveurs qui voudraient entrer en filière SA, mais ne réussissent pas l'évaluation, peuvent se voir proposer par leur coopérative un audit pour identifier leurs leviers de progrès, un bénéfice collatéral des filières SA en termes de réduction globale des usages d'antibiotiques. Lors des entretiens, certains ont déploré l'utilisation des plus-values à des fins de prospection de nouveaux adhérents : « *la question n'est pas posée en termes de qui pourrait entrer dans la démarche mais de à qui on propose ; il faudrait d'abord récompenser ceux qui n'ont pas attendu les cahiers des charges pour produire sans antibiotiques* ». Parmi les huit éleveurs enquêtés en filière SA, l'implication dans la démarche résulte d'une réflexion conjointe de l'éleveur et de son technicien (5/8) ou de la proposition du technicien (3/8) à l'éleveur remplissant certains critères (situation sanitaire, approvisionnement en aliment et génétique auprès du groupement...). Certains éleveurs intéressés disent ne pas pouvoir entrer dans une démarche SA en l'absence d'abattoirs à proximité acceptant de trier les porcs.

La première motivation des éleveurs enquêtés pour entrer dans une démarche SA est économique. Tous disent avoir été motivés par la meilleure valorisation de leurs porcs et la plus-value. « *Il n'y a que les 2 ct€ qui me motivent. C'est un gain net, pour le même travail, même si je perds un peu sur le prix de l'aliment ou l'abattage à 2h de route alors que mon élevage est situé à 20 km d'un abattoir* ». Les éleveurs disent apprécier aussi la sécurisation des prix et des débouchés, avec « *la garantie de*

*prix pivot sur une partie de la production et la garantie d'enlèvement* ». Selon eux, la démarche SA permet de valoriser les bonnes pratiques existantes de faible utilisation d'antibiotiques, sans être forcément le moteur du changement : « *j'utilisais déjà peu d'antibiotiques* », « *même sans filière SA, mon but était de ne pas mettre d'antibiotiques* ». En entrant dans ces filières, les éleveurs se disent aussi motivés par la volonté de « *promouvoir les bonnes pratiques* », « *d'avancer, d'être précurseur* », de redorer « *l'image de l'élevage et du métier* » et de « *produire un produit de meilleure qualité, plus valorisant* ».

La totalité des éleveurs enquêtés, engagés dans une filière SA, la recommanderait à un autre éleveur s'il « *est capable de le faire* » au vu de son parc bâtiment, sa situation géographique ou sa sensibilité. Mais ils ne souhaitent pas voir une telle démarche imposée car, comme le soulignent certains, elle « *peut ne pas correspondre à tout le monde car cela nécessite un fort engagement dans la coopérative : prendre l'aliment, les produits de santé animale, etc. Mais l'engagement est réciproque : la coopérative s'engage à trouver les débouchés* ».

### 2.2.4. Contrat sur les volumes et les prix

L'engagement de l'éleveur dans une filière SA se matérialise par un contrat qui fixe la durée (3 à 5 ans en général, reconductible), le volume (garantie de débouché), la plus-value et dans certains cas la modalité de fixation du prix de base (indexation sur le coût alimentaire ou le coût de revient). Les éleveurs ont une part variable de leurs porcs commercialisés dans la démarche : « *Seulement un quart de mes porcs sont valorisés dans la démarche alors que je fais le travail pour 100%. J'ai un client local pour les autres porcs mais il n'a pas voulu souscrire à cette démarche car il pense ne pas réussir à valoriser les 2,5 cts€.* ».

Le montant global de la plus-value, environ 5 € / porc, diffère selon les contraintes (SA dès la naissance ou à partir de 42 jours, puces RFID, alimentation, logement...) et le degré d'approvisionnement auprès de la coopérative (aliment, génétique...). Certains éleveurs le jugent insuffisant pour couvrir leurs surcoûts. Mais dans l'ensemble, les surcoûts liés strictement au SA semblent assez limités, comparativement aux contraintes sur l'alimentation (sans OGM, graines de lin) : substitution du curatif par le préventif (vaccins, produits alternatifs), investissements (biosécurité, densité, maîtrise de l'ambiance et de la ventilation, qualité de l'eau, de la litière, propreté du logement, etc.), temps de travail (rigueur, surveillance, enregistrements, tatouage, bouclage). A terme, cette plus-value pourrait d'ailleurs disparaître selon certains, « *quand les pratiques seront calées et que le SA42J deviendra le standard* ». En outre, selon la règle de facturation propre à chaque cahier des charges, les porcs traités (tatoués et marqués à l'oreille pour être séparés à l'abattage) bénéficient ou non, ou jusqu'à un taux maximum d'animaux traités (10% par exemple), du bonus et, en cas de traitement collectif, toute la bande peut être déclassée. Ceci peut conduire l'éleveur à ne plus traiter les cochons malades, un problème soulevé dans les entretiens.

### 2.2.5. Audit et contrôle

Lorsqu'un groupement est référencé pour fournir dans un cahier des charges, il est audité par un organisme tiers (Bureau Véritas, Certis, Avicert, Certipaq, Certisud...) qui vérifie comment il va procéder pour certifier les élevages et les contrôler. Dans certaines démarches, le certificateur peut être un organisme extérieur et non le groupement ; par exemple, pour le passage de 42 à 0 jours de la filière Engagée dans l'Élevage, Fleury Michon a mandaté CERTIPAQ pour réaliser les visites de certification. Lors de la certification, le groupement

détermine quand le premier lot de porcs de l'éleveur pourra être commercialisé, en respectant l'ensemble du cahier des charges. Chaque cahier des charges a un plan de contrôle et une grille d'audit des critères à respecter. Chaque année, l'OP (ou l'organisme certificateur) doit contrôler 100% des élevages certifiés et 10 à 20% des élevages font l'objet d'un contrôle aléatoire par un organisme tiers. Le suivi de l'utilisation des antibiotiques par l'ALEA n'est pas obligatoire dans tous les labels. Les données (moyenne, dispersion, évolution) ne sont pas publiées. D'autres critères de santé animale sont suivis comme les taux d'animaux ayant reçu un traitement antibiotique et la mortalité.

## CONCLUSION

L'évolution des normes réglementaires et privées, conjuguée aux progrès en termes de solutions alternatives (vaccins entre autres) et de biosécurité, a permis une forte baisse des usages d'antibiotiques dans toutes les filières animales en France. Les démarches SA ont été coconstruites dans le cadre d'accords commerciaux entre maillons de chaînes de valeur. Elles reposent sur des engagements réciproques des éleveurs (pratiques d'élevage, traçabilité...) et des acheteurs de porcs (compléments de prix, engagement d'enlèvement, fixation différenciée du prix limitant la volatilité...) dans le but d'élaborer une valeur ajoutée unitaire supérieure. Cependant, le marché SA est aujourd'hui considéré mature en porc en France.

Par ailleurs, la réduction des usages d'antibiotiques pose la question du modèle économique des vétérinaires. Avec le développement des filières SA, certains cabinets « ont pris le pas et se transforment en consultants pour aider à la démédecation ». Des groupements disent aussi avoir le projet, depuis longtemps, de faire payer le conseil, avec la difficulté de rendre payant ce qui a toujours été gratuit et le risque que certains éleveurs n'appellent plus le vétérinaire.

Comme l'ont observé Bowman *et al.* (2016) sur les filières SA apparues en 2007 en poulet de chair aux Etats-Unis, l'absence de définition légale de l'allégation « sans antibiotiques » en France, contrairement au « sans OGM », a conduit à des cahiers des charges multiples et des pratiques d'étiquetage très diverses dans une même filière (pour le porc : sans traitement antibiotique dès la fin du sevrage, après 42 jours d'âge, à la fin de l'aliment lacté, depuis la naissance) et entre filières (sans traitement antibiotique pendant la période de ponte pour les œufs, 90% des lots certifiés sans antibiotiques en poulet, sans traitement antibiotique dès deux mois et demi pour le veau), avec un risque d'incompréhension et de doute des consommateurs et un manque de transparence. En 2015, la

direction générale de la consommation (DGCCRF) avait travaillé sur un projet de décret d'encadrement de l'allégation SA, toutes filières confondues. Ses travaux visaient à harmoniser et standardiser les indicateurs de performance différents entre filières et entre entreprises. Plusieurs indicateurs avaient alors été évoqués : indice d'exposition aux antibiotiques, taux de mortalité en élevage, taux d'animaux traités aux antibiotiques. Ces travaux avaient été suspendus au profit des démarches privées. Mais le foisonnement de ces dernières, et la confusion qui peut en résulter, y compris sur les prix payés aux producteurs, réactivent chez certains l'attente d'un encadrement réglementaire. A cet égard, Van Boeckel *et al.* (2017) et Guibilini *et al.* (2017) démontrent que l'instauration de réglementations harmonisées ou de taxes sur les ventes d'antibiotiques ou les produits animaux obtenus en utilisant des antibiotiques ont le plus d'effet sur la baisse des usages à court terme, les fonds récoltés pouvant être investis dans l'amélioration des pratiques d'élevage. Toschi Maciel et Bock (2012) ont montré que, sur le bien-être animal, les démarches privées se sont substituées à la mise en œuvre d'une législation plus stricte et que ce changement de gouvernance a donné à des acteurs privés un pouvoir de régulation sans être soumis aux règles démocratiques contrôlant qu'ils servent le bien commun.

Certains soulignent un autre rôle de ces multiples cahiers des charges, « tous les mêmes à 5% près » : permettre aux abatteurs et groupements de fidéliser les éleveurs et de garantir leur approvisionnement. Une simplification de ces démarches pourrait conduire à une segmentation autour de quatre filières : Le Porc Français-QT (y compris le niveau d'entrée de certaines allégations), Certificat de Conformité Produits (niveau premium d'allégations harmonisées sur le bien-être, les antibiotiques, les OGM...), Label Rouge, BIO. Chaque éleveur pourrait ainsi livrer plusieurs abattoirs ce qui contribuerait à un meilleur équilibre dans le rapport de force et à faciliter la défense collective du prix du porc. Au-delà, l'élargissement des outils utilisés par les éleveurs et leurs organisations, comme les contrats-types et les indicateurs de coûts, est une voie à explorer pour renforcer leur capacité de négociation dans des démarches de filière verticales en plein essor.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les personnes enquêtées pour les informations transmises. Le projet ROADMAP a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 817626.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anses-ANMV, 2020. Suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques en France en 2019. 97 pages.
- Bowman M., Marshall X., Kandice K., Kuchler F.K., Lynch L., 2016. Raised without antibiotics: lessons from voluntary labeling of antibiotic use practices in the broiler industry. *Am J Agric Econ.*, 98, 622–42.
- Collineau L., Hémonic A., Bougeard S., Krebs S., Chauvin C., Belloc C. 2018. Quantifier, expliquer et réduire l'usage des antibiotiques en élevage porcine en Europe : bilan du projet MINAPIG. *Journées Rech. Porcine*, 53, 421-422
- Giubilini A, Birkl P, Douglas T, Savulescu J, Maslen H., 2017. Taxing meat: taking responsibility for one's contribution to antibiotic resistance. *J Agric Environ Ethics.*, 30, 179–98.
- Toschi Maciel C., Bock B., 2012. Modern Politics in Animal Welfare: The Changing Character of Governance of Animal Welfare and the Role of Private Standards. *Int. J. Social. Agric. Food*, 20, 219–235
- Poissonnet A, Cavarait C., Corrége I., Badouard B., Hémonic A., 2021. Evaluation rétrospective de plans d'intervention pour réduire l'usage des antibiotiques en élevage de porcs. *Journées Rech. Porcine*, 53, 421-422
- Sylvander B., 2001. Les stratégies de qualification des firmes agroalimentaires et la désintensification. Dossier de l'environnement de l'INRA, n°24. <https://www7.inra.fr/dpenv/pdf/sylvad24.pdf>
- Van Boeckel T. P., Glennon E. E., Chen D., Gilbert M., Robinson T. P., Grenfell B. T., Levin S. A., Bonhoeffer S., Laxminarayan R., 2017. Reducing antimicrobial use in food animals. *Science*, 357, 1350-1352.

# L'élevage de porcs en systèmes alternatifs : atouts et défis en termes de bien-être animal, biosécurité, santé animale et sécurité sanitaire

Maxime DELSART (1), Françoise POL (2,3), Barbara DUFOUR (1), Nicolas ROSE (3), Christelle FABLET (3)

(1) Anses, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Laboratoire de Santé Animale USC EPIMAI, F-94700, Maisons-Alfort, France

(2) ONIRIS, 44300, Nantes, France

(3) Anses, Laboratoire de Ploufragan/Plouzané/Niort, BP 53, 22440 Ploufragan, France

*maxime.delsart@vet-alfort.fr*

## **L'élevage de porcs en systèmes alternatifs : atouts et défis en termes de bien-être animal, biosécurité, santé animale et sécurité sanitaire**

En production porcine, le système en bâtiment fermé avec un sol en caillebotis est largement dominant actuellement. Toutefois, ce type de production fait l'objet de controverse, une part croissante des citoyens exprimant par exemple le souhait d'un accès à l'extérieur pour les animaux d'élevage afin d'améliorer leur bien-être. Dans ce contexte se développent des systèmes de production alternatifs. S'ils sont plébiscités par les consommateurs et les citoyens, ces élevages alternatifs ne sont toutefois pas sans présenter de points critiques. Pour cet article, les auteurs ont passé en revue la littérature scientifique internationale afin de faire un point sur les connaissances actuelles concernant le bien-être, la biosécurité, la santé des animaux et la santé publique vétérinaire dans les élevages alternatifs. D'une façon générale, ces élevages donnent aux animaux la possibilité d'exprimer un éthogramme plus large qu'en bâtiment et les animaux élevés dans ces élevages semblent moins sensibles aux maladies respiratoires. Toutefois, la gestion de l'alimentation, de l'abreuvement, des températures et des prédateurs est souvent plus délicate en plein-air. De plus, les mesures de biosécurité semblent plus difficiles à appliquer et observer que dans les élevages conventionnels, notamment dans les élevages plein-air. La gestion des écrasements de porcelets en maternité est également un véritable défi, au même titre que la gestion du parasitisme. En outre, la prévalence plus élevée de nombreux agents pathogènes zoonotiques dans ces élevages peut représenter un risque pour la santé humaine. Malgré la richesse de la littérature, peu d'études abordent l'élevage alternatif dans sa globalité. Pour assurer la durabilité de ces élevages, il est encore nécessaire de produire des connaissances pour mieux cerner leurs atouts et leurs limites.

## **Pig farming in alternative systems: strengths and challenges in terms of animal welfare, biosecurity, animal health and health safety**

In pig production, the conventional indoor system with a slatted floor currently dominates. However, this production system is becoming less socially acceptable, with a growing number of citizens expressing a desire for outdoor access for livestock to improve their welfare. In this context, alternative production systems are gaining ground. Although they are popular with consumers and citizens, these alternative systems have points of potential criticism. Here, we reviewed the international scientific literature on animal welfare, biosecurity, animal health and pork safety in alternative pig-production systems. In general, alternative farms give pigs the opportunity to express a wider ethogram (i.e. set of behaviors) than pigs on conventional farms, and pigs in these farming systems seem to have fewer respiratory diseases. However, management of feeding, watering, temperatures and predators is often more complicated in these outdoor systems. In addition, biosecurity measures seem to be more difficult to apply and observe than those on conventional farms, especially in free-range systems. Both parasitism and piglet crushing (in farrowing units) remain a real challenge. Furthermore, the higher prevalence of many zoonotic pathogens on these farms may represent a risk to human health. Despite the abundance of literature, few studies approach alternative farms in their entirety. To ensure the sustainability of these farms, there is still a need to generate knowledge to better understand their strengths and challenges.

## INTRODUCTION

La production porcine présente une très grande diversité de modes d'élevage. La production conventionnelle en bâtiment fermé avec un sol en caillebotis, largement dominante actuellement, coexiste avec d'autres systèmes de production dits alternatifs en regard du mode de logement, parmi lesquels on retrouve à la fois des élevages en plein-air mais aussi des élevages sur litière, et qui incluent notamment les élevages en production biologique. La production porcine en plein-air est définie comme un système qui permet aux porcs d'avoir un accès à l'extérieur et d'être en contact avec le sol et les plantes. Dans ce type d'élevage, tous les animaux ou seulement une partie d'entre eux peuvent avoir accès à l'extérieur, l'accès plein-air pouvant être réduit à une courette extérieure ouverte sur le bâtiment d'élevage. L'élevage sur litière présente le même type de diversité, tous les animaux n'étant pas forcément élevés sur litière au sein d'un élevage. Il existe en outre une grande diversité dans les substrats utilisés (paille, sciure, foin...).

Même s'ils sont plébiscités par les consommateurs et les citoyens, ces élevages alternatifs ne sont pas sans présenter de points critiques. L'objectif de cette revue est de faire le point sur les connaissances actuelles concernant le bien-être, la biosécurité, la santé des animaux et la santé publique vétérinaire dans les élevages alternatifs.

### 1. BIEN-ETRE ANIMAL

Le citoyen méconnaît le mode d'élevage des animaux de production. Il idéalise souvent l'élevage fermier, alternatif, dans lequel les animaux ont un accès à un parcours extérieur ou à une zone paillée plutôt que l'élevage conventionnel sur caillebotis. Une des attentes du consommateur qui achète des aliments biologiques est que les normes de bien-être animal soient supérieures dans ces systèmes d'élevage (Courboulay *et al.*, 2008). Mais la notion de bien-être animal est complexe. D'après l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), «le bien-être d'un animal est l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal» (Anses, 2018b). Dans cette partie, les connaissances actuelles relatives au bien-être animal dans les élevages alternatifs de porcs sont synthétisées en suivant l'approche des cinq libertés.

#### 1.1. Absence de faim et de soif

Peu de différences existent dans les modes de distribution d'aliment en élevage conventionnel et en élevage alternatif ; les causes de stress liées à des défauts d'alimentation sont les mêmes, notamment l'insuffisance de longueur d'auge ou une quantité insuffisante d'aliment distribuée aux animaux. À noter toutefois que les animaux élevés en plein-air consomment en moyenne plus d'aliment que les animaux élevés en bâtiment, pour des performances de croissance équivalentes, en raison d'une activité plus importante et d'une dépense d'énergie accrue par des températures ambiantes plus basses notamment l'hiver. À quantités d'aliment équivalentes, les besoins d'un porc élevé en plein-air peuvent ne pas être couverts et générer des stress notamment physiologiques et comportementaux. Cependant, l'ingestion d'herbe et de terre par les porcs en plein-air peut apporter une contribution non

négligeable aux besoins en énergie, en acides aminés, en minéraux et en micronutriments, en particulier pour les truies ayant une grande capacité à ingérer des aliments volumineux (Edwards, 2005).

L'appétence de l'aliment est importante pour la prise alimentaire et pour la capacité du porc à couvrir ses besoins. Une contamination microbienne (par exemple, un niveau élevé de levures et de moisissures), des mycotoxines (en particulier la vomitoxine) ou des niveaux inadéquats d'acides aminés spécifiques (le tryptophane par exemple) peuvent entraîner une diminution de la consommation d'aliment. Les paramètres suivants requièrent une attention particulière dans les systèmes d'élevage alternatifs : (i) la conservation des aliments, en particulier lorsqu'ils sont distribués à l'extérieur ; (ii) l'équilibre des acides aminés, en particulier dans les exploitations biologiques où l'incorporation d'acides aminés de synthèse n'est pas autorisée ; (iii) ou la présence de mycotoxines qui semble être plus élevée dans les céréales biologiques que dans les céréales conventionnelles, notamment le blé (Malmauret *et al.*, 2002).

Afin d'objectiver l'absence de faim, des indicateurs peuvent être utilisés, notamment les notes d'état corporel ou le taux d'animaux maigres (Welfare Quality Consortium, 2009). Dans une enquête réalisée dans 101 élevages biologiques européens, Dippel *et al.* (2013) ont montré que 18,8 % des truies étaient maigres avec une forte variabilité entre élevages. Ce taux est important si on le compare à ceux avancés par Scott *et al.* (2009) dans 82 élevages anglais ou néerlandais de tout type, dans lesquels seulement 0,1 % des truies étaient très maigres, sans différence apparente entre les truies élevées en plein-air et les autres. Ces résultats suggèrent que certains agriculteurs en production biologique ont plus de difficultés à répondre aux besoins nutritionnels des truies. Dans une autre étude, Temple *et al.* (2012) ont montré que les porcs en croissance élevés sur paille ou en système extensif à l'extérieur présentaient un risque plus élevé de mauvais état corporel que les porcs élevés dans des élevages conventionnels. Cela est d'autant plus vrai pour les porcs entièrement dépendants du pâturage.

L'absence de soif est assurée par l'apport d'une quantité d'eau permettant de couvrir les besoins des animaux. La disponibilité en eau potable peut être un problème, notamment dans les systèmes extensifs. Dans ces systèmes totalement ouverts vers l'extérieur, les abreuvoirs sont souvent accessibles aux oiseaux sauvages et contaminés par la poussière. Une eau de mauvaise qualité peut impacter la consommation hydrique et être à l'origine de problèmes de santé chez les animaux. Il est également important de contrôler la température de l'eau. Dans les systèmes extérieurs, les tuyaux d'approvisionnement en eau doivent être de préférence enterrés pour limiter les effets du gel (l'eau n'est alors plus distribuée aux animaux en période hivernale). L'action du soleil sur les canalisations favorise d'une part les proliférations bactériennes et d'autre part une augmentation importante de la température de l'eau diminuant sa consommation par les animaux.

#### 1.2. Absence d'inconfort

L'absence d'inconfort est garantie par un environnement approprié, avec suffisamment d'espace pour que les animaux soient libres de leurs mouvements, une zone de repos confortable et sans courant d'air, un éclairage suffisant et non permanent pour que les porcs puissent voir et être soumis à un rythme nyctéméral, et le confort thermique nécessaire. Une litière composée de paille a des propriétés similaires au type de



substrat qu'un porc trouverait naturellement, agissant comme un coussin et réduisant ainsi l'inconfort et les blessures (Arey, 1993). Plusieurs études ont montré que le risque de bursite était nettement inférieur dans les élevages alternatifs, avec accès à l'extérieur ou sur paille, que dans les élevages en claustration (Kongsted et Sørensen, 2017). La gravité de la bursite en effet est associée à un environnement dur et inconfortable qui augmente la pression exercée sur la peau. Les porcs présentent des possibilités de régulation thermique limitées, dépendantes, en milieu sauvage, de sa capacité à se rafraîchir grâce à des bains de boue (Mormede *et al.*, 2006). Les animaux réagissent à une température ambiante élevée en se positionnant de préférence sur un sol favorisant les pertes de chaleur par conduction. Ducreux *et al.* (2002) ont montré que les porcs se reposent préférentiellement sur de la paille à 18°C et sur des sols composés de caillebotis béton ou de béton nu à 27°C. Cependant, en dehors des températures élevées, la paille est nettement plus confortable pour les porcs que les sols en béton nu. La paille apporte un confort thermique et peut réduire les exigences en température d'ambiance des porcs en croissance jusqu'à 6°C (Arey, 1993).

Pour les porcs en plein-air, la principale difficulté est de maintenir les animaux propres et secs en conditions météorologiques humides (Brillouet *et al.*, 2010). Le type et la gestion des cabanes doivent être adaptés. Elles doivent être suffisamment grandes pour accueillir les animaux et confortables. En maternité, il existe un effet saison sur la mortalité des porcelets en plein-air (Rangstrup-Christensen *et al.*, 2018). Cet effet est à rapprocher de la gestion du confort lors de la mise-bas, et à la capacité de la truie à préparer correctement son nid dans la cabane. Une mauvaise densité du couvert végétal du parc, accompagnée de la présence permanente de boue, augmente l'humidité et l'inconfort dans la cabane (Brillouet *et al.*, 2010). Or le porcelet est très sensible au froid et aux courants d'air à la naissance. Une température ambiante trop basse augmente la proximité des porcelets avec leur mère et favorise la mortalité par écrasement. Cela peut être corrigé par un paillage abondant des cabanes (Berger *et al.*, 1997). Le choix du type de cabane impacte également le taux de mortalité avant sevrage (Honeyman, 2005). Notons que les porcelets peuvent aussi souffrir lorsqu'il fait très chaud. La chaleur impacte les qualités laitières de la truie qui, en outre, passe plus de temps à l'extérieur de la cabane à se rafraîchir plutôt qu'à allaiter ses porcelets (Rangstrup-Christensen *et al.*, 2018). Pour limiter les effets de la chaleur en plein-air, il est nécessaire de mettre à la disposition des animaux des zones d'ombre ou des zones de rafraîchissement, comme des buses d'aspersion ou des bauges (EFSA, 2005). Les mares sont également utilisées pour se rafraîchir par temps chaud et se protéger des insectes (D'Eath et Turner, 2009).

### 1.3. Absence de douleur, de blessure (et de maladie)

L'absence de maladie est développée dans la troisième partie de cette revue.

Blessures et douleurs peuvent être des conséquences de bagarres entre animaux. Dans l'étude de Dippel *et al.* (2013) réalisée dans des élevages biologiques européens, les lésions liées à des bagarres sur les truies, objectivées par la présence de blessures, concernaient 15,5 % et 7,9 % de l'ensemble des animaux observés, selon que ces blessures se trouvaient respectivement sur la partie antérieure ou postérieure de l'animal. Mais cela cachait une très grande variabilité entre élevages, indépendamment du système d'exploitation.

Les porcelets élevés en plein-air présentent moins de comportements agonistiques les uns envers les autres que ceux élevés en bâtiment, que ce soit avant ou après le sevrage (Hötzel *et al.*, 2004). Dans une étude réalisée au Royaume-Uni, il y avait significativement moins de blessures sévères sur les porcs en croissance élevés en plein-air que dans les élevages confinés (Pandolfi *et al.*, 2017). Paradoxalement il y avait plus d'animaux présentant des lésions dans les élevages dans lesquels les animaux élevés en bâtiment avaient un accès plein-air, la différence avec les animaux élevés en plein-air intégral étant significative. Des observations équivalentes ont été constatées au niveau des queues et des lésions de cannibalisme. Les animaux élevés en bâtiment avec accès à l'extérieur ont probablement plus de difficultés à contrôler leur environnement thermique en passant d'un système protégé à un système plein-air, ce qui pourrait expliquer les comportements agonistiques plus nombreux dans ce type d'élevage (Pandolfi *et al.*, 2017). Des études réalisées en abattoirs (Alban *et al.*, 2015 ; Kongsted et Sørensen, 2017) ont par ailleurs montré que des animaux élevés avec des parcours extérieurs présentaient plus de lésions de queues que des animaux issus de systèmes conventionnels. A noter toutefois que la caudectomie est moins souvent pratiquée dans ce type de production, contrairement aux productions conventionnelles. Cette différence de pratique peut expliquer, au moins en partie, ces observations à l'abattoir. En revanche, les morsures de queue sont moins fréquentes quand les animaux disposent de paille (Brillouet *et al.*, 2010), les animaux passant plus de temps à examiner le sol et à se déplacer, et significativement moins de temps à mordre la queue de leurs congénères par rapport aux animaux élevés sur caillebotis.

Les blessures et les douleurs peuvent être induites par le système d'élevage en lui-même et par les pratiques de l'éleveur. On pense bien entendu à la castration chirurgicale des animaux, encore très fréquente ou à l'époinçage des dents, plus rare en production biologique (Prunier, 2010a) et en plein-air. En revanche, la pose d'anneau au niveau du groin des animaux élevés en plein-air est une pratique toujours utilisée aujourd'hui (D'Eath et Turner, 2009), principalement sur les truies, notamment en France, au Danemark et en Allemagne (Prunier, 2010a). Le comportement actif de recherche de nourriture des porcs peut conduire à la destruction des pâturages. Cette activité devient douloureuse avec un anneau au niveau du groin. Cette douleur ainsi que celle engendrée par la pose de l'anneau, associée à l'inhibition de l'activité de fouissement, sont des éléments négatifs pour le bien-être de ces animaux élevés en plein-air (Van der Mheen et Vermeer, 2005).

### 1.4. Liberté d'exprimer des comportements normaux

Parmi les critiques les plus fréquentes contre les systèmes de production conventionnels, on retrouve l'absence de liberté pour les animaux d'exprimer des comportements naturels. En milieu sauvage, les porcs sont actifs pendant la journée et passent 75% de ce temps actifs à rechercher de la nourriture, notamment à fouiller, à brouter, à mâchonner et à explorer avec leur groin (D'Eath et Turner, 2009). De nombreuses études montrent que les animaux sont plus actifs, en position debout, dans les systèmes de production alternatifs que dans les systèmes conventionnels *et al.*, 2013). Sur paille, les porcs en croissance passent plus de temps à être en interaction avec leur environnement, à avoir un comportement exploratoire. Il existe toutefois une variabilité inter-élevage élevée (Courboulay *et al.*, 2008).

La paille réduit également les comportements sociaux nuisibles, comme les morsures d'oreilles ou de queues (Van de Weerd *et al.*, 2006). Lorsqu'il n'est pas possible de fournir de la paille, il est possible d'apporter des objets d'enrichissement. Toutefois de nombreuses études (Temple *et al.*, 2012 ; Pandolfi *et al.*, 2017) montrent que la paille ou tout autre substrat organique utilisés en tant que litière, restent les matériaux les plus efficaces pour réduire les comportements inappropriés.

Les porcelets non sevrés ont moins de comportements agonistiques et passent moins de temps à interagir avec leur mère lorsqu'ils sont en plein-air. Ils passent plus de temps à explorer le milieu, à se nourrir, à marcher et à jouer (Hötzel *et al.*, 2004). Ils bénéficient d'un grand espace et d'un enrichissement de leur milieu qui leur permettent d'exprimer leur comportement naturel dans de bonnes conditions (Prunier *et al.*, 2014). La possibilité d'avoir des interactions sociales entre les porcelets de différentes portées pendant la lactation est un autre facteur qui peut induire des différences comportementales. Au sevrage, les porcelets ayant eu des interactions avec ceux d'autres portées pendant la lactation sont moins agressifs après avoir été mélangés avec des porcelets inconnus, que les porcelets dont le groupe social est resté limité à celui de la portée (Verdon *et al.*, 2019). Leurs mères ont aussi un comportement différent lorsqu'elles sont en plein-air : elles passent plus de temps debout à explorer le milieu que les truies confinées (Hötzel *et al.*, 2004). Les truies et les porcelets en plein-air montrent un répertoire comportemental plus riche (Johnson *et al.*, 2001).

La paille et les matériaux trouvés en plein-air permettent aux truies de construire un nid et peuvent influencer leur comportement maternel. En milieu sauvage, les truies préparent un nid en creusant le sol avec leur groin et en faisant des allers et retours pour aller chercher des longues herbes, des feuilles et des petites brindilles (Mormede *et al.* ; 2006; D'Eath et Turner, 2009), supports que la paille peut simuler sans difficulté.

### 1.5. Absence de peur, de stress et d'anxiété

Les travaux sur la relation homme-animal décrivent une aptitude des porcs à développer des réactions de peur, d'anxiété à l'approche de l'homme (Hemsworth, 2003). Cette peur, que l'on peut notamment évaluer par les comportements de retrait des animaux au contact d'un homme (Welfare Quality Consortium, 2009), semble comparable selon que les truies sont logées en groupe en bâtiment ou en plein-air (Scott *et al.*, 2009). La domestication des animaux est aussi importante en élevage alternatif qu'en élevage confiné (Sutherland *et al.*, 2013).

Dans les conditions naturelles ou semi-naturelles, le sevrage des porcelets est un processus progressif, qui commence vers la 4<sup>ème</sup> semaine et se termine entre la 9<sup>ème</sup> et la 17<sup>ème</sup> semaine de vie. L'âge au sevrage a une influence sur l'adaptation des porcelets élevés en plein-air, en réduisant les comportements de détresse et en améliorant le comportement alimentaire (Hötzel *et al.*, 2010). Dans les élevages en agriculture biologique, les porcelets sont sevrés plus tard qu'en production conventionnelle, après l'âge de 6 semaines. Plusieurs études montrent que l'augmentation de l'âge au sevrage peut avoir un impact positif sur les taux de cortisol salivaire ou plasmatique au sevrage (Van der Meulen *et al.*, 2010).

Le stress, la peur et l'anxiété peuvent aussi être induits par la présence de prédateurs. Les jeunes porcelets élevés en plein-air sont exposés à la prédation, notamment par des corvidés, les

renards et même les blaireaux (Prunier *et al.*, 2014). Dans une étude visant à analyser les causes de mortalité de porcelets en plein-air, Edwards *et al.* (1994) ont montré que 6 % des cadavres de porcelets présentaient des traces d'attaques d'oiseaux.

### 1.6. Bilan

Les systèmes extensifs donnent aux animaux la possibilité d'exprimer un panel comportemental plus large qu'en bâtiment, comprenant la plupart de leurs comportements naturels, mais le contrôle de l'environnement y est plus difficile, notamment la gestion de l'alimentation, de l'abreuvement, des températures et des prédateurs. Les systèmes sur litières permettent également l'expression d'un éthogramme plus large et procure aux animaux une source de confort, sous réserve que la litière soit saine et sèche. Les systèmes alternatifs, avec un environnement enrichi, offrent de nombreuses solutions pour contrôler les points critiques du bien-être animal, contrairement à l'élevage conventionnel, où les porcs ont plus de difficultés à exprimer leur comportement naturel, malgré l'ajout de matériaux d'enrichissement, voire une augmentation des surfaces par animal. Si les points critiques sont sous contrôle, les systèmes alternatifs sont plus adaptés que les systèmes conventionnels pour garantir un niveau plus élevé de bien-être.

## 2. BIOSECURITÉ

La biosécurité englobe toutes les mesures à mettre en place pour limiter le risque d'introduction d'agents pathogènes dans les élevages (bio-exclusion), pour limiter la dissémination du pathogène au sein de l'exploitation (bio-compartmentation), pour limiter la dissémination de l'agent infectieux en dehors de l'exploitation, afin de prévenir le risque de contamination des animaux, des humains et de l'environnement.

### 2.1. Bio-exclusion

Les mesures de biosécurité ont pour objectif d'éviter que des agents pathogènes ne pénètrent puis ne contaminent les élevages. Les élevages alternatifs, proposant aux animaux un accès extérieur, ont plus de difficultés à mettre en place des mesures de biosécurité strictes. La probabilité d'exposition de ces élevages à certains agents pathogènes circulant dans la faune sauvage comme le virus de la peste porcine africaine par exemple, est beaucoup plus élevée (Anses, 2018a). C'est d'autant plus le cas dans les systèmes très extensifs, notamment le système sylvopastoral largement répandu dans certains pays du sud de l'Europe (par exemple en Espagne), dans lequel les porcs pâturent dans des zones de forêts naturelles (Sørensen *et al.*, 2006). La biosécurité est presque impossible à appliquer lorsque les animaux ont accès à des parcours partagés par différents troupeaux, comme on peut le rencontrer en Sardaigne, en Corse ou dans les forêts publiques en Géorgie ou en Arménie (Bellini *et al.*, 2016).

C'est bien entendu le contact avec la faune sauvage, et principalement les sangliers, qui pose le plus de problème lorsque les porcs sont élevés en plein-air. Le contact avec la faune sauvage est considéré comme une source d'infection, par exemple de brucellose, de peste porcine classique, de peste porcine africaine ou de maladie d'Aujeszky. Le nombre croissant de sangliers sauvages dans certaines régions, notamment en Europe, et leur capacité à coloniser de nouveaux espaces, constituent des menaces pour les élevages plein-air. Les sangliers s'approchent d'autant plus près de la clôture du parc

où sont élevés les porcs que la distance entre le parc et la ferme est importante (Wu *et al.*, 2012).

Les porcs peuvent être aussi en contact avec d'autres espèces vectrices de maladies, comme le lièvre par exemple qui peut véhiculer la brucellose. Les porcs élevés en plein-air sont inévitablement exposés à certains sérovars de leptospires provenant de diverses espèces sauvages dont le hérisson, le renard et les rats (Roman *et al.*, 2006). Les rongeurs peuvent être des réservoirs de multiples pathogènes pouvant affecter les porcs comme *Erysipelothrix rhusiopathiae* (Leirs *et al.*, 2004), *Brachyspira hyodysenteriae*, *Lawsonia intracellularis* (Roman *et al.*, 2006), plusieurs sérovars de *Salmonella enterica subsp enterica* et de *Yersinia*, des parasites comme *Toxoplasma gondii*, *Trichinella* spp. et *Echinococcus multilocularis* (Leirs *et al.*, 2004). Le contrôle des rats dans les élevages alternatifs est particulièrement compliqué, les lieux de protection ou de nidification étant plus nombreux et la lutte chimique moins aisée qu'en bâtiment fermé. Il a été mis en évidence une corrélation positive entre la présence de rats et le stockage de paille dans les porcheries (Leirs *et al.*, 2004).

Les oiseaux constituent un autre vecteur qu'il est très difficile de contrôler dans les systèmes alternatifs. Ils peuvent être impliqués par exemple dans la propagation de la gastro-entérite transmissible, de salmonelloses, ou de tuberculoses aviaires (Roman *et al.*, 2006).

Parmi les autres vecteurs on peut aussi citer certaines tiques, comme *Ornithodoros moubata* et *O. erraticus* qui ont contribué à la transmission du virus de la peste porcine africaine (PPA) dans les élevages plein-air en péninsule ibérique.

Enfin, les animaux élevés en plein-air sont plus accessibles pour des visiteurs curieux, ce qui facilite la transmission d'agents zoonotiques (Sørensen *et al.*, 2006) ou encore la distribution de restes d'aliments contaminés par des agents infectieux comme les virus de la PPA ou de la peste porcine classique.

La litière utilisée dans les élevages alternatifs représente un autre danger en termes de biosécurité. Plusieurs études ont montré que lorsque les systèmes de production comprennent de la sciure, des copeaux de bois ou de la paille, l'incidence de la tuberculose causée par *Mycobacterium avium* augmente (Álvarez *et al.*, 2011). La litière peut avoir été exposée à d'autres animaux, et avoir été contaminée (Roman *et al.*, 2006). La litière doit donc être protégée et entreposée de sorte à empêcher les contacts avec des suidés domestiques autres que ceux détenus sur l'exploitation, ou des suidés sauvages. Elle doit en outre être protégée d'éventuelles contaminations par des nuisibles. Il en est de même pour les aliments distribués aux animaux (Bellini *et al.*, 2016).

Afin de réduire les contacts entre la faune sauvage et les porcs domestiques élevés avec un accès extérieur, la mise en place de clôtures est fortement recommandée, voire obligatoire selon les pays. La succession des crises sanitaires, et notamment la diffusion de la peste porcine africaine, pousse les filières porcines et les Etats à prendre conscience de l'importance de la biosécurité. En France, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation a signé en 2018 un arrêté relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations détenant des suidés (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2018). Les mesures les plus importantes pour les élevages alternatifs concernent les clôtures devant interdire d'une part l'intrusion de suidés sauvages au sein de la zone d'élevage et d'autre part, les contacts groins à groins entre les suidés de l'élevage et les suidés sauvages. Ces mesures ne concernent pas seulement les élevages plein-air car ce type de contact est aussi possible dans

des élevages avec courettes extérieures, ou pour des animaux élevés en bâtiment sur litière avec un ou plusieurs pans de murs ajourés sur l'extérieur. Ces clôtures sont souvent coûteuses et difficiles à mettre en place, mais aussi à entretenir sur le long terme (Bellini *et al.*, 2016). Leur entretien est primordial, notamment lorsqu'il s'agit de systèmes électrifiés. Tout contact entre les fils et le sol diminue l'efficacité de la clôture (fuite de courant vers le sol). Un désherbage autour de la clôture est donc nécessaire mais peut rapidement être fastidieux, notamment dans les élevages biologiques où l'utilisation de désherbants de synthèse est en général interdite.

## 2.2. Bio-compartmentation

Le maintien d'une infection au sein d'une population peut être favorisé dans les élevages alternatifs par la présence de litière augmentant la probabilité de contact des animaux avec leurs déjections. À la différence des élevages en bâtiment sur caillebotis, les types de sol rencontrés dans ces élevages ne permettent pas toujours un drainage correct de l'urine et une évacuation suffisante des matières fécales. Le contact permanent ou répété du porc avec les excréments augmente le risque de contamination (notamment de troubles entériques), entre les porcs d'un même enclos (EFSA, 2005). Le type de sol et de bâtiment a également un impact sur la capacité à décontaminer l'environnement après le passage des animaux. Le nettoyage et la désinfection suivis du vide sanitaire représentent les éléments principaux de la bio-compartmentation. Il va sans dire que ces techniques sont difficilement applicables en élevage plein-air et restent compliquées dans les élevages sur litière où il est difficile de retirer l'ensemble des matières organiques. À cela s'ajoute le nombre limité de produits désinfectants utilisables dans les élevages biologiques, notamment en Europe.

## 2.3. Bilan

La biosécurité est probablement le plus grand défi pour l'élevage de porcs alternatif. Au cours des dernières décennies, de grandes épizooties sont apparues dans les exploitations agricoles conventionnelles. Toutefois, ces exploitations ont la possibilité de les contrôler, au moins à long terme, en mettant en place des mesures strictes de biosécurité internes et externes. D'une façon générale, les élevages alternatifs appliquent les mesures de biosécurité de façon moins rigoureuse, notamment les élevages plein-air, dans lesquels elles sont plus difficiles à mettre en œuvre, et pour lesquels les investissements de clôtures sont importants. Le développement des élevages de production alternatifs peut représenter une difficulté dans la lutte contre les agents pathogènes, en particulier ceux circulant dans la faune sauvage.

## 3. SANTE ANIMALE

La plus grande difficulté à appliquer des mesures de biosécurité et la diversité biologique du milieu dans lequel évoluent les porcs en systèmes alternatifs peuvent augmenter les probabilités d'exposition à des agents infectieux pathogènes. De plus, la conduite des animaux liée à ces systèmes d'élevage peut également être à l'origine de troubles de la santé.

### 3.1. Mortalités

La mortalité des porcelets dans les jours qui suivent la naissance concerne tous les élevages de porcs mais plus particulièrement

les élevages en systèmes alternatifs. En effet de nombreuses études montrent que la mortalité périnatale est plus importante dans ces types de production. Robledo *et al.* (2007) ont comparé trois systèmes pour les mise-bas. Le taux de survie des porcelets nés dans un système où les truies sont bloquées durant la lactation est nettement meilleur que ceux obtenus soit en plein-air, soit dans une case sur sol plein avec de la paille et un accès extérieur pour les porcelets. Cette mortalité intervient principalement dans les 4 premiers jours de vie du porcelet. Elle est d'autant plus élevée en production biologique que la taille de la portée est importante et que la truie est grasse et âgée (Rangstrup-Christensen *et al.*, 2018).

Les écrasements constituent de loin la première cause de mortalité avant sevrage. La surmortalité par écrasement peut en partie s'expliquer par le fait qu'il est plus difficile de surveiller les mise-bas et d'intervenir en toute sécurité lorsqu'une truie est en liberté que lorsqu'elle est bloquée (Kilbride *et al.*, 2012). Mais cela ne signifie pas pour autant que l'éleveur doit être plus présent. En effet, en système plein-air, les interventions des éleveurs lors de la mise-bas semblent avoir un effet défavorable sur les taux de mortalité avant sevrage (Berger *et al.*, 1997).

Dans une étude réalisée dans 112 élevages en Angleterre, aucune différence en termes de mortalité de porcelets n'a été mise en évidence au cours de la phase de lactation selon le mode d'élevage des truies. Cette absence de différence peut s'expliquer par des causes de mortalité différentes selon les types d'élevage : par écrasement en alternatif et pour des raisons infectieuses en bâtiment (Kilbride *et al.*, 2012). Dans cette même étude il a été constaté une réduction du risque de mort-nés dans les systèmes plein-air, liée, d'après les auteurs, à une plus grande liberté de mouvements des truies induisant des mise-bas plus rapides.

En post-sevrage et d'engraissement, les taux de mortalité semblent être moins élevés en systèmes alternatifs qu'en élevage confiné (Lahrman *et al.*, 2004). Par contre, le taux de mortalités des truies semble plus important sur les truies élevées en plein-air, avec moins de mammites-métrites-agalactie (MMA) et de torsions ou de distensions intestinales, mais plus d'infections urogénitales, d'insuffisances cardiaques et de problèmes locomoteurs (Karg et Bilkei, 2002).

### 3.2. Troubles de la reproduction

Plusieurs études suggèrent que les truies élevées en plein-air présentent moins de MMA que celles élevées en bâtiment (Karg et Bilkei, 2002 ; Leeb *et al.*, 2019). Notons toutefois qu'il est probablement plus difficile pour un éleveur d'observer une MMA sur une truie élevée en plein-air.

Parmi les principaux agents infectieux auxquels les animaux ayant un accès plein-air sont plus exposés, il y a bien entendu *Brucella suis*, dont la séroprévalence est élevée chez les sangliers, notamment en Europe. Dans une étude réalisée en Croatie, 67 des 1 997 troupeaux testés ont présenté des anticorps contre la brucellose (3,3%). Parmi eux, seuls deux n'étaient pas conduits en plein-air (Cvetnić *et al.*, 2009).

Les performances de reproduction sont souvent plus faibles en élevage biologique (Brillouet *et al.*, 2010 ; Lindgren *et al.*, 2013), mais cela ne signifie pas forcément que la santé des truies est moins bonne. Les problèmes de reproduction peuvent aussi être liés au système d'élevage. On sait par exemple que des truies élevées en groupe durant la lactation ont plus de risque d'ovuler durant leur lactation (Hultén *et al.*, 1995) avec une diminution de la fertilité après le sevrage.

### 3.3. Maladies respiratoires

Bien que l'élevage en système ouvert semble offrir de nombreux facteurs protecteurs vis-à-vis des maladies respiratoires, notamment en raison d'une meilleure qualité de l'air, les troubles respiratoires même si moins fréquents, ne sont pas totalement absents en système alternatif (Früh *et al.*, 2018). Leeb *et al.* (2019) ont réalisé des comptages d'éternuements et de toux dans 74 élevages biologiques dans huit pays européens. Ils ont mis en évidence qu'il y avait moins de troubles respiratoires quand les animaux sont élevés avec un parcours plein-air durant toute leur vie. Mais il est plus difficile de dénombrer les toux et les éternuements en plein-air, ce qui peut induire un biais dans ces résultats. Pour limiter ce biais, il est possible d'objectiver et de comparer les lésions du système respiratoire au moment de l'abattage des animaux. D'après une étude réalisée au Danemark, la prévalence réelle des lésions respiratoires serait de 42 % en production porcine conventionnelle contre 16,5 % en production biologique (Bonde *et al.*, 2010). Dans une autre étude réalisée en Suède, 7,4 % des porcs conventionnels observés à l'abattoir présentaient des lésions de pleurésie contre seulement 1,8 % des porcs biologiques (Hansson *et al.*, 2000). Mais il existe des études discordantes, plus récentes, réalisées au Danemark, qui ne mettent pas en évidence de différence significative au niveau des lésions du système respiratoire en fonction du système d'élevage (Alban *et al.*, 2015 ; Kongsted et Sørensen, 2017). Seules les pleurésies sont plus fréquentes dans l'étude d'Alban *et al.* (2015) dans les élevages conventionnels.

### 3.4. Pathologie digestive

La pathologie digestive est une autre grande dominante en production porcine et concerne aussi les systèmes de production alternatifs, et notamment la production biologique (Leeb *et al.*, 2019). Mais peu d'études comparant les troubles digestifs en fonction des systèmes d'élevage existent. Leeb *et al.* (2019) observent une fréquence plus élevée de diarrhées dans les élevages biologiques lorsque les porcs ne sont pas élevés en plein-air. Toutefois, ces résultats sont à relativiser, au regard de la difficulté à observer ce type de symptômes sur des animaux à l'extérieur. Au-delà des désordres digestifs *per se*, aucune différence n'a été mise en évidence au niveau de la flore fécale, dans une étude réalisée sur des porcs en fin de période d'engraissement, selon que les animaux proviennent d'élevages conventionnels ou biologiques (Gerzova *et al.*, 2015).

L'observation de lésions digestives à l'abattoir montre qu'il y aurait plus de lésions d'entérite ou de péritonite en production biologique qu'en production conventionnelle (Bonde *et al.*, 2010). Il y aurait cependant des niveaux moins élevés de parakératose ou d'ulcération au niveau de la *pars oesophagia* dans les élevages en systèmes alternatifs (plein-air ou sur paille) que dans les élevages conventionnels (Guy *et al.*, 2002).

Au-delà du système d'élevage à proprement parler, il existe une grande variabilité d'expression des troubles digestifs entre élevages qui peut s'expliquer par des différences de gestion des facteurs de risque, comme le confort, la conduite d'élevage, l'alimentation ou l'hygiène. En l'absence de certaines matières premières, et notamment les acides aminés de synthèse, l'alimentation des porcs biologiques peut être délicate. Cela impose une attention particulière quant au choix des matières premières composant l'aliment distribué aux animaux, afin de prévenir notamment les troubles digestifs. L'hygiène tient une place primordiale dans la gestion des troubles digestifs. D'après

Vannucci *et al.* (2019), les entérites nécrotiques induites par *Lawsonia intracellularis* sont plus fréquentes dans des conditions qui facilitent le cycle oro-fécal, comme l'utilisation d'une litière de paille ou d'un sol plein.

### 3.5. Parasitisme

La présence de parasites internes (endoparasites) ainsi que l'intensité des infestations sont fortement influencées par le système de production. Le parasitisme interne reste une préoccupation majeure dans les systèmes alternatifs, notamment ceux avec un accès plein-air (Früh *et al.*, 2018). Ces conditions d'élevage sont en effet plus favorables au développement et à la survie des différents stades des parasites dans l'environnement (Salajpal *et al.*, 2013).

Dans une étude réalisée aux Pays-Bas dans neuf élevages conventionnels, 11 élevages biologiques et 16 élevages non biologiques avec un accès plein-air, la prévalence des infestations par les helminthes était plus importante quand les animaux étaient élevés à l'extérieur, indépendamment du statut biologique de l'élevage (Eijck et Borgsteede, 2005). La diversité des parasites reste toutefois faible. Dans cette étude, seuls trois helminthes (*Ascaris suum*, *Oesophagostomum* spp et *Trichuris suis*) et des coccidies ont été identifiés. D'autres espèces comme *Hyostrongylus rubidus*, *Metastrongylus* spp, *Strongyloides ransomi* ou *Stephanurus dendatus* sont moins souvent observées (Carstensen *et al.*, 2002 ; Prunier, 2010b).

La coccidiose peut être une cause importante de diarrhées chez les porcelets non sevrés de plus de 7 jours d'âge. Elle est en général due à *Cystoisospora suis*. Dans l'étude précédemment mentionnée (Eijck et Borgsteede, 2005), il y avait systématiquement plus d'oocystes présents dans les déjections des truies en système alternatif. Mais il s'agissait d'*Eimeria* spp. dont l'impact sur les animaux reste à évaluer. *Cystoisospora suis* a été isolé dans des déjections de porcelets, sans différence significative selon le système de production.

Les helminthes représentent une problématique très importante dans les élevages alternatifs. Dans l'étude néerlandaise (Eijck et Borgsteede, 2005), il n'y avait pas de différence entre les niveaux d'infestation par *Oesophagostomum* spp entre les systèmes d'élevage. Environ 25 % des élevages présentaient des Oesophagostomes, confirmant les observations d'autres études (Carstensen *et al.*, 2002 ; Prunier, 2010b). Concernant *Trichuris suis*, le niveau d'infestation était nettement supérieur (37 %) dans les élevages plein-air que dans les élevages conventionnels (11 %). *T. suis* était le deuxième endoparasite le plus souvent mis en évidence, loin derrière *Ascaris suum* isolé dans 60 % des élevages alternatifs, contre seulement 11 % des élevages conventionnels (Eijck et Borgsteede, 2005). Lors de sa migration larvaire, *A. suum* traverse le foie, ce qui entraîne la formation de taches blanches (*milk spots*) facilement observables à l'abattoir si la migration s'est produite dans le mois précédent l'abattage des animaux. De nombreuses études ont comparé les niveaux de prévalence de foies présentant des « *milk spots* » selon le système d'élevage. Dans quasiment toutes les études la fréquence de foies atteints est plus élevée quand les porcs proviennent de systèmes d'élevage avec un accès plein-air (Alban *et al.*, 2015 ; Kongsted et Sørensen, 2017). Une étude britannique a en outre montré que la présence de litière sur sol plein (de la paille par exemple) représentait un facteur de risque (Odds ratio (OR)=1,5 [1,26 ; 1,85]<sub>95%</sub>) d'une prévalence élevée de « *milk spots* » (Sanchez-Vazquez *et al.*, 2010).

Le contrôle des parasitoses est fondé sur la rupture du cycle de vie du parasite, ce qui est compliqué dans les élevages alternatifs de par la nature de l'environnement. Lindgren *et al.* (2019) ont mis en évidence des œufs d'*A. suum* et de *T. suis* dans respectivement 79 % et 57 % des 28 prélèvements de sol effectués dans des élevages biologiques en Suède. Les élevages hébergeant des porcs en plein-air depuis longtemps semblent plus infestés, en lien probablement avec la résistance des œufs, notamment d'*A. suum* qui peuvent rester viables jusqu'à 10 ans dans l'environnement (Roepstorff et Nansen, 1994).

Les principaux ectoparasites (externes) chez le porc sont la gale (*Sarcoptes scabiei* var. *suis*) et les poux (*Haematopinus suis*), même si des puces ou des tiques peuvent aussi être détectées, notamment chez les porcs ayant accès à des pâturages extensifs ou aux bois (Salajpal *et al.*, 2013). Dans une enquête réalisée dans 110 élevages allemands, respectivement 2,5 % et 19,1 % des truies observées étaient infestées par *Haematopinus suis* et *Sarcoptes scabiei* var. *suis* (Damriyasa *et al.*, 2004). Les auteurs ont observé que les truies logées sur paille en maternité avaient significativement plus de risque d'être infestées par *S. scabiei* (OR=15,0 [2,9 ; 77,6]<sub>95%</sub>) que les truies non logées sur paille. Pour *H. suis*, c'est l'accès des truies au plein air qui constituait un important facteur de risque (OR=12,7 [4,0 ; 40,7]<sub>95%</sub>).

### 3.6. Pathologie cutanée

Au-delà des lésions induites par les bagarres (griffures, blessures) ou des parasitoses, les troubles cutanés sur les porcs élevés en production biologique semblent rares (Brillouet *et al.*, 2010). Toutefois, dans l'étude de Kongsted et Sørensen (2017) réalisée à l'abattoir, les porcs ayant un accès plein-air présentaient trois fois plus de lésions cutanées que les porcs issus d'élevage conventionnels. Cependant il n'y a pas de différenciation dans cette étude du type de lésions, constituées principalement de blessures, dermatites, eczéma et piqûres d'insectes. Il paraît toutefois probable que certaines lésions, comme les coups de soleil, soient plus importantes sur les animaux élevés à l'extérieur.

### 3.7. Troubles locomoteurs

Les troubles locomoteurs, objectivés en premier lieu par la présence de boiteries sur les animaux, sont des affections souvent observées en élevages, notamment en production biologique (Früh *et al.*, 2018). Elles touchent tous les stades, y compris les reproducteurs. Plusieurs études montrent que les truies élevées dans des systèmes alternatifs présentent moins de risque de boiteries. Dans l'étude de Knage-Rasmussen *et al.* (2014), 24,4 % des truies conventionnelles présentaient une boiterie, contre seulement 5,4 % des truies biologiques, avec toutefois un effet saison (plus de boiteries en été et en automne). La qualité du sol semble avoir une importance. Leeb *et al.* (2019) ont observé moins de boiteries lorsque les truies ne sont pas élevées en bâtiment, en lien, d'après les auteurs, avec un revêtement plus souple, une exposition moindre au fumier et une activité accrue. Un sol sur caillebotis béton est un facteur de risque important de boiterie par rapport à un sol sur paille (OR = 9,9 [4,4 ; 34,5]<sub>95%</sub>) (Cador *et al.*, 2014).

Des observations menées à l'abattoir montrent que les arthrites seraient plus fréquentes lorsque les animaux sont élevés en plein-air (Alban *et al.*, 2015 ; Kongsted et Sørensen, 2017). Une des explications serait la difficulté de traiter les animaux malades dans ces systèmes de production. Dans une étude réalisée à l'abattoir, la fréquence d'arthrites était plus élevée sur les porcs biologiques que non biologiques (respectivement

1,5 % et 0,4 %) (Hansson *et al.*, 2000). Une moins bonne gestion d'*Erysipelothrix rhusiopathiae* dans les élevages biologiques, et un plus faible taux de vaccination des animaux sont parmi les hypothèses explicatives avancées par les auteurs. Il existe probablement d'autres facteurs intrinsèques à l'élevage plein-air non identifiés.

### 3.8. Anémie et supplémentation en fer

Le porcelet naît naturellement avec peu de réserves en fer. En élevage conventionnel, pour pallier ce manque, l'administration de fer par voie intra-musculaire ou par voie orale est quasi systématique. Or elle est rarement réalisée en production plein-air ou biologique. Il est souvent convenu que les porcelets nés en plein-air ingèrent suffisamment de fer du sol et n'ont pas besoin de supplémentation (Kleinbeck et McGlone, 1999). Cependant plusieurs études montrent que la supplémentation en fer pourrait tout de même être utile, voire indispensable sur des animaux nés en plein-air. Szako et Bilkei (2002) ont montré que les porcelets nés en plein-air ayant été supplémentés avaient une hémoglobémie plus élevée au sevrage, un taux de morbidité et de mortalité avant sevrage plus faible et un poids de sevrage plus important que les animaux non supplémentés. Plus récemment, Heidbüchel *et al.* (2019) ont montré qu'un second apport en fer vers 2 semaines d'âge pouvait même être utile sur des porcelets biologiques sevrés vers 42 jours d'âge, pour assurer un apport en fer suffisant et de meilleures croissances des porcelets jusqu'au sevrage. Il faut donc sans doute nuancer et dire que le risque d'anémie est faible dans les élevages plein-air où le sol apporte du fer dans sa composition intrinsèque (Brillouet *et al.*, 2010).

### 3.9. Immunité

Des différences semblent exister sur le plan immunitaire selon que les animaux sont élevés en plein-air ou non. En effet, Kleinbeck *et al.* (1999) ont montré que les porcs élevés à l'extérieur présentaient d'une part une numération leucocytaire, des niveaux de lymphocytes et une réponse des cellules Natural Killer plus faibles, et d'autre part des niveaux de neutrophiles plus élevés que les porcs n'ayant pas accès à l'extérieur. Millet *et al.* (2005) ont quant à eux montré des différences de réponses immunitaires suite à des injections de thyroglobuline bovine selon que les porcs sont élevés en bâtiment ou avec un accès plein-air, en raison, d'après les auteurs, des différences de pression d'infection, des différences environnementales et des niveaux de stress.

L'exposition à certains composés toxiques peut affecter les capacités de défenses immunitaires des animaux. Certaines mycotoxines, comme le déoxynivalénol ou les fumonisines par exemple, ont un impact négatif sur le système immunitaire des porcs, avec une susceptibilité accrue aux maladies infectieuses et une diminution de l'efficacité des vaccins. Or les élevages biologiques ne pouvant pas utiliser de produits fongicides dans leurs cultures, des niveaux plus élevés de mycotoxines pourraient être présents dans les céréales. C'est notamment ce qui a été montré dans une étude française, avec des niveaux de contamination plus importants par le déoxynivalénol dans le blé biologique que dans le blé conventionnel (Malmauret *et al.*, 2002). En outre, la fourniture de paille induit également un risque d'exposition aux mycotoxines, celles produites par *Fusarium* en particulier (EFSA, 2005).

### 3.10. Traitements et prévention

L'intégrité et l'efficacité du système immunitaire sont d'autant plus importantes à considérer en production biologique que les possibilités de traitement en cas d'infections sont limitées. L'utilisation de traitements allopathiques de synthèse, et notamment des antibiotiques et des anthelminthiques, est autorisée mais seulement de façon limitée. À cela s'ajoute que les éleveurs en production biologique seraient moins susceptibles d'appeler un vétérinaire pour traiter des problèmes de santé que leurs homologues conventionnels (Sutherland *et al.*, 2013). La difficulté de traiter les animaux en plein-air pourrait par ailleurs expliquer, au moins partiellement, les prévalences plus élevées de nombreuses lésions observées dans les élevages en plein-air, qu'ils soient biologiques ou non, comparativement aux élevages conventionnels (Alban *et al.*, 2015 ;Kongsted et Sørensen, 2017).

### 3.11. Bilan

L'accès à l'extérieur surexpose les animaux aux maladies véhiculées par la faune sauvage, en particulier par le sanglier, et à des agents pathogènes qui sont presque impossibles à contrôler dans ces conditions. Contrairement au système d'élevage conventionnel où il est possible pour la plupart des agents infectieux d'assainir l'environnement, cette démarche est beaucoup plus compliquée dans les systèmes sur paille et presque impossible à l'extérieur. Cela explique, au moins en partie, pourquoi le parasitisme est si difficile à gérer dans ces systèmes d'élevage. La difficulté pratique de traiter les animaux malades en plein-air est un autre problème, qui contribue notamment à l'augmentation de la pression d'infection dans les parcs. Toutefois, la densité plus faible des animaux dans ce type de production permet de limiter cette potentielle augmentation de la pression d'infection. Les porcs élevés dans ces systèmes d'élevage semblent être moins sensibles aux maladies respiratoires, en raison d'une exposition plus faible aux facteurs de risque liés à la claustration. Le confort apporté aux animaux, en particulier aux reproducteurs, contribue à limiter les troubles locomoteurs, mais la gestion des écrasements de porcelets dans les jours suivants la mise-bas constitue un véritable défi pour les élevages alternatifs. Ces points faibles ne sont cependant pas inévitables ; avec des plans de déparasitage appropriés et la mise en place de mesures de biosécurité adaptées, les élevages alternatifs sont à même d'élever leurs animaux dans de bonnes conditions sanitaires.

## 4. SANTÉ PUBLIQUE VÉTÉRINAIRE

Les zoonoses d'origine alimentaire sont des maladies infectieuses d'importances sanitaire et économique majeures. Les porcs représentent un réservoir de nombreux agents pathogènes bactériens, viraux ou parasitaires (Salajpal *et al.*, 2013). La présence d'agents pathogènes zoonotiques, de leurs réservoirs ou de leurs vecteurs à proximité ou dans l'environnement direct des porcs, peut être à l'origine de niveaux de prévalence élevés de ces agents infectieux dans les élevages alternatifs.

### 4.1. Contaminations bactériennes

La campylobactériose est la zoonose la plus fréquemment signalée en Europe en 2018. Le porc ne constitue toutefois pas la principale source de contamination pour les hommes. Les toxico-infections humaines sont principalement causées par *Campylobacter jejuni* alors que *C. coli* est l'espèce plus fréquente chez le porc. Il n'y aurait pas de différence

significative de portage de *C. coli* selon que les animaux sont issus ou pas d'un élevage biologique (Kempf *et al.*, 2017). Par contre, en ce qui concerne *Listeria monocytogenes*, une étude finlandaise a montré que la prévalence de la bactérie était significativement plus élevée pour les porcs biologiques que pour les porcs conventionnels (Hellström *et al.*, 2010). Les auteurs expliquent que *L. monocytogenes* étant une bactérie commune dans l'environnement, les parcours extérieurs peuvent être une source de contamination. À noter toutefois que la différence entre porcs biologiques et porcs conventionnels disparaît lorsque l'analyse porte sur la contamination des carcasses des animaux. La contamination de la viande de porc par *L. monocytogenes* est principalement une problématique d'abattoir. Les niveaux de contamination de la viande de porc par *L. monocytogenes* sont globalement faibles et à l'origine de peu de zoonoses alimentaires, à la différence de *Yersinia enterocolitica*. Plusieurs études ont montré que la prévalence de *Y. enterocolitica* dans les exploitations conventionnelles était plus élevée que dans les exploitations alternatives. Le système de production biologique était l'un des facteurs de protection les plus importants pour la contamination par *Y. enterocolitica* dans l'étude de Virtanen *et al.* (2011). Mais d'autres études donnent des résultats sensiblement différents : la paille utilisée comme litière pour les porcs charcutiers représenterait un facteur de risque de séropositivité vis-à-vis de *Y. enterocolitica* (Skjerve *et al.*, 1998).

La salmonellose est la deuxième cause la plus fréquente de toxoinfection alimentaire bactérienne chez l'homme. La viande de porcs était responsable de 5,4 % des cas de toxoinfection alimentaire par *Salmonella* spp. en 2018 en Europe (EFSA et ECDC, 2019). De nombreuses mesures au niveau des élevages peuvent réduire la prévalence de *Salmonella* spp. et par conséquent les risques de contamination croisée des carcasses à l'abattoir. Mais au regard de la complexité de l'épidémiologie des salmonelles, il n'est pas toujours simple de définir la part du système d'élevage dans la maîtrise de la bactérie, et les résultats sont parfois contradictoires. Par exemple Zheng *et al.* (2007) n'ont pas mis en évidence de différence entre les niveaux de séropositivité obtenus sur jus de viande, entre les élevages danois biologiques, conventionnels, ou non biologiques mais disposant d'un accès extérieur pour les animaux. Mais la plupart des études tendent au contraire à montrer que les systèmes alternatifs biologiques et/ou plein-air, représentent un facteur de risque d'infection par *Salmonella* spp (Gebreyes *et al.*, 2008). Après sérotypage par PCR, Tamang *et al.* (2015) ont en outre montré une plus grande diversité des sérovars isolés en élevages biologiques, *Salmonella* Typhimurium étant toutefois plus souvent isolée dans les élevages conventionnels.

Le type de sol semble avoir une grande importance, le contact permanent et répété du porc avec des excréments augmentant le risque de contamination oro-fécale et d'infections par les salmonelles (EFSA, 2005). Jensen *et al.* (2006) ont montré que les salmonelles pouvaient persister dans l'environnement et notamment dans les parcs plein-air. *Salmonella* a pu être isolée dans des échantillons de sol jusqu'à 5 semaines après le départ d'animaux contaminés. L'introduction de porcs indemnes dans ces parcs a conduit à la contamination d'une partie d'entre eux. Les bauges dans lesquels les animaux se vautrent peuvent aussi représenter une source de contamination des porcs en plein-air et de persistance de la bactérie dans l'environnement. Enfin les oiseaux contribuent aussi à la persistance de la bactérie dans les parcs plein-air, comme l'ont montré De Lucia *et al.* (2018) dans une étude où à la fois des fientes d'oiseaux, des fèces de porcs et des échantillons environnementaux (sols, flaques d'eau et

matériels agricoles) ont été analysés. Il est intéressant de noter que des prélèvements environnementaux étaient positifs, y compris dans un parc qui n'avait pas été occupé par des porcs depuis plus de deux ans.

#### 4.2. Contaminations parasitaires

Les changements de méthodes de production vers des systèmes fermés ont permis la quasi élimination du risque *Taenia solium*, *Trichinella spiralis* et *Toxoplasma gondii* dans la viande des porcs issus d'élevages conventionnels. L'amélioration des pratiques d'élevage, l'inspection des viandes, l'éducation des consommateurs et les soins médicaux ont notamment permis de réduire de façon très importante l'incidence et l'impact sanitaire de la trichinellose chez l'homme. Toutefois, la viande de porcs reste la cause de nombreux foyers, principalement en Europe de l'Est et en Argentine, où l'élevage traditionnel de « basse-cour » est encore très présent (Murrell, 2016). De nombreuses espèces de mammifères sont sensibles à *T. spiralis*, comme par exemple le renard, le rat, les petits rongeurs ou encore le sanglier. Les porcs s'infestent principalement par voie buccale, par ingestion de larves se trouvant dans des muscles d'animaux parasités. Il paraît donc inévitable que les porcs ayant un accès à l'extérieur soient plus exposés au risque d'infection par *T. spiralis* en étant plus fréquemment et intensément au contact avec les réservoirs. Ce risque semble toutefois faible vu les niveaux de prévalence ou de séoprévalence estimés dans de nombreuses études. Mais les prévalences de *T. spiralis* y sont significativement plus élevées dans les élevages où les porcs avaient eu un accès à un parcours plein-air (Van der Giessen *et al.*, 2007 ; Gebreyes *et al.*, 2008).

*T. gondii* est un protozoaire très répandu qui affecte les animaux et les humains. L'une des principales voies d'infection humaine est la consommation de viande crue ou insuffisamment cuite, issue de certaines espèces animales, dont le porc. Le porc peut être infecté par *T. gondii* par l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminés par des oocystes sporulés, par la consommation de kystes contenus dans les tissus d'animaux infectés tels que les rongeurs, les oiseaux et d'autres porcs, ou de manière congénitale. Comme pour *T. spiralis*, de nombreuses études montrent d'une part que la prévalence de *T. gondii* chez les porcs en élevages confinés est faible, et d'autre part que l'accès à un parcours plein-air constitue un facteur de risque important pour ces animaux. Dans une étude réalisée aux Pays-Bas (Van der Giessen *et al.*, 2007), le risque de détection des anticorps de *T. gondii* dans un élevage avec un parcours plein-air était près de 16 fois plus élevé que dans un élevage en bâtiment, analyse confirmée plus récemment par une étude française dans laquelle les porcs élevés en plein-air avaient 3,6 fois plus de risque d'être séropositifs (Djokic *et al.*, 2016). L'accès aux installations extérieures peut favoriser le contact avec des chats et/ou des rongeurs, augmentant la probabilité d'ingestion d'oocystes et de kystes tissulaires par les porcs.

#### 4.3. Virus de l'hépatite E

La fréquence des cas sporadiques d'hépatite E chez l'homme a augmenté ces dernières années dans les pays développés. La consommation de produits à base de foies de porcs crus ou insuffisamment cuits a été identifiée comme une source importante d'infections humaines. Or les niveaux de séoprévalence dans les élevages de porcs peuvent être très élevés. Une étude a récemment montré que la séoprévalence en Corse était de 85,4 % sur les porcs domestiques qui sont

élevés majoritairement dans des conditions extensives (Charrier *et al.*, 2018). Il a en outre été montré que les porcs élevés en liberté ou dans des parcs clôturés, présentaient des niveaux de séroprévalence beaucoup plus élevés que les porcs élevés en conditions confinées intensives (OR=10,1 [2,6 ; 38,8]<sub>95%</sub>). Dans une étude néerlandaise, la séroprévalence dans les élevages biologiques était significativement plus élevée (89 %) que dans les élevages conventionnels (76 %) (Rutjes *et al.*, 2014). Cette différence pourrait être due aux conditions de logement permettant une plus grande exposition des animaux au fumier, augmentant ainsi les possibilités de transmission du virus (Rutjes *et al.*, 2014).

#### 4.4. Antibiotiques et antibiorésistance

La consommation de médicaments chimiques de synthèse est plus faible dans les systèmes de production en plein-air (Edwards, 2005). Dans les élevages biologiques notamment, l'utilisation de médicaments et d'antibiotiques est limitée et constitue une des exigences des cahiers des charges. Par exemple au Danemark l'utilisation d'antibiotiques était, en 2016, 10 fois plus faible en post-sevrage et en engraissement dans les élevages biologiques que dans les élevages conventionnels (Kruse *et al.*, 2019). De plus, selon le cahier des charges de l'Agriculture Biologique européen, le délai d'attente entre la dernière administration d'un médicament allopathique et l'abattage de l'animal traité est doublé par rapport au délai d'attente légal. Le risque de persistance de résidus de ces traitements dans les produits issus de ces animaux est donc extrêmement faible. Dans une étude néerlandaise, aucun résidu d'antibiotique n'a été détecté dans des échantillons de reins et de viande prélevés à l'abattoir sur des porcs biologiques (Hoogenboom *et al.*, 2008). En outre, quasiment toutes les études montrent que la prévalence de bactéries résistantes aux antibiotiques est inférieure dans les élevages biologiques, en lien probable avec une moindre utilisation des anti-infectieux de synthèse (Hoogenboom *et al.*, 2008 ; Tamang *et al.*, 2015).

#### 4.5. Bilan

Même si la moindre utilisation des traitements allopathiques chimiques, et notamment des antibiotiques, permet de limiter

le risque de contamination humaine par des résidus ou d'antibiorésistance à travers la consommation de viande de porcs issus d'élevages alternatifs, la prévalence plus élevée de plusieurs agents pathogènes zoonotiques dans ces élevages représente un risque à la fois pour le consommateur, mais aussi pour l'image des filières alternatives. À l'exception de *Yersinia enterocolitica*, qui semble être moins répandue dans les élevages biologiques, l'accès à un parcours plein-air est un facteur de risque pour les porcs d'être infectés par des agents pathogènes zoonotiques d'origine alimentaire. La difficulté d'assainir l'environnement, en particulier le sol à l'extérieur, augmente le risque de contamination des porcs élevés en plein-air par ces agents pathogènes. En outre, les porcs élevés en plein-air sont plus facilement en contact avec des vecteurs ou des réservoirs de ces agents infectieux, tels que les oiseaux, les rats, les renards ou les sangliers.

#### CONCLUSION

Il est difficile de définir un système d'élevage alternatif unique, tellement ils sont variés, allant de l'élevage sur paille jusqu'à l'élevage sylvo-pastoral, en passant par l'élevage biologique ou l'élevage plein-air. Ils ont tous en commun de se différencier de l'élevage conventionnel, en claustration sur caillebotis, et de bénéficier d'une image sociétale très positive. Ces élevages présentent de réels atouts. Mais ils doivent aussi relever des défis majeurs. La maîtrise de la biosécurité est sans nul doute le plus important, et un des plus difficiles, pour éviter les contaminations des élevages, qui ont un impact sur la santé des animaux mais aussi sur la sécurité sanitaire des viandes produites. Des efforts sont aussi à faire paradoxalement sur le bien-être des animaux, alors que le consommateur plébiscite ces systèmes notamment pour cette raison.

Tous ces éléments sont à réfléchir dans leur ensemble, et malgré la richesse de la littérature, peu d'études abordent l'élevage alternatif dans sa globalité. Pour assurer la durabilité de ces élevages, il est encore nécessaire de produire des connaissances pour mieux cerner leurs atouts et leurs limites, le respect des bonnes pratiques et le savoir-faire des éleveurs étant bien-entendu au cœur de la réussite de ces élevages.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alban L., Petersen J.V., Busch M.E., 2015. A comparison between lesions found during meat inspection of finishing pigs raised under organic/free-range conditions and conventional, indoor conditions. *Porcine Health Manag*, 1, 4.
- Álvarez J., Castellanos E., Romero B., Aranaz A., Bezos J., Rodríguez S., Mateos A., Domínguez L., Juan L.D., 2011. Epidemiological investigation of a *Mycobacterium avium* subsp. *hominissuis* outbreak in swine. *Epidemiol. Infect.*, 139, 143-148.
- Anses, 2018a. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « Évaluation des mesures de prévention et de gestion mises en place afin de prévenir et maîtriser le risque de diffusion de la PPA sur le territoire national français ».
- Anses, 2018b. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au « Bien-être animal: Contexte, définition et évaluation ».
- Arey D.S., 1993. The Effect of Bedding on the Behaviour and Welfare of Pigs. *Anim. Welf.*, 2, 235-246.
- Bellini S., Rutili D., Guberti V., 2016. Preventive measures aimed at minimizing the risk of African swine fever virus spread in pig farming systems. *Acta Vet. Scand.*, 58, 82.
- Berger F., Dagom J., Le Denmat M., Quillien J., Vaudelet J., Signoret J., 1997. Perinatal losses in outdoor pig breeding. A survey of factors influencing piglet mortality. *Ann. Zootech.*, 46, 321-329.
- Blumetto Velazco O.R., Calvet Sanz S., Estellés Barber F., Villagrà García A., 2013. Comparison of extensive and intensive pig production systems in Uruguay in terms of ethologic, physiologic and meat quality parameters. *Braz. J. Anim. Sci.*, 42, 521-529.
- Bonde M., Toft N., Thomsen P.T., Sørensen J.T., 2010. Evaluation of sensitivity and specificity of routine meat inspection of Danish slaughter pigs using Latent Class Analysis. *Prev. Vet. Med.*, 94, 165-169.
- Brillouet A., Calvar C., Maupertuis F., Prunier A., Gueguen K., 2010. Santé et bien-être des porcs biologiques en Europe : État des connaissances. In *Prévention de la santé des porcs en élevages biologiques*, 9-31. Rennes, France.
- Cador C., Pol F., Hémoniaux M., Dorenlor V., Eveno E., Guyomarc'h C., Rose N., 2014. Risk factors associated with leg disorders of gestating sows in different group-housing systems: a cross-sectional study in 108 farrow-to-finish farms in France. *Prev. Vet. Med.*, 116, 102-110.
- Carstensen L., Vaarst M., Roepstorff A., 2002. Helminth infections in Danish organic swine herds. *Vet. Parasitol.*, 106, 253-264.



- Charrier F., Rossi S., Jori F., Maestrini O., Richomme C., Casabianca F., Ducrot C., Jouve J., Pavio N., Le Potier M.-F., 2018. Aujeszky's Disease and Hepatitis E Viruses Transmission between Domestic Pigs and Wild Boars in Corsica: Evaluating the Importance of Wild/Domestic Interactions and the Efficacy of Management Measures. *Front. Vet. Sci.*, 5, 1.
- Courboulay V., Delarue E., Eugene A., 2008. Evaluation du bien-être des porcs : comparaison d'élevages sur litière ou sur caillebotis. *Journée Rech. Porcine*, 40, 243-250.
- Cvetnić Z., Spčić S., Tončić J., Majnarić D., Benić M., Albert D., Thiébaud M., Garin-Bastuji B., 2009. *Brucella suis* infection in domestic pigs and wild boar in Croatia. *Rev. Sci. Tech. OIE*, 28, 1057-1067.
- Damriyasa I.M., Failing K., Volmer R., Zahner H., Bauer C., 2004. Prevalence, risk factors and economic importance of infestations with *Sarcoptes scabiei* and *Haematopinus suis* in sows of pig breeding farms in Hesse, Germany. *Med. Vet. Entomol.*, 18, 361-367.
- De Lucia A., Rabie A., Smith R.P., Davies R., Ostanello F., Ajayi D., Petrovska L., Martelli F., 2018. Role of wild birds and environmental contamination in the epidemiology of *Salmonella* infection in an outdoor pig farm. *Vet. Microbiol.*, 227, 148-154.
- D'Eath R.B., Turner S.P., 2009. The natural behavior of the pig. In *The welfare of Pig*, 13-45. Marchant-Forde, Jeremy N. (Ed.).
- Dippel S., Leeb C., Bochicchio D., Bonde M., Dietze K., Gunnarsson S., Lindgren K., Sundrum A., Wiberg S., Winckler C., Prunier A., 2013. Health and welfare of organic pigs in Europe assessed with animal-based parameters. *Org. Agr.*, 4, 149-161.
- Djokic V., Blaga R., Aubert D., Durand B., Perret C., Geers R., Ducry T., Vallee I., Djakovic O.D., Mzabi A., Villena I., Boireau P., 2016. *Toxoplasma gondii* infection in pork produced in France. *Parasitology*, 143, 557-567.
- Ducreux E., Aloui B., Robin P., Dourmad J.-Y., Courboulay V., Meunier-Salaün M.-C., 2002. Les porcs affichent leurs préférences vis-à-vis du type de sol en fonction de la température ambiante. *Journée Rech. Porcine*, 34, 211-216.
- Edwards S.A., 2005. Product quality attributes associated with outdoor pig production. *Livest. Prod. Sci.*, 94, 5-14.
- Edwards S.A., Smith W.J., Fordyce C., MacMenemy F., 1994. An analysis of the causes of piglet mortality in a breeding herd kept outdoors. *Vet. Rec.*, 135, 324-327.
- EFSA, 2005. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to welfare of weaners and rearing pigs: effects of different space allowances and floor. *EFSA J.*, 3, 1-129.
- EFSA and ECDC, 2019. The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. *EFSA J.*, 17, e05926.
- Eijck I.A.J.M., Borgsteede F.H.M., 2005. A Survey of Gastrointestinal Pig Parasites on Free-range, Organic and Conventional Pig Farms in The Netherlands. *Vet. Res. Commun.*, 29, 407-414.
- Früh B., Bochicchio D., Edwards S., Hegelund L., Leeb C., Sundrum A., Werne S., Wiberg S., Prunier A., 2018. Description of organic pig production in Europe. *Org. Agr.*, 4, 149-161.
- Gebreyes W.A., Bahnson P.B., Funk J.A., McKean J., Patchanee P., 2008. Seroprevalence of *Trichinella*, *Toxoplasma*, and *Salmonella* in Antimicrobial-Free and Conventional Swine Production Systems. *Foodborne Path. Dis.*, 5, 199-203.
- Gerzova L., Babak V., Sedlar K., Faldynova M., Videnska P., Cejkova D., Jensen A.N., Denis M., Kerouanton A., Ricci A., Cibin V., Österberg J., Rychlik I., 2015. Characterization of Antibiotic Resistance Gene Abundance and Microbiota Composition in Feces of Organic and Conventional Pigs from Four EU Countries. *PLoS One*, 10.
- Guy J.H., Rowlinson P., Chadwick J.P., Ellis M., 2002. Health conditions of two genotypes of growing-finishing pig in three different housing systems: Implications for welfare. *Livest. Prod. Sci.*, 75, 233-243.
- Hansson I., Hamilton C., Ekman T., Forslund K., 2000. Carcass Quality in Certified Organic Production Compared with Conventional Livestock Production. *J. Vet. Med. B*, 47, 111-120.
- Heidbüchel K., Raabe J., Baldinger L., Hagmüller W., Bussemas R., 2019. One Iron Injection Is Not Enough-Iron Status and Growth of Suckling Piglets on an Organic Farm. *Animals (Basel)*, 9.
- Hellström S., Laukkanen R., Siekkinen K.-M., Ranta J., Maijala R., Korkeala H., 2010. *Listeria monocytogenes* contamination in pork can originate from farms. *J. Food Prot.*, 73, 641-648.
- Hemsworth P.H., 2003. Human-animal interactions in livestock production. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 81, 185-198.
- Honeyman M.S., 2005. Extensive bedded indoor and outdoor pig production systems in USA: current trends and effects on animal care and product quality. *Livest. Prod. Sci.*, 94, 15-24.
- Hoogenboom L.A.P., Bokhorst J.G., Northolt M.D., Vijver L.P.L. van de, Broex N.J.G., Mevius D.J., Meijs J.A.C., Roest J.V., 2008. Contaminants and microorganisms in Dutch organic food products: a comparison with conventional products. *Food Additives & Contaminants*, 25, 1195-1207.
- Hötzel M.J., Filho L.C.P.M., Irgang R., Filho L.A., 2010. Short-term behavioural effects of weaning age in outdoor-reared piglets. *Animal*, 4, 102-107.
- Hötzel M.J., Pinheiro Machado F. L.C., Wolf F.M., Costa O.A.D., 2004. Behaviour of sows and piglets reared in intensive outdoor or indoor systems. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 86, 27-39.
- Hultén F., Dalin A.-M., Lundeheim N., Einarsson S., 1995. Ovulation frequency among sows group-housed during late lactation. *Anim. Reprod. Sci.*, 39, 223-233.
- Jensen A.N., Dalsgaard A., Stockmarr A., Nielsen E.M., Baggesen D.L., 2006. Survival and Transmission of *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium in an Outdoor Organic Pig Farming Environment. *Appl. Environ. Microbiol.*, 72, 1833-1842.
- Johnson A.K., Morrow-Tesch J.L., McGlone J.J., 2001. Behavior and performance of lactating sows and piglets reared indoors or outdoors. *J. Anim. Sci.*, 79, 2571-2579.
- Karg H., Bilkei G., 2002. Causes of sow mortality in Hungarian indoor and outdoor pig production units. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 115, 366-368.
- Kempf I., Kerouanton A., Bougeard S., Nagard B., Rose V., Mourand G., Osterberg J., Denis M., Bengtsson B.O., 2017. *Campylobacter coli* in Organic and Conventional Pig Production in France and Sweden: Prevalence and Antimicrobial Resistance. *Front. Microbiol.*, 8.
- Kilbride A.L., Mendl M., Statham P., Held S., Harris M., Cooper S., Green L.E., 2012. A cohort study of preweaning piglet mortality and farrowing accommodation on 112 commercial pig farms in England. *Prev. Vet. Med.*, 104, 281-291.
- Kleinbeck S.N., McGlone J.J., 1999. Intensive indoor versus outdoor swine production systems: genotype and supplemental iron effects on blood hemoglobin and selected immune measures in young pigs. *J. Anim. Sci.*, 77, 2384-2390.
- Knage-Rasmussen K.M., Houe H., Rousing T., Sørensen J.T., 2014. Herd- and sow-related risk factors for lameness in organic and conventional sow herds. *Animal*, 8, 121-127.
- Kongsted H., Sørensen J.T., 2017. Lesions found at routine meat inspection on finishing pigs are associated with production system. *Vet. J.*, 223, 21-26.
- Kruse A.B., Kristensen C.S., Lavlund U., Stege H., 2019. Antimicrobial prescription data in Danish national database validated against treatment records in organic pig farms and analysed for associations with lesions found at slaughter. *BMC Vet Res*, 15.
- Lahrmann H.K., Bremermann N., Kaufmann O., Dahms S., 2004. Health, growing performance and meat quality of pigs in indoor and outdoor housing - a controlled field trial. *DTW. Dtsch. Tierärztl. Wochenschr.*, 111, 205-208.
- Leeb C., Rudolph G., Bochicchio D., Edwards S., Früh B., Holinger M., Holmes D., Illmann G., Knop D., Prunier A., Rousing T., Winckler C., Dippel

- S., 2019. Effects of three husbandry systems on health, welfare and productivity of organic pigs. *Animal*, 13, 2025-2033.
- Leirs H., Lodal J., Knorr M., 2004. Factors correlated with the presence of rodents on outdoor pig farms in Denmark and suggestions for management strategies. *NJAS Wagen. J. Life Sci.*, 52, 145-161.
  - Lindgren K., Gunnarsson S., Höglund J., Lindahl C., Roepstorff A., 2019. Nematode parasite eggs in pasture soils and pigs on organic farms in Sweden. *Org. Agr.*
  - Lindgren Y., Lundeheim N., Boqvist S., Magnusson U., 2013. Reproductive performance in pigs reared under organic conditions compared with conventionally reared pigs. *Acta Vet. Scand.*, 55, 33.
  - Malmauret L., Parent-Massin D., Hardy J.-L., Verger P., 2002. Contaminants in organic and conventional foodstuffs in France. *Food Addit. Contam.*, 19, 524-532.
  - Millet S., Cox E., Buysse J., Goddeeris B.M., Janssens G.P.J., 2005. Immunocompetence of fattening pigs fed organic versus conventional diets in organic versus conventional housing. *Vet. J.*, 169, 293-299.
  - Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2018. Arrêté du 16 octobre 2018 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations détenant des suidés dans le cadre de la prévention de la peste porcine africaine et des autres dangers sanitaires réglementés.
  - Mormede P., Foury A., Meunier-Salaün M.-C., 2006. Bien-être du porc : le point de vue de l'animal, approches biologiques et comportementales. *Bul. de l'Ac. Vét. de France*, 191.
  - Murrell K.D., 2016. The dynamics of *Trichinella spiralis* epidemiology: Out to pasture? *Vet. Parasitol.*, 231, 92-96.
  - Pandolfi F., Kyriazakis I., Stoddart K., Wainwright N., Edwards S.A., 2017. The "Real Welfare" scheme: Identification of risk and protective factors for welfare outcomes in commercial pig farms in the UK. *Prev. Vet. Med.*, 146, 34-43.
  - Prunier A., 2010a. Caractéristiques des élevages enquêtés dans le projet Corepig. In *Prévention de la santé des porcs en élevages biologiques*, 32-44. Rennes, France.
  - Prunier A., 2010b. Évaluation de la situation du parasitisme dans les élevages porcins biologiques. In *Prévention de la santé des porcs en élevages biologiques*, 45-54. Rennes, France.
  - Prunier A., Lubac S., Mejer H., Roepstorff A., Edwards S., 2014. Health, welfare and production problems in organic suckling piglets. *Org. Agr.*, 4, 107-121.
  - Rangstrup-Christensen L., Krogh M.A., Pedersen L.J., Sørensen J.T., 2018. Sow level risk factors for early piglet mortality and crushing in organic outdoor production. *Animal*, 12, 810-818.
  - Robledo J., Vargas J.D., González F., Prieto L., Andradas J.A., Aparicio M.A., 2007. Animal welfare and production in the Iberian Pig. In : Nanni Costa L., Zambonelli P., Russo V. Eds, L. Nanni Costa: Bologna, Italy (Eds), 6th International Symposium on the Mediterranean Pig, 146-152. Messina - Capo d'Orlando (ME), Italy.
  - Roepstorff A., Nansen P., 1994. Epidemiology and control of helminth infections in pigs under intensive and non-intensive production systems. *Vet. Parasitol.*, 54, 69-85.
  - Roman A.V., Lukesova D., Novak P., Zizlavsky M., 2006. Biosecurity in pig breeding herds. *Agric. Trop. Subtrop.*, 39, 119-124.
  - Rutjes S.A., Bouwknegt M., van der Giessen J.W., de Roda Husman A.M., Reusken C.B.E.M., 2014. Seroprevalence of Hepatitis E Virus in Pigs from Different Farming Systems in The Netherlands. *J. Food Prot.*, 77, 640-642.
  - Salajpal K., Karolyi D., Luković Z., 2013. Sanitary aspects of outdoor farming systems. In *Acta agriculturae Slovenica*, 109-117. Slovenia, Ljubljana.
  - Sanchez-Vazquez M.J., Smith R.P., Kang S., Lewis F., Nielsen M., Gunn G.J., Edwards S.A., 2010. Identification of factors influencing the occurrence of milk spot livers in slaughtered pigs: A novel approach to understanding *Ascaris suum* epidemiology in British farmed pigs. *Vet. Parasitol.*, 173, 271-279.
  - Scott K., Binnendijk G.P., Edwards S.A., Guy J.H., Kiezebrink M.C., Vermeer H.M., 2009. Preliminary evaluation of a prototype welfare monitoring system for sows and piglets (Welfare Quality® project). *Anim. Welf.*, 18, 441-449.
  - Skjerve E., Lium B., Nielsen B., Nesbakken T., 1998. Control of *Yersinia enterocolitica* in pigs at herd level. *Int. J. Food Microbiol.*, 45, 195-203.
  - Sørensen J.T., Edwards S., Noordhuizen J., Gunnarsson S., 2006. Animal production systems in the industrialised world. *Rev. Off. Int. Epizoot.*, 25, 493-503.
  - Sutherland M.A., Webster J., Sutherland I., 2013. Animal Health and Welfare Issues Facing Organic Production Systems. *Animals*, 3, 1021-1035.
  - Szabo P., Bilkei G., 2002. Iron Deficiency in Outdoor Pig Production. *J. Vet. Med. A*, 49, 390-391.
  - Tamang M.D., Gurung M., Nam H.-M., Moon D.C., Kim S.-R., Jang G.-C., Jung D.-Y., Jung S.-C., Park Y.-H., Lim S.-K., 2015. Prevalence and characterization of *Salmonella* in pigs from conventional and organic farms and first report of *S. serovar 1,4,[5],12:i:-* from Korea. *Vet. Microbiol.*, 178, 119-124.
  - Temple D., Courboulay V., Manteca X., Velarde A., Dalmau A., 2012. The welfare of growing pigs in five different production systems: assessment of feeding and housing. *Animal*, 6, 656-667.
  - Van de Weerd H.A., Docking C.M., Day J.E.L., Breuer K., Edwards S.A., 2006. Effects of species-relevant environmental enrichment on the behaviour and productivity of finishing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 99, 230-247.
  - Van der Giessen J., Fonville M., Bouwknegt M., Langelaar M., Vollema A., 2007. Seroprevalence of *Trichinella spiralis* and *Toxoplasma gondii* in pigs from different housing systems in The Netherlands. *Vet. Parasitol.*, 148, 371-374.
  - Van der Meulen J., Koopmans S.J., Dekker R.A., Hoogendoorn A., 2010. Increasing weaning age of piglets from 4 to 7 weeks reduces stress, increases post-weaning feed intake but does not improve intestinal functionality. *Animal*, 4, 1653-1661.
  - Van der Mheen H., Vermeer H., 2005. Outdoor pig farming in the Netherlands. In : A. Sundrum & F. Weißmann (Eds), *Organic pig production in free range systems*, 41-43. Landbauforschung Völknerode Sonderheft. Braunschweig, Germany, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL).
  - Vannucci, F.A., Gebhart, C.J., McOrist S., 2019. Bacterial Diseases - Proliferative Enteropathy. In : Jeffrey J. Zimmerman, Locke A. Karriker, Alejandro Ramirez, Kent J. Schwartz, Grégory W. Stevenson & Jianqiang Zhang (Eds), *Disease of swine*, 11th ed., 898-911. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA.
  - Verdon M., Morrison R.S., Rault J.-L., 2019. Group lactation from 7 or 14 days of age reduces piglet aggression at weaning compared to farrowing crate housing. *Animal*, 13, 2327-2335.
  - Virtanen S.E., Salonen L.K., Laukkanen R., Hakkinen M., Korkeala H., 2011. Factors related to the prevalence of pathogenic *Yersinia enterocolitica* on pig farms. *Epidemiol. Infect.*, 139, 1919-1927.
  - Welfare Quality Consortium, 2009. Welfare Quality Assessment protocol for pigs. The Netherlands, 123 p.
  - Wu N., Abril C., Thomann A., Grosclaude E., Doherr M.G., Boujon P., Ryser-Degiorgis M.P., 2012. Risk factors for contacts between wild boar and outdoor pigs in Switzerland and investigations on potential *Brucella suis* spill-over. *BMC Vet. Res.*, 8, 116.
  - Zheng D.M., Bonde M., Sørensen J.T., 2007. Associations between the proportion of *Salmonella* seropositive slaughter pigs and the presence of herd level risk factors for introduction and transmission of *Salmonella* in 34 Danish organic, outdoor (non-organic) and indoor finishing-pig farms. *Livest. Sci.*, 106, 189-199.

# Propagation du virus de l'hépatite E de la case à la filière : analyse de réseaux complexes et modélisation

*Pachka HAMMAMI (1), Stefan WIDGREN (2), Vladimir GROSOBOIS (3), Andrea APOLLONI (3), Nicolas ROSE (1),  
Mathieu ANDRAUD (1)*

*(1) ANSES, UR EpiSaBE, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, 22440 Ploufragan, France*

*(2) SVA, Department of Disease Control and Epidemiology, SE-751 89 Uppsala, Suède*

*(3) Cirad, Univ. Montpellier, INRAE, UMR ASTRE, 34000 Montpellier, France*

*pachka.hammami@anses.fr*

*Avec la collaboration de Thomas LEMOINE administrateur de la base de données nationale de mouvements porcins (BDporc)*

## **Propagation du virus de l'hépatite E de la case à la filière : analyse de réseaux complexes et modélisation**

L'hépatite E est une zoonose très répandue chez les porcs et potentiellement grave chez l'homme. La transmission entre porcs se fait par voie fécale-orale, par contact direct ou via l'environnement. Le principal facteur de propagation entre exploitations est le transport d'animaux vivants. La chaîne de production porcine est constituée de nombreux acteurs interconnectés, formant un réseau complexe structuré dans l'espace et le temps. Cette étude vise à tester des scénarios de contrôle à l'échelle nationale en prenant en compte les différentes voies de transmission ainsi que les mouvements d'animaux vivants. Les mouvements de porcs de 2017 à 2020 fournis par la base de données nationale française de traçabilité des porcs (BDporc) ont été analysés. Des modèles de graphes aléatoires exponentiels ont été ajustés pour trois sous-ensembles définis par le type d'animaux transportés (troues, porcelets et porcs en croissance) afin d'évaluer les probabilités de contact entre élevages. Les résultats ont été validés par la validation croisée d'une analyse de la qualité de l'ajustement des modèles et de cartes. Les probabilités de contact estimées ainsi que les caractéristiques générales des systèmes d'élevage en bandes ont permis de construire un modèle démographique simulant les mouvements de porcs à trois niveaux : entre cases, entre secteurs de production et entre élevages selon une horloge déterministe, mais avec des destinations aléatoires pondérées par les probabilités de contact. Enfin, la dynamique simulée a permis d'alimenter un modèle épidémiologique stochastique multi-niveaux simulant la transmission intra- et inter-cases. La prévalence des porcs positifs au virus de l'hépatite E transportés à l'abattoir a été estimée pour différents scénarios de contrôle afin d'évaluer, à terme, l'efficacité de mesures de biosécurité mises en place en élevage.

## **Spread of hepatitis E virus from pens to the national industry: complex network analysis and modelling**

Hepatitis E is a zoonotic disease that is widespread in pigs and potentially severe in humans. Transmission between pigs occurs via the faecal-oral route, either by direct contact or via the environment. In addition, the main factor of propagation between farms is the transport of live animals. The pig production chain consists of many interconnected actors who form a complex network in space and time. This study aimed to test control scenarios at a national scale by considering the many transmission routes and movements of live animals. Pig movements from 2017-2020 provided by the French national pig traceability database (BDporc) were analysed. Exponential random-graph models were fitted for three subsets defined by the type of animals transported (sows, piglets or growing pigs) to estimate probabilities of contact between farms. The results were validated using cross validation of goodness-of-fit analysis and maps. The estimated contact probabilities and general characteristics of farms were used to build a demographic model that simulated pig movements at three levels – between pens, between production sectors and between farms – according to a deterministic schedule, but with random destinations weighted by the contact probabilities. Finally, the simulated dynamics were used to feed a multi-level stochastic epidemiological model that simulated within- and between-farm transmission. The prevalence of hepatitis E virus -positive pigs shipped to the slaughterhouse was estimated for different control scenarios to evaluate the effectiveness of biosecurity measures implemented at the farm level.

## INTRODUCTION

L'hépatite E est une zoonose infectieuse. A l'origine de formes sévères d'hépatites chez l'homme, elle est reconnue comme un problème majeur de santé publique à travers le monde. Les voies de contamination humaines sont multiples allant de l'eau à la consommation de viande, en passant par les transfusions. Majoritairement transmise par l'eau contaminée dans les pays en développement, les cas humains étaient jusqu'alors restés sporadiques dans les pays industrialisés ayant un réseau d'eau bien entretenu (Park *et al.*, 2016). Cependant, suite à l'accroissement de la sensibilisation et performances des tests diagnostiques, le nombre de cas humains détectés a fortement augmenté dans les pays européens et plus particulièrement en France, Allemagne et Angleterre au cours de la dernière décennie (Preiss *et al.*, 2006; Ricci *et al.*, 2017). Des études phylogénétiques ont mis en évidence la prépondérance des contaminations dues à la consommation de viande de porc contaminée insuffisamment cuite (Colson *et al.*, 2010; Pavio *et al.*, 2017).

Comme la maladie est asymptomatique chez les porcs et qu'il ne s'agit pas d'une maladie réglementée, le virus a circulé silencieusement et est désormais répandu dans de nombreuses exploitations européennes (Ricci *et al.*, 2017). On estime qu'en France 65% des élevages sont contaminés (Rose *et al.*, 2011). Sans aucun impact sur la production, il est difficile de convaincre les éleveurs de mettre en œuvre des mesures spécifiques. Il est alors essentiel d'évaluer l'impact de la biosécurité afin d'axer les recommandations sur les mesures les plus efficaces, limitant ainsi le risque d'introduction d'animaux infectés dans la chaîne alimentaire. Chez les porcs, la voie fécale-orale est la principale voie de transmission du virus de l'hépatite E (VHE). Les contaminations ont principalement lieu par contact direct au sein d'une même case (Andraud *et al.*, 2013). Dans une moindre mesure, l'accumulation de fèces et d'urine contaminés dans l'environnement des porcs est aussi responsable de la transmission et de la persistance du VHE intra- et inter-cases et doit être prise en compte.

Les mouvements d'animaux vivants sont connus pour être un facteur de risque majeur de l'émergence et de la propagation des maladies infectieuses porcines de par leur capacité à déplacer des animaux infectés (Drew, 2011; Fèvre *et al.*, 2006; Lentz *et al.*, 2016). Les animaux sont déplacés au fil du temps d'une unité de production à une autre, soit au sein d'une même exploitation, soit d'une exploitation à une autre, et sont finalement envoyés à l'abattoir. Très structurés dans l'espace et dans le temps, les mouvements de porcs forment un réseau complexe qu'il est important de bien comprendre pour prédire la circulation de pathogènes au sein de la filière (Salines *et al.*, 2017).

Le calendrier des déplacements des animaux suit des règles strictes, avec un temps de séjour spécifique pour chaque secteur défini par le système d'élevage. Or, si le calendrier des mouvements est déterministe, la destination des animaux est laissée au choix de l'éleveur et peut varier dans le temps. Il a été montré par le passé que la fidélité des partenaires commerciaux agricoles est quelque peu volatile (Salines *et al.*, 2017), par conséquent, même si la topologie/structure du réseau est stable dans le temps, les mouvements entre exploitations changent. Le réseau observé au temps  $t$  aura la même topologie que le réseau observé au temps  $t+1$  mais pourrait être composé d'un ensemble différent de mouvements entre exploitations. Bien que des méthodes d'analyse de réseaux dynamiques aient

été développées, elles ne permettent pas simuler des réseaux prenant en compte le calendrier d'élevage de chaque exploitation. L'identification des facteurs clés qui déterminent les choix des agriculteurs en matière de partenariats commerciaux pourrait fournir des informations pertinentes pour générer des connexions aléatoires mais réalistes au sein de la chaîne de production. De tels réseaux peuvent être utilisés pour alimenter des outils de simulation spatio-temporels tels que les modèles épidémiologiques en améliorant considérablement leurs capacités de prédiction. Ces outils contribuent de manière significative à la prévision des épidémies et à l'amélioration de la surveillance et du contrôle épidémiologiques (Andraud et Rose, 2020). Les modèles de graphes aléatoires exponentiels (ERGMs) sont une classe de modèles basés sur l'analyse statistique des paramètres du réseau. En spécifiant la distribution de probabilité pour un ensemble de réseaux aléatoires, il permet de mettre en évidence les chaînes de contact les plus probables dans une population structurée. Ce sont des outils appropriés pour analyser les interactions entre exploitations agricoles en prenant en compte à la fois la structure des réseaux et les caractéristiques des exploitations et des mouvements (Kukielka *et al.*, 2017; Relun *et al.*, 2017).

Différents types de modèles épidémiologiques peuvent être utilisés pour simuler simultanément les différentes voies de transmission du VHE ainsi que la mobilité animale (Picault *et al.*, 2019; Widgren *et al.*, 2019). L'utilisation du package SimInf a déjà fait ses preuves pour simuler la diffusion du VHE intra- et inter- élevages dans les élevages naisseurs-engraisseurs conduit en sept bandes d'une communauté agricole de Bretagne (Salines *et al.*, 2020). Cette étude a ainsi eu pour objectif de simuler la diffusion du VHE dans la filière porcine française nationale prenant en compte neuf types d'élevages différents ainsi que cinq systèmes de conduite en bandes selon des paramètres épidémiologiques définis pour chaque élevage à l'échelle de l'unité de production (gestation, naissance, post-sevrage, engraissement). Une analyse de réseau complexe a été mise en œuvre afin d'alimenter un modèle démographique simulant la dynamique de population à l'échelle nationale. La filière a été représentée comme une métapopulation constituée de cases (sous-populations), agrégées en salles, unités et exploitations. Les dynamiques de population ainsi simulées ont permis d'alimenter un modèle épidémiologique simulant la transmission virale intra-élevage et au sein de la filière. Les sorties épidémiologiques de deux scénarii extrêmes (avec ou sans co-infection immunomodulatrice) ont été comparées. L'outil développé inclut des paramètres épidémiologiques définis à l'échelle de la case, du secteur de production et de l'élevage. L'analyse de l'impact de différents jeux de paramètres épidémiologiques sur la proportion de porcs infectieux arrivant à l'abattoir permettra d'évaluer l'efficacité des mesures de biosécurité en élevage et ainsi de réduire les infections alimentaires dues au VHE.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Analyse de réseau complexe

Des informations sur plus de 28 000 exploitations et quatre années de mouvements d'animaux (2017 et 2020) provenant d'une extraction de la base de données nationale française de traçabilité des porcs (BDporc) ont été utilisées. Ces données ont été analysées afin de mieux comprendre la structure de la filière et le réseau de contacts entre les différents acteurs. Une

première analyse de réseau classique a été réalisée à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2020) et plus particulièrement des packages igraph (Csardi et Nepusz, 2006) et statnet (Pavel N. Krivitsky *et al.*, 2003). Ensuite, partant du principe que les mouvements des truies, des porcelets et des porcs en croissance étaient soumis à des paramètres différents, du fait de leurs rôles au sein de la filière, nous avons divisé le réseau global en trois sous-réseaux qui ont été analysés indépendamment les uns des autres. Une analyse plus avancée du réseau a été effectuée, utilisant des ERGMs afin d'estimer les paramètres clés des mouvements et les probabilités de contact entre élevages pour chacun de ces sous-réseaux. Ces modèles sont des régressions logistiques modifiées visant à expliquer un réseau donné à partir de sa topologie et des caractéristiques intrinsèques des nœuds et des liens. Pour un réseau donné, nous avons considéré comme variables explicatives des mouvements entre les élevages : le nombre de mouvements dans le réseau, la distance entre les exploitations, et diverses caractéristiques des élevages telles que le type, le groupement, la taille, la présence d'une partie de l'élevage en plein air, le système de conduite en bande et la localisation sur le continent ou en Corse.

Une procédure de sélection pas à pas bidirectionnelle, ajoutant et supprimant successivement des covariables aux modèles, a été utilisée pour sélectionner le modèle le plus parcimonieux pour chaque sous-réseau en comparant les critères d'information d'Akaike (AIC, mesure de la qualité d'un modèle statistique). Pour chaque type d'animaux, leurs probabilités de mouvements entre toutes les paires d'élevages ont été estimées à partir des modèles ajustés. Les modèles ont été validés en évaluant la qualité de l'ajustement, par validation croisée et par comparaison de cartes sur différentes périodes. Cette analyse a été principalement effectuée à l'aide du package ergm (Hunter *et al.*, 2008).

## 1.2. Modèle démographique

Un modèle méta-populationnel précédemment développé pour des élevages naisseurs-engraisseurs en sept bandes (Salines *et al.*, 2020) a été étendu afin de simuler la dynamique de population. Pour améliorer la flexibilité du modèle, les paramètres responsables de la dynamique à l'intérieur des exploitations ont été fixés indépendamment pour chaque exploitation. Ce paramétrage permet ainsi de prendre en compte la structure de l'exploitation (type de l'élevage et taille des unités de production) et le calendrier d'élevage défini par le système de conduite en bandes, ainsi que les probabilités de contacts avec les autres exploitations estimées par l'analyse de réseau complexe. Le modèle simule les déplacements d'animaux à l'échelle de la case, priorisant les mouvements intra-élevage. Dans le cas d'un nombre de places insuffisant, l'élevage de destination des animaux est défini en fonction du type d'animal transporté et des probabilités de contacts estimées pour chaque élevage. Le modèle démographique permet donc de simuler des mouvements stochastiques entre cases intra- et inter-élevages selon une horloge déterministe.

## 1.3. Modèle épidémiologique

Le modèle épidémiologique a été développé à partir d'un modèle compartimental en temps discret (Salines *et al.*, 2020). Pour chaque case et à chaque pas de temps (jour), une variable environnementale définissant la charge virale dans l'environnement est estimée et les animaux sont répartis entre 5 stades épidémiologiques : porteurs d'anticorps maternels,

susceptibles, exposés, infectés et guéris. Les transitions entre ces stades sont principalement déterminées par trois taux de transmission : le taux de transmission directe, le taux de transmission environnementale au sein de la case et le taux de transmission environnementale entre cases. La diffusion du virus a été simulée sur la base de l'algorithme de Gillespie à l'aide du logiciel R et du package SimInf (R Core Team, 2020; Widgren *et al.*, 2019).

Pour l'application et une première exploration des sorties du modèle, deux scénarios extrêmes ont été simulés. L'un considérant les paramètres épidémiologiques classiques estimés pour le VHE, l'autre considérant des taux de transmission plus élevés estimés chez des animaux co-infectés par des virus immunomodulateurs (Salines *et al.*, 2019), et ce pour l'ensemble des élevages. Pour chaque scénario, cinq simulations épidémiologiques ont été réalisées. Chaque simulation a été initialisée considérant un à cinq animaux infectieux dans 10% des élevages choisis aléatoirement. La prévalence sur cinq ans des animaux transportés dans les 159 abattoirs de la filière a été estimée.

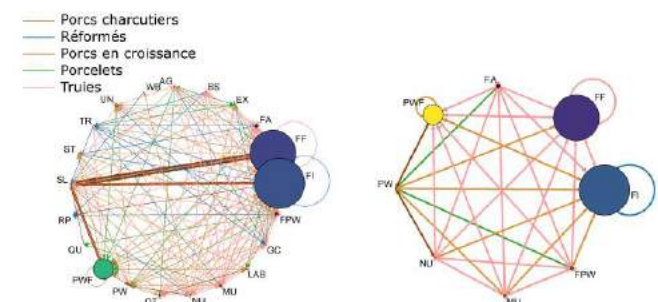
## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Analyse de réseau complexe

#### 2.1.1. Analyse descriptive du réseau

L'analyse descriptive du réseau montre une grande diversité d'acteurs dans la filière avec une surreprésentation des élevages naisseurs-engraisseurs et engraisseurs (Figure 1).

La plupart des mouvements vont vers les abattoirs (75,8%), les élevages (19%) et les centres de rassemblement (4%). Les truies (flèches roses) représentent la principale catégorie animale impliquée dans les mouvements entre exploitations (35% des mouvements), suivies des porcelets (flèches vertes, 32%) et des porcs en croissance (flèches oranges, 30%). Les principales tendances observées sont l'export de porcs charcutiers (flèches marrons) depuis les naisseurs-engraisseurs (FF, 34,26%), engraisseurs (FI, 15,24%) et post-sevresseurs-engraisseurs (PWF, 13,73%) vers les abattoirs (SL).



**Figure 1** – Réseaux dirigés des mouvements de porcs en France agrégés par type d'élevage. Quantité (épaisseur de flèche) d'animaux échangés entre les différents acteurs (couleurs de cercle) par type d'animaux (couleur de flèche) : réseau total (à gauche), réseau entre exploitations (à droite). La taille des cercles correspond à la quantité d'acteurs dans la filière (ex : quantité d'abattoirs).

#### 2.1.2. Analyse de la série temporelle

L'analyse des statistiques des trois sous-réseaux selon différentes fenêtres temporelles supporte l'hypothèse d'une certaine stabilité structurelle dans le temps malgré une variation dans les contacts observés. En d'autres termes, pour

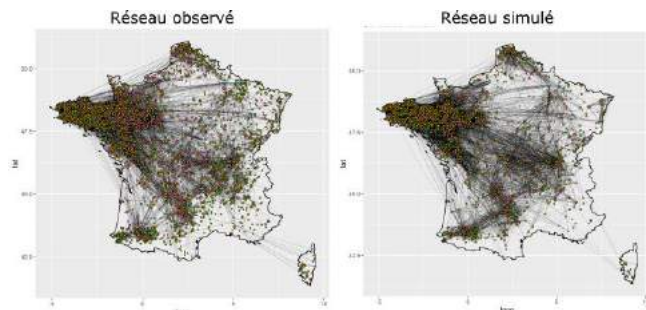
une période donnée, tout en étant composés de mouvements différents, les réseaux présentaient la même structure et les mêmes propriétés globales. Ceci confirme l'hypothèse d'une absence de saisonnalité, permettant ainsi de définir la période d'étude pour l'analyse complexe uniquement en fonction de la chaîne de production. Une durée de six mois a été retenue pour permettre l'occurrence de contacts multiples.

### 2.1.3. Ajustement des ERGMs

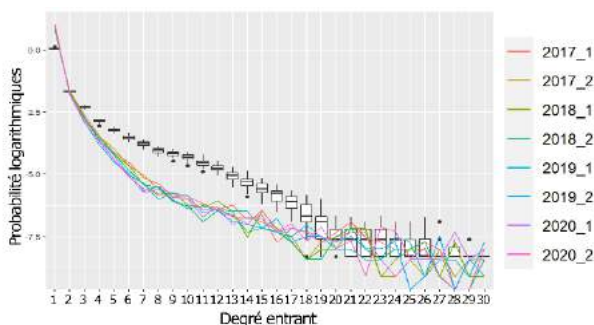
Les modèles sélectionnés pour les sous-réseaux basés sur les transports de truies, porcelets et porcs en croissance contenaient respectivement 98, 70 et 96 covariables significatives. Treize statistiques de réseau étaient communes aux trois sous-réseaux ; elles comprenaient le nombre de mouvements dans le réseau, diverses influences des différents groupements (principalement liés aux échanges privilégiés au sein même des groupements), les mouvements spécifiques des sélectionneurs vers les naisseurs-engraisseurs et l'implication des élevages de post-sevrage-engraisseurs. Aucun des modèles sélectionnés n'incluait l'effet de la distance, cependant les réseaux simulés reproduisent fidèlement la distribution spatiale des mouvements. Les ERGMs sélectionnés ont montré une bonne qualité de l'ajustement pour les trois sous-ensembles de mouvements.

## 2.2. Simulation démographique

Les réseaux simulés par le modèle démographique présentent une distribution spatiale cohérente des mouvements ainsi qu'une qualité correcte de l'ajustement des statistiques de réseau (Figures 2 et 3). De plus, le nombre annuel moyen d'animaux envoyés à l'abattoir simulé était cohérent avec la réalité.



**Figure 2** – Cartographie du réseau de mouvements d'animaux observé dans l'industrie porcine française en 2019 et d'un réseau simulé.



**Figure 3** – Distributions des degrés entrants des réseaux de mouvements d'animaux semestriels observés entre 2017 et 2019 dans l'industrie porcine française et de réseaux simulés.

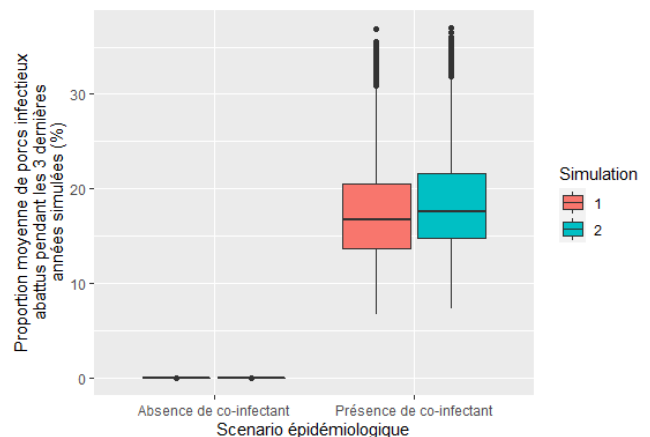
## 2.3. Simulations épidémiologiques

Les prévalences estimées pour une filière sans animal co-infecté avec un virus immunomodulateur sont proches de zéro pour tous les abattoirs quelque soit le réseau simulé ou la simulation épidémiologique.

Les prévalences quotidiennes moyennes estimées pour une filière où tous les animaux seraient co-infectés avec un virus immunomodulateur sont d'en moyenne 18% [intervalle de confiance à 95%: 2 – 35], ne varient pas significativement selon le réseau simulé, par contre, on observe une variation plus marquée que ce soit entre les simulations épidémiologiques (prevalence variant de 0 à 35%) et entre les abattoirs (prevalence variant de 0 à 45%) (Figure 4).

Une enquête de terrain a montré qu'en moyenne 4% des porcs envoyés à l'abattage en 2009 étaient positifs au VHE sans distinction entre les élevages co-infectés et indemnes de virus immunomodulateurs (Rose *et al.*, 2011). Les prévalences estimées dans deux scénarios extrêmes, avec des prévalences moyennes allant de 0,02% dans le cadre du scenario épidémiologique de base à 18% dans le scenario considérant la totalité des animaux comme co-infectés, pourraient correspondre à une réalité de terrain où environ 30% des animaux de la filière seraient co-infectés par un virus immunomodulateur. La comparaison de simulations à partir de différents réseaux supporte l'hypothèse de stabilité du réseau malgré la stochasticité induite par l'utilisation de probabilités de contact estimées ainsi que son effet mineur sur les sorties épidémiologiques.

Néanmoins, la modification des paramètres épidémiologiques affecte significativement les prévalences obtenues et souligne l'intérêt d'étudier les effets indépendants et en interaction des différents paramètres du modèle afin de mettre en évidence les facteurs influençant significativement la prévalence de porcs contaminés au stade de l'abattage.



**Figure 4** – Prévalence moyenne parmi les animaux reçus dans tous les abattoirs du pays pendant les 3 dernières années simulées. Gauche : tous les élevages sont indemnes de co-infectants ; Droite : tous les élevages sont co-infectés par un virus immunomodulateur.

## CONCLUSION

Cette étude propose une approche globale et un outil très flexible pour simuler la dynamique des populations et la propagation des maladies au sein de ce réseau. Les ERGMs sont apparus comme des outils appropriés pour analyser les interactions entre élevages. Une fois calibrés, les ERGMs permettent de générer des mouvements à partir d'une liste



d'élevages structurés comme seule donnée d'entrée. Par conséquent, en plus de l'amélioration non négligeable des capacités de prédiction du modèle global, cela contribuera à faciliter l'initialisation future du modèle. De plus, la grande flexibilité dans la structure des exploitations permet de tester un large panel de mesures sur différentes communautés agricoles. L'application du modèle épidémiologique au virus de l'hépatite E montre une transmission inter-élevage relativement faible du fait de la voie principale de transmission (oro-fécale). Dans le projet BIOPIGEE, les résultats épidémiologiques de simulations plus avancées devraient être utilisés pour alimenter un modèle d'évaluation quantitative du risque microbiologique afin d'évaluer le risque d'exposition humaine au VHE à travers les produits porcins. Les premiers résultats obtenus et basés sur la comparaison de scénarios

extrêmes (présence ou absence à l'échelle nationale d'un virus co-infectant immunomodulateur) montrent que la présence de virus immunomodulateur amplifie nettement la prévalence observée à l'abattoir. Ce résultat suggère la nécessité de la prise en compte de données fiables concernant la co-circulation de virus potentiellement immunomodulateurs (dont essentiellement le SDRP) pour une évaluation du risque VHE précise à l'échelle de la filière.

## FINANCEMENTS

Ce travail a été financé par un programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne, dans le cadre de la convention de subvention n° 773830 : One Health European Joint Programme. BIOPIGEE

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andraud M., Dumarest M., Cariolet R., Aylaj B., Barnaud E., Eono F., Pavio N., Rose N., 2013. Direct contact and environmental contaminations are responsible for HEV transmission in pigs. *Vet Res*, 44, 102.
- Andraud M., Rose N., 2020. Modelling infectious viral diseases in swine populations: a state of the art. *Porc Health Manag*, 6, 22.
- Colson P., Borentain P., Queyriaux B., Kaba M., Moal V., Gallian P., Heyries L., Raoult D., Gerolami R., 2010. Pig Liver Sausage as a Source of Hepatitis E Virus Transmission to Humans. *J Infect Dis*, 202, 825-834.
- Csardi G., Nepusz T., 2006. The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695p.
- Drew T.W., 2011. The emergence and evolution of swine viral diseases: to what extent have husbandry systems and global trade contributed to their distribution and diversity? *Rev Sci Tech*, 30, 95-106.
- Fèvre E.M., Bronsvoort B.M. de C., Hamilton K.A., Cleaveland S., 2006. Animal movements and the spread of infectious diseases. *Trends Microbiol*, 14, 125-131.
- Hunter D.R., Handcock M.S., Butts C.T., Goodreau S.M., Morris M., 2008. ergm: A Package to Fit, Simulate and Diagnose Exponential-Family Models for Networks. *J Stat Softw*, 24 (3), 1-29.
- Kukielka E.A., Martínez-López B., Beltrán-Alcrudo D., 2017. Modeling the live-pig trade network in Georgia: Implications for disease prevention and control. *PLoS One*, 12 (6), e0178904.
- Lentz H.H.K., Koher A., Hövel P., Gethmann J., Sauter-Louis C., Selhorst T., Conraths F.J., 2016. Disease Spread through Animal Movements: A Static and Temporal Network Analysis of Pig Trade in Germany. *PLoS One*, 11 (5), e0155196.
- Park W.-J., Park B.-J., Ahn H.-S., Lee J.-B., Park S.-Y., Song C.-S., Lee S.-W., Yoo H.-S., Choi I.-S., 2016. Hepatitis E virus as an emerging zoonotic pathogen. *J Vet Sci*, 17, 1-11.
- Pavel N. Krivitsky, M.S.H., Hunter, D.R., Butts, C.T., Klumb, C., Goodreau, S.M., Morris, M., 2003. statnet: Software tools for the Statistical Modeling of Network Data. Statnet Development Team.
- Pavio N., Doceul V., Bagdassarian E., John R., 2017. Recent knowledge on hepatitis E virus in Suidae reservoirs and transmission routes to human. *Vet Res*, 48, 78.
- Picault S., Huang Y.-L., Sicard V., Arnoux S., Beaunée G., Ezanno P., 2019. EMULSION: Transparent and flexible multiscale stochastic models in human, animal and plant epidemiology. *PLoS Comput Biol*, 15, e1007342.
- Preiss J.C., Plentz A., Engelmann E., Schneider T., Jilg W., Zeitz M., Duchmann R., 2006. Autochthonous hepatitis E virus infection in Germany with sequence similarities to other European isolates. *Infection*, 34, 173-175.
- R Core Team, 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Relun A., Grosbois V., Alexandrov T., Sánchez-Vizcaíno J.M., Waret-Szkuta A., Molia S., Etter E.M.C., Martínez-López B., 2017. Prediction of Pig Trade Movements in Different European Production Systems Using Exponential Random Graph Models. *Front Vet Sci*, 4, 27.
- Ricci A., Allende A., Bolton D., Chemaly M., Davies R., Fernandez Escamez P.S., Herman L., Koutsoumanis K., Lindqvist R., Nørrung B., Robertson L., Ru G., Sanaa M., Simmons M., Skandamis P., Snary E., Speybroeck N., Ter Kuile B., Threlfall J., Wahlström H., Di Bartolo I., John R., Pavio N., Rutjes S., van der Poel W., Vasickova P., Hempen M., Messens W., Rizzi V., Latronico F., Girones R., 2017. Public health risks associated with hepatitis E virus (HEV) as a food-borne pathogen. *EFSA Journal*, 15, e04886.
- Rose N., Lunazzi A., Dorenlor V., Merbah T., Eono F., Eloit M., Madec F., Pavio N., 2011. High prevalence of Hepatitis E virus in French domestic pigs. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*, 34, 419-427.
- Salines M., Dumarest M., Andraud M., Mahé S., Barnaud E., Cineux M., Eveno E., Eono F., Dorenlor V., Grasland B., Bourry O., Pavio N., Rose N., 2019. Natural viral co-infections in pig herds affect hepatitis E virus (HEV) infection dynamics and increase the risk of contaminated livers at slaughter. *Transbound Emerg Dis*, 66, 1930-1945.
- Salines M., Andraud M., Rose N., 2017. Pig movements in France: Designing network models fitting the transmission route of pathogens. *PLoS ONE*, 12, e0185858.
- Salines M., Andraud M., Rose N., Widgren S., 2020. A between-herd data-driven stochastic model to explore the spatio-temporal spread of hepatitis E virus in the French pig production network L. Pujó-Menjouet, éd. *PLoS ONE*, 15, e0230257.
- Widgren S., Bauer P., Eriksson R., Engblom S., 2019. SimInf: An R Package for Data-Driven Stochastic Disease Spread Simulations. *Journal of Statistical Software*, 91, 1-42.





# Modélisation de la propagation de la peste porcine africaine : appui scientifique auprès des décideurs

*Mathieu ANDRAUD (1), Pachka HAMMAMI (1), Brandon Hayes (2), Timothée Vergne (3), Gustavo Machado (4),  
Nicolas ROSE (1)*

*(1) ANSES, UR EpiSaBE, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, 22440 Ploufragan, France*

*(2) UMR INRA-ENVT 1225 IHAP, ENVT, 31076 Toulouse, France*

*(3) NC State University, Raleigh, Etats-Unis*

*mathieu.andraud@anses.fr*

## **Modélisation de la propagation de la peste porcine africaine : appui scientifique auprès des décideurs**

La peste porcine africaine (PPA) représente une menace majeure pour la production porcine avec de lourdes conséquences économiques pour les éleveurs et l'industrie alimentaire. La propagation du virus à travers l'Europe soulève clairement la question de l'identification des voies de transmission et de leur contribution relative afin de fournir des informations aux parties prenantes pour une surveillance adaptée et des mesures de contrôle pertinentes. Un modèle de simulation a été développé pour évaluer la propagation de la peste porcine africaine dans le réseau commercial des porcs en France. La conception du modèle a été basée sur les données brutes des mouvements et les caractéristiques réelles des exploitations (BDPORC). Une approche métapopulationnelle a été envisagée avec une transmission au niveau de l'élevage pouvant conduire à une propagation externe vers des élevages épidémiologiquement reliés. Trois voies de transmission ont été considérées : une transmission locale (vecteur passif de transmission), le déplacement d'animaux des sites infectés vers les sites sensibles et le transit de camions sans échange physique d'animaux. La surveillance était basée sur des seuils de détection de prévalence et de mortalité, déclenchant un contrôle strict des mouvements dans un rayon de 10 km autour des sites détectés. En l'absence de mesure de contrôle, 70% des simulations ont conduit à des infections secondaires avec un nombre médian de 10 élevages infectés. La transmission via le transit des camions s'est avérée anecdotique, les mouvements physiques des animaux étant prépondérants. La détection et le contrôle n'ont pas modifié la distance moyenne de propagation de l'infection. Les mesures de contrôle ont néanmoins été efficaces, réduisant de 50 % la proportion de simulations menant à une infection secondaire, avec un seul élevage infecté secondairement en moyenne.

## **Modelling African Swine Fever spread: scientific support for decision makers**

African Swine Fever (ASF) represents the main threat to swine production, with heavy economic consequences for both farmers and the food industry. The spread of the virus that causes ASF through Europe raises the issues of identifying transmission routes and assessing their relative contributions in order to provide insights to stakeholders for adapted surveillance and control measures. A simulation model was developed to assess ASF spread over the commercial swine network in France (BDPORC). The model was designed from raw movement data and actual farm characteristics. A metapopulation approach was used, with transmission processes at the herd level potentially leading, through a reaction-diffusion process, to external spread to epidemiologically connected herds. Three transmission routes were considered: local transmission (e.g. fomites, material exchange), movement of animals from infected to susceptible sites, and transit of trucks without physical animal exchange. Surveillance was based on prevalence and mortality detection thresholds, which triggered strict movement control in a 10-km radius around detected sites. Truck transit transmission was found to be sporadic, unlike physical movement of animals. Surveillance and control did not modify the geographic spread of the infection. While the absence of control measures led to secondary infections in 70% of the simulations, with a median of 10 infected herds, use of control measures reduced this percentage by half, with a mean of only one secondarily infected herd.

## INTRODUCTION

Les maladies infectieuses représentent une préoccupation majeure pour les productions animales en raison des impacts économiques et sociétaux associés aux conséquences sanitaires animales et/ou en santé publique. Au cours de la dernière décennie, la peste porcine africaine (PPA) est devenue la principale préoccupation de l'industrie porcine européenne et asiatique et plus récemment de l'Amérique du Nord en raison de sa réintroduction dans les Caraïbes (Amat *et al.*, 2021). Après son introduction en Géorgie en 2007, la PPA s'est progressivement répandue en Europe et est désormais considérée comme enzootique dans certains pays (Chenais *et al.*, 2019). À ce jour, seuls deux pays qui avaient été infectés par le virus de la PPA ont retrouvé leur statut de pays indemne : la Belgique et la République tchèque. Récemment, une introduction du virus dans la population de sangliers à la frontière germano-polonaise a été détectée (Sauter-Louis *et al.*, 2021). Cet épisode épidémiologique est toujours en cours avec une expansion géographique en Allemagne malgré la mise en place de mesures de contrôle. Bien que limité à la faune sauvage pendant environ 10 mois après l'introduction, un premier cas a été détecté chez des porcs domestiques en juillet 2021. Il est nécessaire de comprendre les modes de propagation des agents infectieux à l'échelle locale et globale pour concevoir des mesures de contrôle pertinentes. L'identification des voies de transmission des agents pathogènes et l'évaluation de leurs rôles respectifs dans le processus de transmission sont essentielles (Andronico *et al.*, 2019). Au sein d'un élevage, les contacts entre les individus et l'environnement contribuent à la transmission des agents pathogènes. L'étude de la transmission des maladies animales à grande échelle géographique nécessite la prise en compte de structures de contact supplémentaires, telles que les mouvements d'animaux et les contacts indirects par le biais du transport ou de la proximité géographique/sociale entre les acteurs (Galvis *et al.*, 2021).

La conjoncture de la PPA en Europe démontre le risque permanent d'introduction du virus dans des zones indemnes et la nécessité de développer des outils prédictifs pour évaluer les conséquences d'une telle introduction et la réactivité des protocoles de surveillance mis en place. En se basant sur une analyse du réseau de contacts lié aux mouvements d'animaux, une étude précédente a démontré l'intérêt d'une approche de modélisation mathématique pour une surveillance ciblée sur les élevages les plus à risque au sein de la filière de production porcine en France (Andraud *et al.*, 2019). La présente étude vient compléter ce cadre de modélisation par l'intégration de données des mouvements réels observés. Un modèle original de métapopulation a ainsi été développé, alimenté par des données observées de mouvements, et paramétré selon les caractéristiques épidémiologiques de la PPA. Le modèle, développé sous la forme d'une application utilisable par les décideurs, permet d'évaluer sous l'hypothèse de l'introduction du virus sur le territoire, l'étendue de la propagation potentielle parmi les élevages de porcs domestiques en France, ainsi que l'efficacité des stratégies de surveillance et de contrôle.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Données

Les données utilisées dans le cadre de ces travaux sont extraites de la base de données BDPORC (Salines *et al.*, 2018). A ce jour, nous avons contracté une convention avec l'association pour

une extraction annuelle des données. Nous disposons de deux bases de données. La première fournit les informations liées aux sites de production, telles que la géolocalisation, et le type de production et le nombre de places par catégorie d'animaux. Les élevages sont majoritairement de type naisseur-engraisseurs ou engraisseurs. Cependant, ces derniers ont une capacité relativement faible en comparaison des élevages de post-sevrage, qui distribuent leurs animaux dans plusieurs sites d'engraissement. La seconde correspond à la collecte des mouvements entre sites et vers les abattoirs. La dernière extraction dont nous disposons couvre la période allant du 01/01/2017 au 31/12/2019, référencant 12 730 sites actifs, i.e. effectuant au moins un transfert d'animaux vers un autre site de production, avec environ 230 000 mouvements.

### 1.2. Modèle épidémiologique

#### 1.2.1. Modèle de propagation intra-élevage

Au sein de l'élevage dont la taille est définie par le nombre de places enregistrées dans la base de données BDPORC, la population est supposée homogène. Le modèle est un modèle SEIR selon lequel les individus évoluent dans les stades sensible, exposé (infecté mais non infectieux), infectieux, et retiré (mort). Le taux de transmission, dénoté  $\beta$  et correspondant au nombre moyen de nouvelles infections produites quotidiennement par un individu infectieux, est identique pour tous les élevages, l'utilisateur peut cependant le faire varier dans une gamme de valeurs réaliste définie dans la littérature scientifique (Guinat *et al.*, 2016; Hayes *et al.*, 2021).

#### 1.2.2. Modèle de propagation inter-élevage

Le modèle prend en compte différentes voies de transmission dont les paramètres peuvent être modifiés par l'utilisateur.

##### Transmission locale

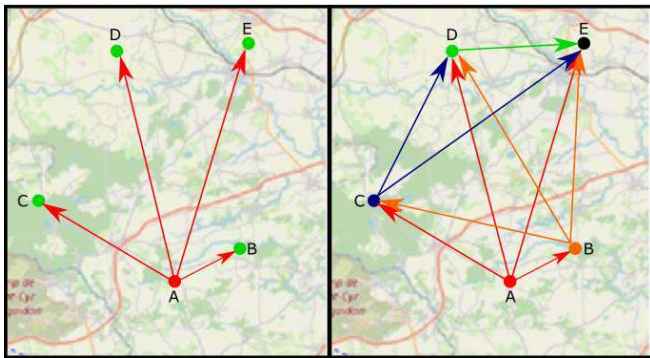
Ce mode de transmission représente les contacts indirects entre les élevages dans un rayon de proximité (500 m). Ce type de transmission peut faire référence au partage de matériel, au facteur humain, au passage de véhicules. Le taux de transmission  $\beta_{Loc}$  est modélisé selon une loi normale, en fonction de la distance ( $d_{i,j}$ ) entre l'élevage infecté ( $i$ ) et les élevages du voisinage  $j$ . La force d'infection ( $\lambda_{Loc}$ ) exercée par un élevage infecté ( $i$ ) sur un élevage sensible  $j$ , est supposée proportionnelle au nombre d'animaux infectés ( $I_i$ ) dans l'élevage source  $i$ :  $\lambda_{Loc}(j) = \beta_{Loc}(d_{i,j}) I_i$ . A chaque pas de temps, la probabilité d'infection ( $\pi_{Loc}$ ) à laquelle sont soumis les animaux de l'élevage  $j$  est donc définie par  $\pi_{Loc}(j) = 1 - \exp(-\lambda_{Loc}(j))$ . Un élevage est considéré infectieux dès lors qu'un individu est infecté, le processus SEIR intra-élevage est alors initié.

##### Transmission par contact

Deux types de contacts ont été considérés prenant en compte le transfert effectif des animaux d'un site à un autre (Figure 1, à gauche), mais également le contact indirect via les opérateurs de transport lors de tournées complexes (Figure 1, à droite).

Les contacts entre les élevages tiennent compte de la temporalité ainsi que du nombre d'animaux transférés. Les mouvements issus d'un élevage infecté sont une voie importante de transmission. Pour chaque mouvement déclaré, les individus transférés sont tirés aléatoirement dans la population totale de l'élevage, indépendamment de leurs statuts infectieux. Ils sont alors intégrés dans la population cible et remplacés dans la population source par des individus sensibles. En l'absence d'infection, la population de chaque

élevage est considérée constante, sans prise en compte de la démographie. Un élevage est considéré comme infecté dès lorsqu'un individu infectieux est intégré dans l'élevage. Le processus intra-élevage est alors initié.



**Figure 1** – Illustration des conceptions des réseaux de mouvement des animaux (AIM ; à gauche) et du transit des véhicules de transport (TM ; à droite).

Les mouvements sont en ordre séquentiel avec un premier chargement d'animaux dans la ferme A et des déchargements ultérieurs de sous-groupes d'animaux dans les fermes B, C, D et E. AIM considère les mouvements effectifs d'animaux avec 4 élevages et 4 liens dirigés (de A vers d'autres sites, lignes rouges). En revanche, TM considère le passage du camion sans échange d'animaux entre les sites, reliant le site B à C, D et E (lignes orange), le site C à D et E (lignes bleues), et le site D à E (ligne verte). Lors du passage d'un véhicule de transport dans un élevage infecté, une probabilité, supposée constante, de transmission du virus aux élevages en aval dans la tournée, en l'absence de déchargement d'animaux, est considérée. Lorsqu'un élevage est infecté par ce biais, un individu est considéré infectieux, initiant le processus de transmission intra-élevage.

**1.3. Mesures de surveillance et de maîtrise**

**1.3.1. Surveillance et contrôle**

La PPA étant une maladie de catégorie 1 avec plan d'urgence, le modèle évalue le nombre d'élevages à surveiller sur la base du plan d'urgence français (DGAL/SDSPA/2019-41). Lorsqu'un cas est détecté, des zones de surveillance (ZS) et de protection (ZP) sont mises en place pendant 40 jours dans un rayon de 10 et 3 km respectivement. Tous les élevages situés dans ces deux zones sont surveillés pendant cette période. La notification de la mortalité est obligatoire et induit systématiquement une inspection clinique conduisant à des analyses de laboratoire complémentaires (virologie et sérologie). Des traçages amont et aval sont également réalisés afin d'identifier les contacts qui ont eu lieu jusqu'à 30 jours avant la détection.

Les mesures de contrôle représentées sont basées sur des restrictions de mouvement à partir des fermes détectées, avec un confinement complet pour les élevages identifiés dans les zones de surveillance et de protection ainsi que pour l'ensemble des contacts de l'élevage infecté, de manière similaire à ce qui serait mis en œuvre en cas d'épizootie. Un élevage détecté est considéré comme retiré du processus infectieux dès la détection, faisant l'hypothèse d'un abattage rapide.

**1.4. Simulations**

L'ensemble des paramètres utilisés pour la simulation est présenté dans le tableau 1. A titre d'illustration, ces paramètres ont été choisis dans des intervalles correspondant aux connaissances épidémiologiques de la PPA (Guinat *et al.*, 2016; Halasa *et al.*, 2016). En se basant sur la structure pyramidale de

la filière porcine en France (Salines *et al.*, 2017), les troupeaux ont été répartis en trois catégories correspondant aux élevages sélectionneurs et multiplicateurs (dénommés « Sélection »), aux exploitations de production de type naisseurs et post-sevriers (« Naisseurs »), et aux exploitations ayant un secteur d'engraissement (« Engraisseurs »), incluant les élevages naisseurs-engraisseurs. Pour chacune de ces catégories d'exploitations, 1 000 simulations ont été effectuées, chacune avec un élevage initialement infecté (index) choisi aléatoirement. Chaque simulation pouvait durer jusqu'à 40 jours – correspondant à la durée de maintien des zones de surveillance et de protection – mais était arrêtée dès qu'il n'y avait plus d'élevages infectés dans le système. Pour minimiser le risque d'extinction stochastique, le nombre d'animaux infectieux dans l'élevage index a été fixé à cinq. Enfin, les dates d'introduction de l'infection sont fixées aléatoirement sur les trois années de données de mouvement.

**Tableau 1** – Paramètres du modèle épidémiologique

Définition	Valeurs (références)
Taux de transmission ( $\beta$ )	0,6 (Guinat <i>et al.</i> ,2016)
Taux de transmission locale ( $\beta_{Loc}$ )	0,0001 (Halasa <i>et al.</i> ,2016)
Distance maximale (locale)	500 m
Probabilité de transmission par véhicules	0,05
Période Latente ( $\delta^{-1}$ )	4 jours
Période infectieuse ( $\gamma^{-1}$ )	7 jours

Le scénario de base consistait en une propagation incontrôlée. Bien qu'irréaliste pour une maladie réglementée comme la PPA, ce scénario a été utilisé pour montrer dans quelle mesure un agent infectieux pouvait se propager sur le réseau en tenant compte des données réelles de mouvement.

Deux indicateurs ont été définis pour la détection des foyersF: un seuil de prévalence clinique, défini par une proportion d'individus infectés dans l'élevage, et un seuil de mortalité défini par un nombre d'individus morts (ou Retirés) dans l'élevage. En absence de démographie (natalité et mortalité naturelles), seule la mortalité liée à l'agent pathogène est considérée. Les seuils de détection sont fixés à une prévalence de 1% d'animaux infectés et de cinq animaux morts. Après la première détection, le seuil de mortalité est réduit à un animal pour représenter un protocole de surveillance renforcée. Pour les deux scénarios et pour chaque catégorie d'élevage index, le nombre de simulations où des infections secondaires sont survenues a été enregistré. Pour ces simulations, le nombre d'élevages infectés secondairement, ainsi que la voie de transmission et la distance par rapport à la source d'infection, ont été enregistrés. Le cas échéant, le délai entre l'infection et la détection (période "à risque") pour chaque élevage infecté et détecté a également été analysé.

**2. RESULTATS**

**2.1. Analyse descriptive du réseau de contact**

Le réseau comptabilise 12 397 élevages actifs impliqués dans 268 672 mouvements sur les trois années de données (2017-2019). En considérant les mouvements avec chargements et déchargements d'animaux entre les sites de production, le nombre moyen d'animaux par chargement était de 150 porcs (2,5 - 97,5 percentiles : 1 - 672) et dépendaient de la catégorie de l'élevage source. En effet, les échanges commerciaux provenant des sélectionneurs concernaient principalement de

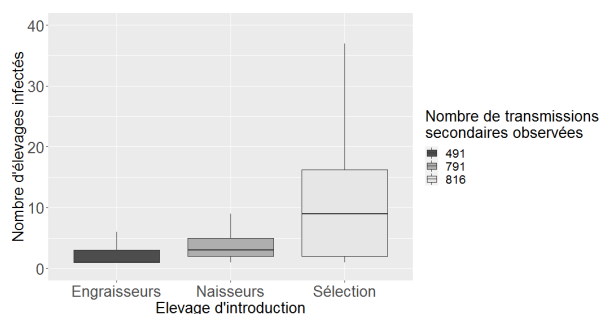
petits groupes d'animaux allant de 1 à 280 porcs (médiane 34), alors que ceux ayant pour origine des élevages naisseurs concernaient des lots souvent plus complets avec une taille médiane de groupe de 208 porcelets ([8 – 830]). Cependant, le degré de sortie (nombre de lien sortants) est plus élevé pour les élevages de sélection avec 195 contacts ([2 - 908]) au cours des trois années.

La prise en compte du transit des camions dans les tournées densifie considérablement la structure des contacts avec jusqu'à 916 271 liens dans le réseau impliquant 12 795 sites de production dans 238 159 tournées. Le rôle des élevages avec des secteurs d'engraissement s'est avéré essentiel, couvrant 75% des sites impliqués dans le réseau en raison des chargements consécutifs dans différentes fermes vers les abattoirs.

## 2.2. Analyse des simulations

### 2.2.1. Scénario 1- absence de mesure de contrôle

Les résultats théoriques en l'absence de mesures de contrôle sont décrits dans la figure 2. En moyenne, environ 70% des simulations ont abouti à des cas secondaires avec un nombre médian de 10 élevages infectés. La transmission était quasi-systématique lorsque l'introduction était fixée dans des élevages de sélection et naisseurs (82 et 79% des simulations respectivement) par rapport aux engraisseurs (49%). Les introductions dans les élevages de sélection ont conduit à des épidémies majeures avec une médiane de 12 cas secondaires, mais pouvant aller jusqu'à 52 foyers.

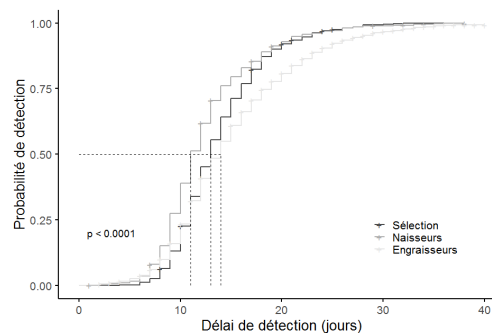


**Figure 2** – Nombre de transmissions secondaires observées et d'élevages infectés en fonction du type d'élevage dans lequel l'introduction est initiée, en l'absence de mesures de contrôle.

Ces cas étaient répartis sur de grandes distances, les infections se produisant jusqu'à 413 km des élevages sources. Les élevages naisseurs et engraisseurs ont propagé l'agent infectieux avec une intensité moindre, affectant un nombre médian de 2 élevages (intervalle de 95% : [1 - 11]) ; les distances étaient également deux fois plus faibles, atteignant 200 km. La transmission par contact direct, du fait de transfert d'animaux, représentait la principale voie de transmission du virus, représentant jusqu'à 85% des événements de transmission. Vient ensuite la transmission par contact indirect dans le voisinage qui, malgré un rayon d'interaction assez faible (500 m), a représenté 14 à 29% des événements selon la catégorie de la ferme d'introduction. Enfin, le rôle des camions de transport, a été mis en cause comme responsable de 10% des cas enregistrés lors des simulations. La transmission par les mouvements d'animaux ou le transit de véhicules s'est faite principalement à une échelle géographique relativement réduite, avec des distances médianes comprises entre 10 et 30 km. Certains mouvements ont néanmoins généré des infections plus lointaines, pouvant atteindre 400 km pour les élevages de sélection.

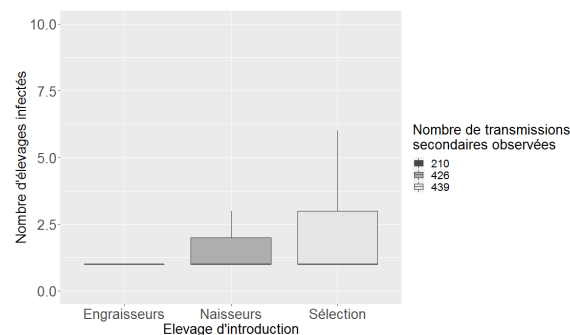
### 2.2.2. Efficacité du protocole de détection et mesures de maîtrise

Le processus de détection, basé sur une prévalence de 1% d'animaux infectés et une mortalité liée à la maladie de 5 animaux, a induit un délai médian de détection de 11 à 14 jours après infection quelle que soit la catégorie de l'élevage index (Figure 3). Les détections les plus précoces ont encore été observées lors de l'introduction dans les élevages naisseurs, à partir du jour 6 post-infection en raison de la taille plus faible des élevages, permettant de remplir plus rapidement les critères de détection. Les élevages avec un secteur d'engraissement ont été la catégorie d'exploitation la plus touchée avec jusqu'à 3171 événements de détection sur l'ensemble des simulations (3 000 itérations).



**Figure 3** – Analyse de survie du délai de détection (le temps écoulé entre l'entrée du virus dans l'élevage et la détection) en fonction du type des élevages infectés

La proportion de simulations avec transmission effective à des cas secondaires est réduite à 21% lorsque l'agent a été introduit dans des élevages d'engraissement, et a été limitée à 43% dans les autres schémas d'introduction (Figure 4).



**Figure 4** – Nombre de transmissions secondaires observées et d'élevages infectés en fonction du type d'élevage dans lequel l'introduction est initiée, avec les mesures de contrôle.

Lorsqu'une transmission a lieu, un seul foyer secondaire est observé quel que soit le lieu d'introduction, mais les élevages de sélection restent potentiellement des points clés de la diffusion, pouvant atteindre jusqu'à 13 élevages, du fait d'une période "à risque" prolongée et des chaînes de contact sortantes (outgoing contact chain) plus importantes. La mise en place de restrictions de mouvements dans les élevages détectés induit une augmentation de la part relative des transmissions par contacts indirects dans le voisinage des élevages infectés.

## CONCLUSION

La PPA représente une menace réelle pour l'industrie porcine et les secteurs économiques connexes. Il est donc nécessaire de se préparer à faire face à une telle menace dans les pays qui en sont encore indemnes. Le développement d'outils prédictifs, basés sur l'évaluation des risques ou sur des modèles

mécanistes, offre un soutien scientifique aux décideurs. Plusieurs modèles mécanistes ont été mis au point pour faire face à l'introduction et à la dissémination potentielles de la PPA, compte tenu du risque accru de propagation mondiale, mis en évidence par son expansion en Europe et en Asie, et maintenant dans les Caraïbes, au cours de la dernière décennie. Une revue récente a identifié quatre objectifs principaux pour ces études (Hayes *et al.*, 2021). Cette étude se situe au carrefour de trois d'entre eux à travers l'évaluation de la contribution des voies de transmission, l'évaluation des conséquences épidémiologiques d'une introduction et l'évaluation de l'efficacité des mesures de contrôle prévues dans le plan d'urgence.

Pour atteindre ces objectifs, un modèle de métapopulation a été développé sous la forme d'une application permettant une utilisation par un large public et pour représenter la propagation de l'agent pathogène au sein des exploitations, combiné à un processus de transmission entre les sites de production basé sur les données de mouvement. Le processus de transmission intra-élevage a été décrit par un modèle stochastique dans une population homogène, dont la taille était basée sur les caractéristiques déclarées par les exploitants. Trois voies de transmission ont été envisagées pour la transmission inter-sites. La transmission par contact direct via les mouvements d'animaux reste la voie dominante. La mise en place de mesures de contrôle, basées sur une restriction des mouvements, induit une augmentation de la contribution relative de la transmission locale, dans l'hypothèse où il n'y a pas de modification des mesures de biosécurité au niveau local en cas d'épizootie. L'évolution de la biosécurité locale, par la sensibilisation de l'ensemble des acteurs, apparaît donc comme un élément clé de la lutte contre la maladie. Bien que jouant un rôle mineur, le transit par camion ne doit pas être négligé et les circuits complexes impliquant plusieurs sites de production doivent être pris en compte dans le système de surveillance.

Le délai entre l'infection et la détection, ou période "à risque", a été analysé en fonction de la sensibilité de la détection dans les fermes infectées. Les seuils de détection (prévalence de 1% et mortalité de cinq animaux) évalués dans cette étude induisent des délais de détection relativement courts avec une médiane entre 11 et 14 jours post introduction. En raison de leur position dans la structure pyramidale du système de

production porcine, la probabilité de détecter en premier les élevages engraisseurs est relativement faible. Ainsi, les seuils pourraient être adaptés en fonction des caractéristiques des élevages, de la densité locale ou de leur connectivité. Bien que la sensibilisation des acteurs locaux (agriculteurs, vétérinaires) soit essentielle pour limiter la propagation de la maladie, il serait difficile de maintenir des niveaux élevés de vigilance - en ce qui concerne les aspects sociaux et sociétaux - pendant une période extrêmement longue, ce qui nécessiterait des ajustements en fonction du niveau de risque.

Notre modèle se concentre sur la dynamique de transmission d'un pathogène sur un réseau de production porcine après une introduction de la maladie parmi les porcs domestiques, avec une application particulière à la PPA. L'introduction en France est néanmoins plus probable chez les sangliers, comme cela a été le cas dans plusieurs pays. Pour analyser le risque d'introduction dans le réservoir de porcs domestiques, l'interface entre les compartiments des sangliers et des porcs domestiques ne peut être ignorée (Hayes *et al.*, 2021). Cela pourrait induire une force externe d'infection, notamment sur les élevages plein-air, déjà été mis en évidence comme point critique pour la surveillance (Andraud *et al.*, 2019).

En conclusion, un modèle de transmission d'agents infectieux dans l'industrie porcine a été développé pour analyser l'efficacité des mesures de surveillance et de contrôle. Alimenté par des données brutes sur les mouvements, le cadre de modélisation est flexible, le processus de transmission étant représenté sur un calendrier en temps réel. Appliqué à la peste porcine africaine, les mouvements d'animaux ont été identifiés comme la principale voie de transmission. La transmission locale et la transmission mécanique par le biais du transit des camions ne doivent pas être négligées et nécessitent une implication de tous les acteurs du système de production.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions les administrateurs de la base de données BDPORC pour le partage des données relatives aux caractéristiques des élevages et aux échanges commerciaux au sein de la filière porcine en France métropolitaine.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amat J.-P., Carles S., Cardinale E., Cauchard J., Dupuy C., Fabala S., Gerbier G., Hénaux V., Lambert Y., Lancelot R., Trévenec C., 2021. Peste porcine africaine (PPA) en République dominicaine : déclaration le 28/07/2021 de deux premiers foyers - Actualisation au 30/07/2021. [https://www.platforme-esa.fr/sites/default/files/2021-07-30\\_PPA-Cara%C3%AFbes-Premiers-foyers.pdf](https://www.platforme-esa.fr/sites/default/files/2021-07-30_PPA-Cara%C3%AFbes-Premiers-foyers.pdf).
- Andraud M., Halasa T., Boklund A., Rose N., 2019. Threat to the French Swine Industry of African Swine Fever: Surveillance, Spread, and Control Perspectives. *Front Vet Sci*, 6, 248.
- Andronico A., Courcoul A., Bronner A., Scoizec A., Lebouquin-Leneveu S., Guinat C., Paul M.C., Durand B., Cauchemez S., 2019. Highly pathogenic avian influenza H5N8 in south-west France 2016-2017: A modeling study of control strategies. *Epidemics*, 28, 100340.
- Chenais E., Depner K., Guberti V., Dietze K., Viltrop A., Stahl K., 2019. Epidemiological considerations on African swine fever in Europe 2014-2018. *Porcine Health Manag*, 5, 6.
- Galvis J.A., Corzo C.A., Prada J.M., Machado G., 2021. Modelling the transmission and vaccination strategy for porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Transboundary and Emerging Diseases*, 00, 1-16.
- Guinat C., Gubbins S., Vergne T., Gonzales J.L., Dixon L., Pfeiffer D.U., 2016. Experimental pig-to-pig transmission dynamics for African swine fever virus, Georgia 2007/1 strain. *Epidemiol Infect*, 144, 25-34.
- Halasa T., Botner A., Mortensen S., Christensen H., Toft N., Boklund A., 2016. Simulating the epidemiological and economic effects of an African swine fever epidemic in industrialized swine populations. *Vet Microbiol*, 193, 7-16.
- Hayes B.H., Andraud M., Salazar L.G., Rose N., Vergne T., 2021. Mechanistic modelling of African swine fever: A systematic review. *Prev Vet Med*, 191, 105358.
- Salines M., Andraud M., Rose N., 2017. Pig movements in France: Designing network models fitting the transmission route of pathogens. *PLoS One*, 12, e0185858.
- Salines M., Andraud M., Rose N., 2018. Importance de la prise en compte des mouvements de porcs pour l'organisation de la surveillance des pathogènes d'intérêt pour la filière porcine : application au virus de l'hépatite E. 50.
- Sauter-Louis C., Forth J.H., Probst C., Staubach C., Hlinak A., Rudovsky A., Holland D., Schlieben P., Goldner M., Schatz J., Bock S., Fischer M., Schulz K., Homeier-Bachmann T., Plagemann R., Klaass U., Marquart R., Mettenleiter T.C., Beer M., Conraths F.J., Blome S., 2021. Joining the club: First detection of African swine fever in wild boar in Germany. *Transbound Emerg Dis*, 68, 1744-1752.



# La supplémentation en acides aminés spécifiques améliore les performances de croissance des porcelets en post-sevrage dans un modèle d'infection naturelle

Mihai-Victor CURTASU (1), Benedict YANIBADA (1), Angel René ALFONSO-AVILA (1,2), Tristan CHALVON-DEMERSAY (3),  
Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1)

(1) Université Laval, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Département des Sciences Animales  
2425 rue de l'Agriculture, Québec, G1V 0A6, Canada

(2) Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD), 120-A chemin du Roy, Deschambault, G0A 1S0,  
Canada

(3) METEX NOOVISTAGO, Paris, France

*mihai-victor.curtasu.1@ulaval.ca*

## La supplémentation en acides aminés spécifiques améliore les performances de croissance des porcelets en post-sevrage dans un modèle d'infection naturelle

Un modèle naturel de challenge a été développé pour imiter la pression des agents pathogènes dans les fermes commerciales et notamment le syndrome dysgénique et respiratoire porcin (SDRP). Suivant la composition en acides aminés (AA) de plusieurs immunoglobulines et protéines de la phase aiguë, un régime témoin a été comparé à un régime enrichi en AA (AA+) (respectivement, +9, 16, 27 et 19 % pour lysine, thréonine, tryptophane et valine). Cinq lots successifs de 60 porcelets de 21 jours d'âge ont reçu les régimes Témoin (N=150) et enrichi en AA+ (N=150) *ad libitum* pendant quatre semaines. Des échantillons de sang ont été récoltés pour des analyses métabolomiques non-ciblées à la fin de chaque lot de post-sevrage. La prise alimentaire individuelle et la consommation d'eau quotidienne ont été mesurées. Les porcs ont été pesés quotidiennement en post-sevrage et ensuite toutes les trois semaines jusqu'à l'abattage. La santé des animaux a été évaluée aux jours 0, 7, 14, 21 et 28 post-challenge. Les résultats ont montré une augmentation du poids corporel en sortie de post-sevrage (+5%,  $P=0,014$ ), du gain moyen quotidien (+12,6%,  $P=0,002$ ), de la prise alimentaire quotidienne (+7%,  $P=0,01$ ) chez les porcelets AA+. Le score de santé s'est détérioré du jour 0 au jour 14 ( $P<0,001$ ) sans effet du régime alimentaire. Les analyses de métabolomiques ont montré une augmentation des AA et dérivés de la valine, de la thréonine et du tryptophane dans le groupe AA+. Les porcelets recevant une supplémentation d'AA spécifiques peuvent améliorer leur croissance et leur prise alimentaire malgré la pression exercée par le SDRP sur leur système immunitaire.

## Supplementation of specific amino acids improves growth performance of post-weaning piglets in a natural disease challenge model

A natural model disease challenge was developed to mimic pathogenic pressure on commercial farms, in particular porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS). Based on the amino-acid (AA) composition of several immunoglobulins and acute-phase proteins, a control diet (CON) was compared to an amino-acid-enriched diet (AA+; respectively, +9%, 16%, 27% and 19% for lysine, threonine, tryptophan and valine). Five successive batches of 60 piglets each were included in the experiment at a weaning age of 21 days and received the control (N=150) and treatment (N=150) diets *ad libitum* for 4 weeks. Blood samples were collected for non-targeted metabolomic analyses at the end of each post-weaning batch. Daily feed intake and water consumption of individuals were monitored. Pigs were weighed daily post-weaning and every 3 weeks until slaughter. Animal health was scored on day 0, 7, 14, 21 and 28. Results showed increased body weight (+5%,  $P=0.014$ ), average daily gain (+12.6%,  $P=0.002$ ), average daily feed intake (+7%,  $P=0.01$ ) in the AA+ piglets, whereas feed conversion ratio and water consumption were not influenced by the treatment. The health score of piglets decreased significantly from day 0-14 ( $P<0.001$ ), but no effect of diet was observed. Metabolomic analyses showed an increase in AA and derivatives of valine, threonine and tryptophan in AA+ group. Piglets given a boost of specific and functional AA can improve their growth and feed intake and performance despite PRRS pressure on their immune system.

## INTRODUCTION

Le syndrome dysgénique et respiratoire porcin (SDRP) est une importante maladie infectieuse endémique du porc. La réplication virale de cet agent pathogène et la destruction des cellules hôtes entraînent des pertes importantes pour l'industrie porcine, car les animaux présentent des troubles respiratoires et de la reproduction, ainsi qu'un taux de mortalité élevé chez les porcelets (Lunney *et al.*, 2016). Chez les porcs en croissance, le virus du SDRP réduit la digestibilité, la prise alimentaire, l'efficacité alimentaire et le dépôt protéique (Rochell *et al.*, 2015; Schweer *et al.*, 2017).

Des stratégies alimentaires visant à améliorer les performances des porcs ont déjà été tentées. Une augmentation de l'inclusion de tourteau de soja a par exemple entraîné une croissance améliorée et une diminution de la virémie chez les porcs infectés par le SDRP (Rochell *et al.*, 2015). Des études plus récentes se sont directement concentrées sur l'augmentation du rapport lysine/énergie métabolisable, ce qui a permis d'améliorer les performances de croissance des porcs affectés par le SDRP (Schweer *et al.*, 2018; Jasper *et al.*, 2020). Parallèlement, la réponse immunitaire fait appel à plusieurs protéines, dont les immunoglobulines et les protéines de phase aiguë (Murtaugh *et al.*, 2002). Ces protéines de réponse aux agents pathogènes ont une teneur supérieure en certains acides aminés (AA), tels que la thréonine, le tryptophane et la valine (Wang *et al.*, 2006; Le Floch *et al.*, 2008).

Le Centre de développement du porc de la province de Québec (CDPQ) a développé un modèle de challenge de maladie naturelle du sevrage à l'abattage (Bai *et al.*, 2020). L'objectif était d'imiter la pression d'infection causée par de nombreux agents pathogènes que les porcs peuvent subir sur le terrain, y compris le SDRP afin d'explorer les phénotypes pour la résilience aux maladies chez les porcs.

La technique métabolomique (étude des processus chimiques mettant en jeu des métabolites, petites molécules, intermédiaires et produits du métabolisme cellulaire) peut être utilisée comme un outil pour caractériser les variations du métabolome causées par des facteurs intrinsèques (génétique, réponses de croissance, etc.) et des facteurs environnementaux tels que la nutrition ou les maladies. Actuellement, les études descriptives du métabolome (collection de tous les métabolites dans un organisme biologique) porcin des porcs affectés par le SDRP sont rares et les effets des régimes alimentaires sur les métabolomes du SDRP et les réponses immunitaires ne sont pas connus.

Par conséquent, l'objectif principal de cette étude était de déterminer l'impact de la supplémentation en AA impliqués dans la réponse immunitaire pour maintenir les performances de croissance en post-sevrage chez des porcelets positifs au SDRP. L'objectif secondaire était d'explorer le métabolome sanguin des porcelets affectés par le SDRP en fin de post-sevrage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Design expérimental et aliments expérimentaux

Un modèle d'infection naturelle a été mis en place à la station de recherche de Deschambault du CDPQ (Québec, Canada) tel que décrit par Bai *et al.* (2020). Le modèle consiste en une

entrée de porcelets commercial (croisement entre une truie F1 et verrat Duroc) toutes les trois semaines sevrés à un âge moyen de 21 jours. Ces derniers sont gardés dans une zone propre pendant trois semaines, puis introduits dans la section de post-sevrage et mis en contact nez à nez direct avec les porcs infectés de la bande précédente. Le modèle a été mis en place en introduisant simultanément dans la station de recherche des porcs commerciaux issus d'élevages différents, atteints de maladies connues : deux virus (trois souches différentes de SDRP et deux souches de virus de la grippe porcine A), cinq agents pathogènes bactériens (*Mycoplasma hyopneumoniae*, *Haemophilus parasuis*, *Brachyspira hamptonii*, *Salmonella enterica* sérovar *typhimurium* et *Streptococcus suis*) et deux parasites (*Cystoisospora suis* et *Ascaris suum*). La mortalité cible pour le modèle est de 10 % du post-sevrage à l'abattage.

Dans la présente étude, cinq lots de 60 porcelets élevés en enclos de 15 porcelets pour un total 20 unités expérimentales ont été utilisés et provenaient de la même ferme négative au SDRP. Des sérologies ont confirmé que chaque lot avait été exposé au SDRP pendant la phase de post-sevrage. Les porcelets recevaient un aliment témoin pendant 3 semaines dans la zone propre, suivi d'un des deux aliments expérimentaux (Tableau 1) pendant quatre semaines (âge moyen de 40 à 68 jours) et d'un aliment de croissance puis de finition commercial (âge moyen de 68 à 181 jours). Durant la phase expérimentale, le groupe témoin (Témoin, n=150) a reçu un régime standard avec un profil d'AA suivant les recommandations et le deuxième groupe (AA+, n=150) a reçu un régime où le profil d'AA a été enrichi par l'ajout de lysine, thréonine, valine et tryptophane (Tableau 2).

### 1.2. Mesures

Des mesures automatisées du poids corporel des animaux ont été prises quotidiennement pendant le post-sevrage et des pesées ont été réalisées toutes les trois semaines pendant la phase de croissance et de finition. Les consommations individuelles d'aliments et d'eau ont été collectées à l'aide de stations d'alimentation Asserva.

**Tableau 1** – Composition des aliments expérimentaux

Ingrédients (g/kg)	Témoin	AA+
Maïs	391,0	444,6
Tourteau de soja 48%	276,0	289,0
Farine de biscuits (FariPro, Prorec)	150,0	71,0
Blé	100,0	100,0
Huile végétale-animale	26,0	32,0
Tourteau de Canola	25,0	25,0
Pierre à chaux	10,7	11,2
L-lysine-sulphate (Biolys, Evonik)	6,1	7,5
Phosphate monobicalcique	6,0	6,1
Sel (NaCl, min 39% Na)	3,9	4,5
Micro prémélange	2,0	2,0
L-Thréonine	1,6	2,8
L-Méthionine	1,0	1,1
Chlorure de choline (75%, liquide)	0,35	0,35
Selko IntelliBond C	0,19	0,19
L-Valine (96,5%)	0,10	1,8
Phytase microbienne, Quantum Blue <sup>1</sup>	0,05	0,05
Phytase microbienne, Quantum Blue <sup>2</sup>	0,05	0,05
L-Tryptophane 98%	-	0,80

<sup>1</sup>5G-SW0-250 DRY, NOP

<sup>2</sup>5G-SW250-500 DRY, NOP



**Tableau 2** – Profil en acides aminés analysés des aliments

Paramètres, %	Témoïn	AA+	Témoïn/ AA+, %
Matière sèche, %	88,05	88,13	
Protéines brutes	20,3	21,0	
Lysine totale	1,38	1,50	<b>8,7</b>
Thréonine totale	0,87	1,01	<b>16</b>
Méthionine totale	0,377	0,400	6,1
Cystine + Cystéine totale	0,311	0,316	1,6
Méthionine + Cystine totale	0,688	0,716	4,1
Tryptophane total	0,244	0,31	<b>27</b>
Valine totale	0,94	1,12	<b>19</b>
Isoleucine totale	0,83	0,86	3,6
Leucine totale	1,59	1,64	3,1
Arginine totale	1,23	1,26	2,4
Phénylalanine totale	0,95	0,97	2,1
Tyrosine totale	0,68	0,70	2,9
Histidine totale	0,500	0,510	2,0
Lysine de base libre	0,314	0,400	
Thréonine libre	0,149	0,276	
Méthionine libre	0,079	0,106	
Tryptophan libre	<0,02	0,069	
Valine libre	<0,02	0,173	

<sup>1</sup>AA, acides aminés.

A la fin du post-sevrage, huit animaux par enclos ont été sélectionnés pour la collecte de sérum sanguin et d'échantillon fécaux et buccaux pris à l'aide d'écouvillons stériles. Les animaux échantillonnés étaient dans un état postprandial stable et n'avaient pas été préalablement traités avec des antibiotiques ou d'autres médicaments.

Des mesures de mortalité et morbidité ont été comptabilisées de façon journalière. Un système de notation sanitaire a été conçu par le CDPQ pour surveiller la santé des animaux. Chaque semaine, un vétérinaire a évalué les animaux individuellement en les notant sur la base d'un système à trois symptômes : 1) détresse respiratoire, 2) détérioration des signes de santé (dos cambré, perte de poids, pilosité), 3) fièvre, éternuements, rhinorrhée, toux, diarrhée, arthrite, boiterie, pâleur et conjonctivite en les notant de 5 (meilleur score de santé) à 1 (maladie grave) pour chaque symptôme. Un score de santé global (somme des trois symptômes) de 15 était un animal en bonne santé ne présentant aucun symptôme ou signe de maladie.

Au jour 154 (22 semaines d'âge) de la phase de croissance et finition, les porcs ont tous été pesés. Des mesures de profondeur de muscle et d'épaisseur de gras dorsal ont été prises avec un appareil Vetko+ (Novoko, Québec, QC) muni d'une sonde linéaire de 5.0 MHz, en utilisant du gel pour échographie comme agent couplant. À l'abattage (âge moyen de 181 jours et poids cible 130 kg), le poids vif et le poids de carcasse ont été mesurés. Une évaluation du rendement de la carcasse à l'abattoir a également été faite sur toutes les carcasses évaluées. Les épaisseurs de gras et de muscle ont été mesurées et le rendement de carcasse maigre a été calculé (Pomar et Marcoux, 2003).

### 1.3. Analyses en laboratoire

#### 1.3.1. Analyse de la diète

Les aliments ont été analysés pour la matière sèche (méthode AOAC 935.29), la protéine brute (méthode AOAC 976.05). Les AA libres et totaux des régimes ont été déterminés selon la norme NF EN, à l'exception du tryptophane total qui a été mesuré à l'aide du MOD.0094 – Norme abrogée AFNOR XP V18-114. L'analyse

chimique des rations a été réalisée au laboratoire de METEX NOOVISTAGO, France.

#### 1.3.2. Préparation de sérum pour l'analyse métabolomique

Pour l'analyse métabolomique, les échantillons de sérum ont été préparés de la manière suivante : dans 100 µL de sérum, 200 µL de méthanol froid (100%) ont été ajoutés et les échantillons ont été mélangés au vortex pendant 5 secondes. Les échantillons ont ensuite été soumis à une ultrasonication pendant 5 min dans un bain glacé, de nouveau mélangés au vortex pendant 5 secondes et enfin conservés à -20°C pendant 30 min pour favoriser la précipitation des protéines sériques. Une centrifugation à 10 000 rpm, pendant 10 min à 4°C a ensuite été réalisée, et 150 µL de surnageant ont été transférés dans des tubes Eppendorf pour évaporation à sec sous flux d'azote à température constante (50°C). Les résidus secs ont par la suite été resolubilisés dans 100 µL d'H<sub>2</sub>O (Millipore Milli-Q®) + 0,1% d'acide formique (Fisher Chemical, Optima® grade LC-MS, Hampton, NH, USA) et mélangés au vortex pendant 30 secondes à 3000 rpm. Enfin, 100 µL d'acétonitrile (ACN, Supelco, OmniSolv® grade LC-MS, St. Louis, MO, USA) ont été ajoutés et les échantillons ont été de nouveau mélangés au vortex pendant 10 secondes à 3000 rpm (50:50:0.1 v/v H<sub>2</sub>O:ACN:FA). Dans la dernière étape, les échantillons ont été transférés dans des tubes via des filtres seringues de 0,2 µm (Canadian Life Science Inc., ON, Canada) et conservés à -80°C jusqu'à leur analyse en LC-MS.

#### 1.3.3. Analyse métabolomique non-ciblée

Le système de chromatographie liquide à haute performance (HPLC) utilisé est un Vanquish (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). La séparation chromatographique des composés a été faite sur une colonne phase inverse C18 Acquity HSS T3 1,7 µm 100 × 2,1 mm (Waters Corporation, Milford, MA). La température de la colonne a été fixée à 30°C. Le débit de la phase mobile était de 0,3 mL/min et le volume d'injection était de 2 µL. L'analyse chromatographique a été réalisée avec un gradient d'eau/acide formique (100 :0,1 v/v, phase mobile A) et d'acétonitrile/ acide formique (100 :0,1, phase mobile B) pour une durée totale de 22 min.

Les spectres de masse ont été acquis sur un Orbitrap Fusion (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) opérant avec une source d'ionisation électrospray (ESI) en mode négatif (ESI-). L'acquisition des données de spectrométrie de masse a été faite sur une plage allant de 50 à 1200 m/z. La température du tube de transfert ionique a été fixée à 350°C et le voltage du spray (ESI-) a été réglé à 2500V. L'acquisition de spectre MS<sub>n</sub> pour l'identification de métabolites a été faite en mode DDA (data dependent analysis) en utilisant le système AcquireX intelligent Data workflow (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). La spectrométrie de masse en tandem (MS-MS) a été réalisée par dissociation par collision de haute énergie (HCD) avec différents niveaux d'énergie (15V, 30V, 45V).

#### 1.3.4. Contrôle qualité et analyse métabolomique

La qualité de l'analyse chromatographique, la stabilité du système et sa précision ont été évaluées en utilisant des contrôles qualités (QC). Les QC ont été injectés de manière régulière tout au long de la séquence d'analyse randomisée.

### 1.4. Calculs et analyses statistiques

#### 1.4.1. Analyses statistiques des performances de croissance et des scores de santé

Les paramètres de performances des animaux ont été analysés avec un modèle de régression linéaire en utilisant la procédure

PROC MIXED dans SAS (SAS Institute Inc.). Les données des scores de santé ont été analysées à l'aide d'un modèle de régression linéaire similaire modifié pour des mesures répétées en utilisant une structure de covariance autorégressive d'ordre 1. Les différences étaient considérées comme significatives lorsque  $P < 0,05$  et les tendances lorsque  $P < 0,10$ .

#### 1.4.2. Analyses statistiques des données de métabolomique

Les données acquises en LC-MS ont été traitées à l'aide du logiciel Compound Discoverer v.3.2.0 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Une matrice de données a été générée contenant les temps de rétention, les masses et les intensités de chaque ion. Une transformation Pareto de la matrice de données a été faite, afin de réduire la gamme dynamique des variables et assurer une harmonisation de l'échelle des données. L'analyse en composante principale (ACP) a été réalisée avec le logiciel LatentX (Latent5 Aps., Denmark). Elle permet d'évaluer la qualité des données et déceler des individus extrêmes. Dans un second temps, une analyse multivariée supervisée en régression Sparse Partial Least Square Discriminant Analysis (sPLS-DA) a été faite à l'aide de MetaboAnalyst 5.0. L'analyse discriminante des moindres carrés partiels (PLS-DA) est un algorithme polyvalent qui peut être utilisé pour la modélisation prédictive et descriptive ainsi que pour la sélection de variables discriminantes. Le PLS-DA peut être considéré comme une version « supervisée » de l'analyse en composantes principales (ACP) tout en étant conscient des deux classes discriminantes et des échantillons appartenant à quel groupe. Les modèles ont été construits à partir de 100 variables par composante et la fiabilité a été estimée par la méthode de validation croisée « K-fold » avec  $k=5$ . Les variables présentant un coefficient supérieur à 0,2 sur la composante 1 ont été retenues pour annotation et identification. La prédiction des formules élémentaires des molécules et l'annotation des composés ont été réalisées sur Compound Discoverer v.3.2.0 à l'aide des bases de données de spectres mesurés et prédits mzCloud, ChempSpider, Metabolika et MZVault.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Effets sur les performances de croissance et les scores de santé

L'augmentation de l'apport en AA a eu un effet significatif sur les performances des porcelets en post-sevrage (Tableau 3). Le régime AA+ a présenté une augmentation du gain moyen quotidien de 12,6 % ( $P = 0,002$ ) et de la consommation moyenne journalière de 7 % ( $P = 0,014$ ) par rapport au groupe témoin ( $P = 0,01$ ). Le poids final était 5% plus élevé. En revanche, l'indice de consommation et la consommation journalière d'eau n'ont pas été affectés par les traitements. A l'issue de la période de finition (âge 154 jours) le poids vif et l'épaisseur de gras n'étaient pas modifiés. Une tendance pour une épaisseur de muscle plus élevée avec le régime AA+ a été observée (+2 %;  $P = 0,065$ ). À l'abattage (âge 181 jours) une tendance pour un poids vif plus élevé ( $P = 0,076$ ) a été observée chez les AA+, alors que les autres paramètres n'étaient pas modifiés.

Tous les animaux (Témoin et AA+) ont connu une diminution significative du score de santé du jour 0 au jour 14 ( $P < 0,001$ ) suivie d'une augmentation légère du score de santé du jour 14 à 28 (Figure 1). Cependant, aucun effet direct du régime supplémenté en AA+ n'a été observé sur le score de santé mesuré.

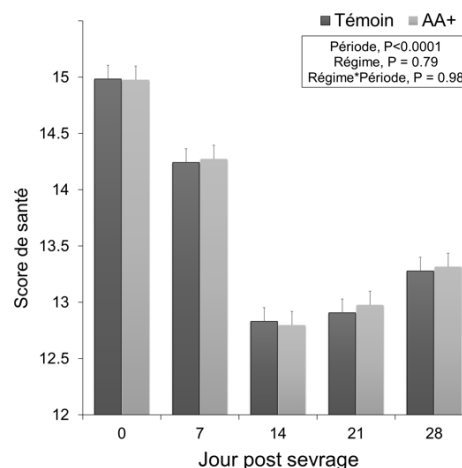


Figure 1 - Scores de santé durant la période expérimentale en post-sevrage

### 2.2. Profil non-ciblé des métabolites sanguins

La matrice de données générée à partir de l'analyse LC-MS contenait 520 variables et 178 échantillons (AA+=71 ; Témoin=75 ; échantillon contrôle qualité (QC)=32). L'ACP réalisée à partir de cette matrice a montré un regroupement des échantillons QC par rapport aux échantillons expérimentaux, indiquant une bonne stabilité du système LC-MS tout au long de l'analyse (données non présentées). Un individu du groupe AA+ considéré comme étant aberrant a été retiré suite à l'ACP.

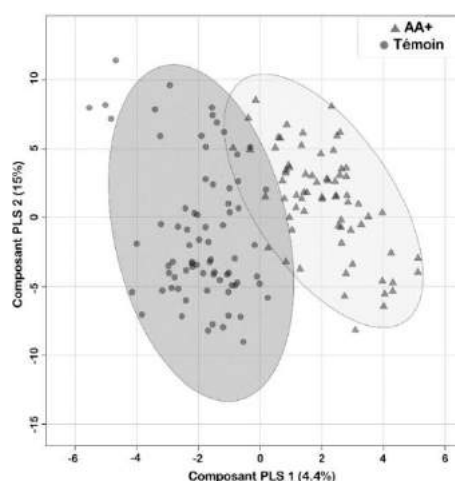
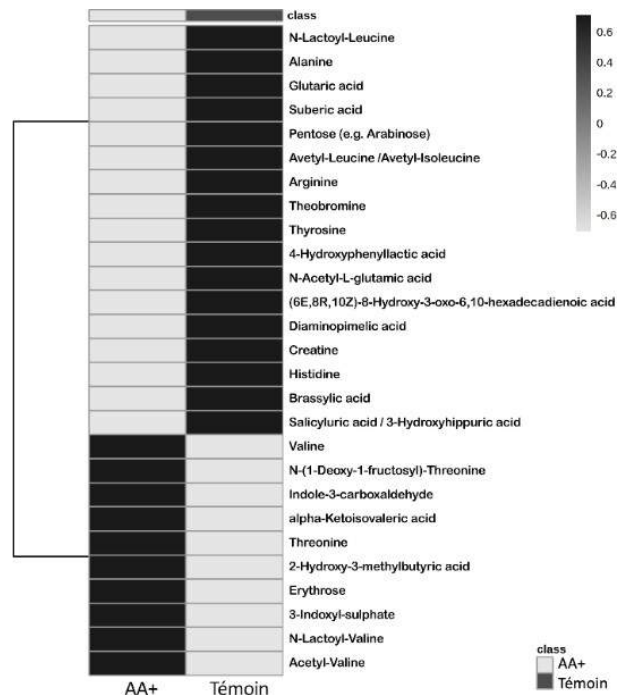


Figure 2 - sPLS-DA\* des données des métabolites du sérum. (\*sPLS-DA = moindres carrés partiels – analyse discriminante)

L'analyse supervisée sPLS-DA a été réalisée avec 520 variables et 145 échantillons. Un modèle expliquant 4,4% de la variabilité de l'ensemble des données et permettant la discrimination des

groupes sur la première composante a été retenu (Figure 2). La seconde composante explique une plus grande part de variabilité, mais cette dernière est davantage liée aux différences individuelles entre animaux de chaque groupe. La fiabilité du modèle sPLS-DA est décrite par le taux d'erreur de classification des animaux dans les groupes (données non présentées) où la première composante montre un taux d'erreur de 16,6%, correspondant au pourcentage d'individus mal classés dans les bons groupes.

On observe chez les porcelets du groupe AA+ une augmentation de plusieurs AA et dérivés tels que la valine, la thréonine, la N-lactoyl-valine, l'acétyl-valine et la N-1(1-désoxy-1-fructosyl)-thréonine (Figure 3). On retrouve également une augmentation de l'indole-3-carboxaldehyde et du 3-indoxyl-sulphate, dérivés majeurs du tryptophane. L-alpha-ketoisovalerate, produit de dégradation du métabolisme de la valine est également augmenté dans le groupe AA+. Dans le groupe Témoin, on retrouve une augmentation du niveau de certains AA, tels que l'alanine, l'arginine, la tyrosine, l'histidine et des produits de dégradations tels que le N-Lactoyl-L-Leucine, l'acétyl-Leucine/l'acétyl-Isoleucine et l'acétyl-L-Glutamic acid. La théobromine est un des composés majeurs contribuant à la discrimination des 2 groupes.



**Figure 3** - Métabolites annotés discriminant entre le régime AA+ et le régime Témoin dans le modèle sPLS-DA ( $P < 0,05$ ).

**Tableau 3** – Performances de croissance des porcs en post-sevrage, finition et au moment de l'abattage

Paramètres	Témoin <sup>1</sup>	AA+	P-value
<b>Post-sevrage</b>			
Poids vif, sevrage (kg)	8,3 ± 0,2	8,0 ± 0,2	0,070
Poids vif, entrée post-sevrage (kg) <sup>2</sup>	14,7 ± 0,3	14,5 ± 0,3	0,585
Poids vif, sortie post-sevrage (kg) <sup>3</sup>	24,5 ± 0,8	25,8 ± 0,9	0,014
Gain moyen quotidien (g/j) <sup>3</sup>	315,5 ± 23,2	361,0 ± 24,2	0,002
Consommation moyenne journalière (g/j) <sup>3</sup>	577,1 ± 12,2	620,7 ± 12,1	0,010
Indice de consommation <sup>3</sup>	2,1 ± 0,2	2,0 ± 0,2	0,517
Consommation moyenne journalière d'eau (L/j) <sup>3</sup>	1,7 ± 0,1	1,8 ± 0,1	0,216
<b>Fin période de finition (154 jours d'âge)</b>			
Poids vif (kg)	103,2 ± 2,2	105,6 ± 2,2	0,119
Épaisseur de muscle (mm)	60,9 ± 0,7	62,2 ± 0,7	0,065
Épaisseur de gras (mm)	13,1 ± 0,6	13,3 ± 0,6	0,504
<b>Abattage (154 jours d'âge)</b>			
Poids vif (kg)	128,6 ± 2,5	131,0 ± 2,7	0,076
Poids de carcasse (kg)	102,8 ± 2	104,1 ± 2,1	0,233
Épaisseur de muscle (mm)	65,9 ± 0,7	66,5 ± 0,7	0,430
Épaisseur de gras (mm)	19,2 ± 0,7	19,4 ± 0,8	0,739
Rendement de carcasse (%)	60,6 ± 0,3	60,6 ± 0,3	0,959

<sup>1</sup>LSMEANS ± SEM; <sup>2</sup>Début des traitements; <sup>3</sup>Fin des traitements.

### 3. DISCUSSION

Les challenges sanitaires liés aux agents pathogènes tels que le virus du SDRP sont connus pour réduire les performances souvent liées à des effets indirects d'anorexie. Il a été montré que le virus du SDRP chez les porcs en croissance réduit le gain moyen quotidien de 30 à 50 % dans les deux ou trois premières semaines suivant l'infection (Escobar *et al.*, 2004 ; Rochell *et al.*, 2015 ; Schweer *et al.*, 2016). En parallèle, le muscle squelettique représente 60 à 70 % de la masse de tissu maigre, qui est l'une des plus grandes sources d'AA et de substrats énergétiques. Une infection s'accompagne classiquement d'un bilan azoté négatif qui pourrait s'expliquer par la dégradation des protéines afin de fournir les AA nécessaires pour produire des composants, tels que les protéines de la phase aiguë (Lochmiller et Deerenberg, 2000 ; Helm *et al.*, 2019). Des études récentes

n'ont pas confirmé d'augmentation marquée de la régulation de la protéolyse du muscle squelettique, mais l'activation réduite de la voie de synthèse des protéines pourrait être responsable des pertes de tissu maigre (Helm *et al.*, 2019). Dans cette étude, nous avons observé une augmentation de tous les paramètres de performances chez le porcelet en post-sevrage, sauf l'Indice de Consommation (IC), lorsque le régime était complété par des AA spécifiques, à savoir la thréonine, la valine, le tryptophane. Les animaux recevant le régime AA+ avaient une prise alimentaire plus élevée, un gain moyen quotidien amélioré et une augmentation du poids corporel à la fin de la phase de post-sevrage (28 jours après l'infection). Les AA libres pourraient potentiellement favoriser la synthèse de composants immunitaires non cellulaires (protéines de phase aiguë). En parallèle, l'activation des cellules immunitaires en période de challenge crée une forte demande de glucose comme substrat énergétique, qui pourrait potentiellement

provenir de la conversion d'AA en énergie via la néoglucogénèse (Bruins *et al.*, 2003). Il a été confirmé que la thréonine et la valine étaient augmentées dans le sérum des porcs nourris à l'AA+ en utilisant une approche métabolomique non ciblée. Cependant, l'utilisation de ces AA pour les composants immunitaires demeure incertaine. De plus, la présence de produits du métabolisme de ces AA (c'est-à-dire N-(1-désoxy-1-fructosyl)- thréonine, N-lactoyl-valine, acétyl-valine, acide alpha- cétoisovalérique) indique une utilisation intense de ces derniers. La présence de produits de dégradation du tryptophane (indole-3-carboxaldéhyde) est connue pour influencer positivement la santé intestinale en réduisant l'expression de cytokines et de chimiokines pro-inflammatoires et en induisant l'expression de cytokines anti-inflammatoires (Bansal *et al.*, 2010). La thréonine assure également un soutien aux fonctions de barrière digestive de l'intestin (Wang *et al.*, 2010; Chalvon-Demersay *et al.*, 2021). Ces effets positifs sur la santé intestinale ainsi qu'une éventuelle modulation des composants immunitaires pourraient expliquer l'amélioration des performances des porcelets AA+.

Malgré une augmentation de la prise alimentaire des animaux nourris avec le régime AA+, plusieurs AA sanguins ont été diminués en intensité dans le groupe AA+ par rapport au Témoin, comme l'alanine, l'arginine, la tyrosine et l'histidine. La diminution de la présence de ces AA dans le sang pourrait être partiellement due à une augmentation de leur utilisation pour

la synthèse de protéines pendant la phase d'élevage et pourrait expliquer l'augmentation minimale de l'épaisseur musculaire observée pendant la phase d'engraissement. L'arginine chez les porcelets est un AA connu pour être impliqué dans la réponse immunitaire via la synthèse d'oxyde nitrique (Chalvon-Demersay *et al.*, 2021). Bien que nous n'ayons pas vu d'effet direct du régime AA+ sur le score de santé mesuré dans ce contexte de SDRP, la diminution de l'arginine pourrait être attribuée à une utilisation accrue de cet AA pour soutenir cette réponse immunitaire. Ces AA seraient possiblement intéressants à augmenter également dans les prochaines études.

## CONCLUSION

Nos résultats montrent que les porcelets recevant une augmentation d'AA spécifiques et fonctionnels (c'est-à-dire Lysine, Valine, Thréonine, Tryptophane) peuvent améliorer leur croissance et leur prise alimentaire malgré la pression SDRP sur leur système immunitaire. Compte tenu des pertes économiques importantes dans l'industrie porcine et de la mortalité élevée causée par le SDRP, cette première étape de recherche est d'intérêt pour les éleveurs de porcs. Même si nos recherches n'ont révélé aucun effet direct sur l'état de santé de l'animal, l'augmentation des AA pourrait indirectement les aider à passer plus rapidement et efficacement le challenge sanitaire.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bansal T, Alaniz RC, Wood TK, Jayaraman A. 2010. The bacterial signal indole increases epithelial-cell tight-junction resistance and attenuates indicators of inflammation. *Proc Natl Acad Sci USA*. 107, 228– 33.
- Bruins M.J., Deutz N.E., Soeters P.B., 2003. Aspects of organ protein, amino acid and glucose metabolism in a porcine model of hypermetabolic sepsis. *Clin Sci (Lond)*, 104, 127-141.
- Chalvon-Demersay T., Trevisi P., 2019. Dose-response of different dietary leucine levels on growth performance and amino acid metabolism in piglets differing for amino acid oxidase genotypes. *Sci. Rep*, 9, 18496.
- Chalvon-Demersay T., Luise D., Le Floch N., Tesseraud S., Lambert W., Bosi P., Trevisi P., Beaumont M., Corrent E., 2021. Functional Amino Acids in Pigs and Chickens: Implication for Gut Health. *Front. Vet. Sci.*, 8, 496
- Escobar J., Van Alstine W.G., Baker D.H., Johnson R.W., 2004. Decreased Protein Accretion in Pigs with Viral and Bacterial Pneumonia Is Associated with Increased Myostatin Expression in Muscle. *J. Nutr.*, 134, 3047-3053.
- Helm E.T., Curry S.M., De Mille C.M., Schweer W.P., Burrough E.R., Zuber E.A., Lonergan S.M., Gabler N.K., 2019. Impact of porcine reproductive and respiratory syndrome virus on muscle metabolism of growing pigs. *J. Anim. Sci*, 97, 3213-3227.
- Jasper J.E., Mendoza O.F., Shull C.M., Schweer W.P., Schwartz K.J., Gabler N.K., 2020. Increasing the ratio of SID lysine to metabolizable energy improves pig performance during a viral challenge. *J. Anim. Sci.*, Vol. 98, No. 4, 1–10
- Le Floch N., Melchior D., Sève B., 2008. Dietary tryptophan helps to preserve tryptophan homeostasis in pigs suffering from lung inflammation. *J. Anim. Sci.*, 86, 3473-3479.
- Lochmiller R.L., Deerenberg C., 2000. Trade-offs in evolutionary immunology: just what is the cost of immunity? *Oikos*, 88, 87-98.
- Lunney J.K., Fang Y., Ladinig A., Chen N., Li Y., Rowland B., Renukaradhya G.J., 2016. Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus (PRRSV): Pathogenesis and Interaction with the Immune System. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 4, 129-154.
- Murtaugh M.P., Xiao Z., Zuckermann F., 2002. Immunological Responses of Swine to Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus Infection. *Viral Immunol.*, 15, 533-547.
- Rochell S.J., Alexander L.S., Rocha G.C., Van Alstine W.G., Boyd R.D., Pettigrew J.E., Dilger R.N., 2015. Effects of dietary soybean meal concentration on growth and immune response of pigs infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *J. Anim. Sci.*, 93, 2987-2997.
- Schweer W., Schwartz K., Patience J.F., Karriker L., Sparks C., Weaver M., Fitzsimmons M., Burkey T.E., Gabler N.K., 2017. Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome virus reduces feed efficiency, digestibility, and lean tissue accretion in grow-finish pigs. *Transl. Anim. Sci.*, 1, 480-488.
- Schweer W.P., Schwartz K., Burrough E.R., Yoon K.J., Sparks J.C., Gabler N.K., 2016. The effect of porcine reproductive and respiratory syndrome virus and porcine epidemic diarrhea virus challenge on growing pigs I: Growth performance and digestibility. *J. Anim. Sci.*, 94, 514-522.
- Schweer W.P., Mendoza O.F., Shull C.M., Lehman J., Gaines A.M., Schwartz K.J., Gabler N.K., 2018. Increased lysine: metabolizable energy ratio improves grower pig performance during a porcine reproductive and respiratory syndrome virus challenge. *Transl. Anim. Sci.*, 3, 393-407.
- Wang X., Qiao S.Y., Liu M., Ma Y.X., 2006. Effects of graded levels of true ileal digestible threonine on performance, serum parameters and immune function of 10–25kg pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 129, 264-278.
- Wang W., Zeng X., Mao X., Wu G., Qiao S. 2010. Optimal dietary true ileal digestible threonine for supporting the mucosal barrier in small intestine of weaning pigs. *J Nutr.* 140:981–6.

# Essai de gestion de la douleur lors de la castration chirurgicale de porcelets mâles associant anesthésie locale et analgésie

Agnès WARET-SZKUTA (1,2), Enora MAZE (1), Christophe DURAND (3), Olivier MANIAVAL (4), Christine MEYMERIT (5), Guilhem POUDEVIGNE (1,4), Roxane ROSSEL (6), Vasco SIMOES (7), Mathilde KORALEWSKI (1), Didier CONCORDET (1,8)

(1) ENVT, 23 Chemin des Capelles, 31076 Toulouse Cedex 3, France

(2) ASTRE, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Montpellier, France

(3) Interprofession porcine d'Occitanie, 2 Allées Brisebois, 31322 Castanet-Tolosan, France

(4) SOCSA Elevage, 31240 l'Union, France

(5) Interface Elevage, 1219 route de Pau, 64410 Vignes, France

(6) AREPSA, ASPNA, Route de Samadet, 64410 Arzacq, France

(7) Les Bastides du Sud, 9 chemin Brousse, 64160 Morlaàs, France

(8) InTheRes UMR 1436 INRA/ENVT, 23 chemin des Capelles, 31076 Toulouse Cedex 3, France

[agnes.waretszkuta@envt.fr](mailto:agnes.waretszkuta@envt.fr)

## Essai de gestion de la douleur lors de la castration chirurgicale de porcelets mâles associant anesthésie locale et analgésie

La castration chirurgicale à vif sera interdite au 31 décembre 2021. Cette étude en double aveugle réalisée dans un élevage commercial, évalue l'efficacité d'un protocole de gestion de la douleur associant anesthésie locale et analgésie. Cent-un porcelets mâles de 3 à 5 jours d'âge ont été affectés aléatoirement à deux groupes distincts : un « traité » avec 48 porcelets, castrés avec un protocole associant sucrose 30% par voie orale, Tri-solfen® (lidocaïne, bupivacaine, adrénaline, cétrimide) par instillation locale et méloxicam en intra-musculaire ; l'autre « témoin » avec 53 porcelets recevant du méloxicam en intra-musculaire. L'expression de la douleur par les porcelets a été évaluée par l'étude de leurs cris et des mouvements nociceptifs lors de la chirurgie. En post-opératoire, les analyses statistiques ont porté sur les observations de sept comportements : blotissement, cyphose, démangeaisons, mouvements de queue, prostration, raideur, trémulations. L'intensité maximale des cris et la mesure de l'aire sous la courbe des cris lors de la procédure chirurgicale étaient significativement inférieures dans le groupe traité par rapport au groupe témoin pour la majorité des temps d'observation ( $P < 0,05$ ). Le nombre des mouvements nociceptifs sur la même période décroît dans le groupe traité (coefficient de régression ordinaire : -0,72) traduisant la réduction de douleur observée. En post opératoire, l'intensité de la douleur diminue au cours du temps en étant plus faible dans le groupe traité dans les 15 minutes suivant le retour dans la case et avec plus de porcelets sans observation de signes de douleur comparé au groupe témoin. S'il est efficace, le protocole présente des potentialités d'amélioration.

## Experiment on pain management during surgical castration of male piglets combining local anaesthesia and analgesia

Surgical castration will be banned in France by 31 December 2021. This double-blind study, conducted on a commercial farm, evaluated the effectiveness and field feasibility of a pain-management protocol that combined local anaesthesia and analgesia. One hundred and one male piglets aged 3-5 days were randomly assigned to two groups: "treated" (48 piglets), castrated with a protocol that combined 30% sucrose orally, Tri-solfen® (lidocaine, bupivacaine, adrenaline, cetrimide) by local instillation and meloxicam intramuscularly; and "control" (53 piglets), which received meloxicam intramuscularly. The piglets' expression of pain was assessed by studying their vocalizations and nociceptive movements during surgery. Post-operatively, statistical analyses were performed based on observations of seven behaviours: huddled up, kyphosis, scratching, tail wagging, prostration, stiffness and tremors. The maximum intensity of vocalizations and area-under-the-curve measurement at most observation times of the surgical procedure were significantly lower in the treated group than in the control group ( $P < 0.05$ ). The number of nociceptive movements over the same period decreased in the treated group (ordinal regression coefficient: -0.72), which reflected the observed pain reduction. Post-operatively, pain intensity decreased over time, being lower in the treated group within 15 minutes of returning to the pen and with more piglets without signs of pain than in the control group. While effective, the protocol has potential for improvement.

## INTRODUCTION

La castration chirurgicale des porcelets mâles est encore une pratique courante en élevage dans le but de réduire la fréquence d'apparition des carcasses odorantes, des comportements agressifs et des blessures associées et de pouvoir produire une viande de meilleure qualité. Il s'agit d'une pratique douloureuse et stressante d'autant plus si aucune analgésie ni anesthésie n'est mise en place. L'inconfort ou la douleur et le stress sont rapportés dans la littérature à trois moments : avant l'intervention avec la manipulation et la contention des animaux ; pendant l'intervention lors de l'incision du scrotum, de la séparation des tissus pour extraire les testicules et de la section des cordons spermatiques ; après l'intervention sur une durée de quelques heures à plusieurs jours. Ainsi, le législateur français exige que la castration chirurgicale des porcelets sans analgésie ni anesthésie soit arrêtée au 31 décembre 2021.

Si des solutions telles que l'élevage des mâles entiers ou l'immunocastration existent, elles ne peuvent néanmoins être facilement appliquées dans toutes les situations d'élevage à ce jour, notamment pour certaines filières sous signe officiel de qualité dont la capacité de mise en marché est aujourd'hui liée à la continuité de production de mâles castrés. Il y a donc urgence à trouver d'autres moyens de répondre à la nécessité de soulager la douleur des animaux associée à des pratiques d'élevage relevant de la chirurgie notamment dans le secteur porcin.

Différentes options ont été investiguées dans le cadre de la castration des porcelets dont l'utilisation de l'anesthésie générale, de l'anesthésie locale et/ou d'analgésiques comme les anti-inflammatoires non stéroïdiens administrés par voie intra-musculaire ou oral (Courboulay *et al.*, 2010). Si les résultats sont parfois discordants et difficilement comparables, ils suggèrent néanmoins que l'emploi d'un anesthésique local pourrait permettre de prendre en charge la douleur per-opératoire et que l'emploi en complément d'un anti-inflammatoire non stéroïdien comme le méloxicam ou le kétoprofène permettrait de gérer la douleur post-opératoire sur une durée plus longue. L'injection intra-musculaire de méloxicam aux porcelets mâles devant être castrés est d'ailleurs déjà une exigence des professionnels au sein de la charte du « Porc Français ». L'emploi de tels protocoles soulève des interrogations quant à leur possible mise en place sur le terrain compte tenu de leur technicité, du temps nécessaire à leur réalisation et du peu de spécialités pharmaceutiques disponibles pour les éleveurs pour cette indication.

Très récemment, plusieurs études dans des espèces telles que les agneaux et les veaux ont rapporté l'efficacité d'une spécialité pharmaceutique ayant une autorisation de mise sur le marché en Australie et en Nouvelle-Zélande et qui combine Lidocaïne (50 g/L), Bupivacaïne (5 g/L), Adrénaline (0,048 g/L), Cétrimide (5 g/L). Celle-ci a aussi été identifiée comme pertinente pour soulager la douleur lors de la castration chirurgicale des porcelets mâles de 7 jours ou moins (Sheil *et al.*, 2020). Le gel anesthésique a une couleur bleue et s'applique une fois l'incision du scrotum réalisée directement dans la plaie avant la traction sur les cordons spermatiques qui est rapportée comme le moment le plus douloureux de l'opération. Par ailleurs, l'effet du sucrose 30% par voie orale a été rapporté comme prometteur pour la castration chirurgicale des porcelets

(Davis *et al.*, 2017). Il est régulièrement utilisé en pédiatrie pour son action sur le système opioïde endogène (Carbajal *et al.*, 2015) et pourrait permettre une prise en charge de la douleur lors de la castration chirurgicale des porcelets mâles sur sa toute sa durée, notamment pour l'incision cutanée.

L'objectif de l'étude était donc d'évaluer l'efficacité sur le terrain d'un protocole de gestion de la douleur lors de la castration chirurgicale de porcelets mâles combinant (i) du sucrose oral à 30%, (ii) la spécialité pharmaceutique contenant les deux anesthésiques locaux (lidocaïne, bupivacaïne), un hémostatique (adrénaline) et un antiseptique (cétrimide) en instillation locale et (iii) du méloxicam par injection intra-musculaire.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Echantillonnage

#### 1.1.1. Type d'essai

Un essai clinique randomisé en double aveugle a été réalisé sur une période de trois jours consécutifs. Une unité de mise bas a été sélectionnée dans le sud-ouest de la France sur la base de sa volonté de participer à l'étude et de sa taille pour permettre l'inclusion d'environ 100 porcelets mâles âgés de 3 à 7 jours, cliniquement sains sans hernie. Des portées de 6 à 12 porcelets mâles ont été sélectionnées et les porcelets ont été identifiés individuellement, d'abord par marquage sur le dos, puis par une boucle à l'oreille. Ils ont été pesés individuellement et assignés par l'investigateur principal pour la moitié de chaque portée au groupe témoin (T) et le reste au groupe traité (GTri) de façon aléatoire, en utilisant une table de nombres. Tous les porcelets sont restés avec leur truie dans les conditions d'élevage habituelles avec un accès permanent à l'eau et à la mamelle.

#### 1.1.2. Taille d'échantillon

La taille de l'échantillon a été calculée pour pouvoir détecter une différence de moyenne de 0,1 pour le volume maximal de vocalisation, un écart-type entre 0,15 et 0,2 avec une puissance de 90% et un alpha à 0,05 (taille totale entre 78 et 138 individus) de manière unilatérale.

### 1.2. Procédure chirurgicale

Toutes les castrations ont été effectuées par la même personne. Les porcelets du groupe traité ont reçu 3 mL de sucrose à 30% par voie orale avant d'être placés dans une boîte de castration pour assurer une contention ferme mais douce. Un spray de couleur bleue a été pulvérisé sur le scrotum puis une double incision cutanée scrotale (gauche et droite) a été pratiquée. Du gel anesthésique a ensuite été instillé dans chaque plaie avec un applicateur spécifique en prenant soin d'enrober les cordons spermatiques et les bords de l'incision. Un volume de 1 mL ou 2 mL de produit a été réparti de manière égale dans chaque incision pour les porcelets de moins ou de plus de 2 kg respectivement. Après 30 secondes d'imprégnation du produit, chaque testicule a été retiré en coupant le cordon spermatique. A la fin de la procédure chirurgicale, le méloxicam a été injecté par voie intra-musculaire dans l'échine en respectant la dose recommandée par le résumé des caractéristiques du produit (0,4 mg/kg). Les porcelets du groupe témoin ont été castrés avec la même technique mais n'ont reçu que du méloxicam en intra-musculaire à la fin de la chirurgie avant d'être ramenés à leur mère, et donc pas de sucrose ni la spécialité pharmaceutique.

### 1.3. Enregistrements audio et vidéo

Une caméra vidéo a été placée au-dessus du système de contention de la castration pour filmer le déroulement de chaque chirurgie afin de permettre *a posteriori*, après sélection des moments pertinents, par une personne externe aux investigateurs, d'évaluer en aveugle la réponse motrice nociceptive (évaluation de la douleur per-opératoire). En particulier, cinq moments ont été examinés : (1) l'incision cutanée double (2) la traction sur le premier testicule, (3) la coupe du premier cordon spermatique, (4) la traction sur le second testicule, (5) la coupe du second cordon spermatique. Les réponses ont été notées sur une échelle numérique de 0 à 2 en fonction de l'intensité de la réponse motrice pour chaque temps, puis sommées, soit une note totale sur 10 pour chaque porcelet.

Un enregistrement audio a été réalisé avec un appareil Zoom H2n placé à 60 cm devant le groin. L'enregistrement a débuté dans les 10 à 20 secondes suivant la mise en place du porcelet dans le système de contention, immédiatement après l'administration de sucre par voie orale, et a été arrêté 10 secondes après la coupure du deuxième cordon. Les enregistrements ont été analysés par un consultant externe spécialisé dans ce type d'analyse. Le niveau sonore a été mesuré en décibels (dB). Le volume maximal des vocalises (dB) faisait partie de l'analyse ainsi que l'aire sous la courbe (AUC) des décibels/temps (mesure du total des vocalises). Le niveau maximal observable a été calibré à 0dB, les niveaux sonores inférieurs ont été exprimés en échelle négative (-dB). L'échelle des dB est une échelle logarithmique. Pour l'AUC, le nombre de pixels sous la courbe a été compté sur une période similaire afin de rendre la comparaison possible. Trois périodes ont été considérées : (1) première incision du scrotum jusqu'au début de la traction (2) début de la traction jusqu'à la section du premier cordon spermatique, (3) début de la traction jusqu'à 1 seconde après la section du deuxième cordon spermatique.

### 1.4. Evaluations comportementales

Quatre vétérinaires praticiens spécialisés en médecine porcine ont effectué les évaluations comportementales. Afin de limiter la variabilité entre les évaluateurs, ils se sont préalablement mis d'accord sur les définitions du comportement et les ont pratiquées ensemble avant l'essai. Les évaluations pendant l'essai ont été réalisées en aveugle, les vétérinaires n'ayant aucune connaissance de l'appartenance des porcelets au groupe (traité ou témoin). Les observations ont eu lieu deux fois la veille de l'essai (le matin après l'identification des porcelets par un numéro sur le dos et l'après-midi après le marquage des oreilles) et après la procédure chirurgicale. Les points de temps après la castration étaient les suivants : 1 minute après le retour du porcelet dans sa cage (+1 min), puis toutes les 5 minutes pendant 1 heure (60 minutes), à 90 minutes et à 2, 3, 6, 8, 24 et 30 heures. Le score était de 0 lorsque le comportement était absent et de 1 lorsqu'il était présent. Sept comportements ont été pris en compte (Tableau 1).

**Tableau 1** – Description des variables utilisées lors de l'observation des comportements pouvant être liés à la douleur

Comportement	Description
Blotissement	Porcelet couché de façon isolée des autres avec trois pattes ou plus repliées sous le corps.
Prostration	Porcelet éveillé, assis ou debout mais moins mobile avec la tête en bas, plus basse que les épaules
Trémulations/tremblements	Porcelet frissonnant comme s'il avait froid. L'animal peut être allongé, assis ou debout
Raideur	Porcelet allongé ou debout avec les pattes étendues et raides
Cyphose	Porcelet debout avec le dos courbé
Démangeaisons	Grattage au niveau scrotal/périnéal en se frottant sur le sol ou les bords de la case
Mouvements de la queue	D'un côté et de l'autre ou de bas en haut

### 1.5. Analyses

Les données pour l'analyse statistique ont été saisies dans Excel (Microsoft Excel 2016) en permettant une analyse en aveugle. Les statistiques descriptives, y compris les tests de chi deux et ceux de Student pour les comparaisons de moyennes pour les variables pic de cris et aire sous la courbe des cris et les modèles de régression, ont été réalisées avec le logiciel R version 3.6.1 (R Core Team, 2018). La régression ordinale a été utilisée pour analyser les données du score moteur nociceptif (NMR). Des valeurs NMR plus élevées pourraient refléter une plus grande intensité de la douleur ressentie par le porcelet. Les valeurs ont été considérées comme significatives au seuil de 5% et montrant une tendance au seuil de 10%. Un comptage du nombre de comportements exprimés par chaque individu dans chacun des groupes (T et GTri) pour chaque comportement observé sur l'ensemble de la période d'observation a été réalisé. Un nombre important de " mouvements de queue " ayant été observé la veille de l'intervention (matin et après-midi), c'est-à-dire en l'absence de douleur, suggérant dans cet essai une faible spécificité de ce paramètre, ce dernier a été exclu du reste de l'analyse. Les autres comportements observés ont ensuite été additionnés, ce qui est une procédure assez standard étant donné leur variabilité et leur nombre relativement faible. Des modèles de régression linéaire généralisée de Poisson ont ensuite été exécutés pour étudier l'effet dans le temps. Le nombre de porcelets présentant des signes de comportements douloureux a également été comparé entre les groupes T et GTri à 15 min et 40 min après le retour dans leur enclos suite à la castration et sur l'ensemble de la période post-opératoire. De même, l'analyse audio et vidéo a été réalisée en aveugle car un spray bleu a été appliqué sur tous les porcelets traités ou témoins et des coupures ont été effectuées sur les enregistrements afin que leur durée soit similaire. Les analyses audio et vidéo ont été réalisées par une société indépendante.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Statistiques descriptives

Cent trois porcelets mâles âgés de 3 à 5 jours provenant de 16 portées différentes ont été sélectionnés. Dans chaque portée, quatre à huit porcelets mâles ont été sélectionnés et répartis au hasard dans le groupe de traitement (GTri) et dans le groupe témoin négatif (T). Par construction, l'âge des deux groupes n'était pas significativement différent ( $P > 0,05$ ). Deux porcelets ont été exclus car ils étaient monorchides. Un problème d'enregistrement vidéo est survenu chez l'un des 101 porcelets restants, empêchant l'évaluation des vocalises et des mouvements pendant la chirurgie au moment de la double incision scrotale. Par conséquent, les données complètes de 100 porcelets ont été analysées ainsi que les données d'un porcelet supplémentaire en dehors de la double incision scrotale. Le groupe GTri comptait 48 porcelets et le groupe T 53

porcelets. Le poids moyen des deux groupes était comparable (poids moyen GTri = 1,91 kg contre poids moyen T = 1,88 kg ;  $P = 0,72$ ).

### 2.2. Per-opératoire

Une réduction significative de la douleur, exprimée par l'intensité maximale des cris des porcelets, a été observée dans le groupe GTri aux étapes d'extraction des testicules de la procédure chirurgicale ( $P < 0,05$ ), mais pas lors de l'incision scrotale (Tableau 2). Une tendance à la réduction de la douleur a également été observée avec le calcul de l'aire sous la courbe (AUC) pour l'extraction du second testicule dans le groupe GTri et était significative pour les deux autres étapes de la procédure, y compris l'incision scrotale ( $P < 0,05$ ). Le coefficient de régression ordinaire des scores de réponse motrice nociceptive (Tableau 3) était de -0,72, la somme du score moteur nociceptif (NMR) dans le groupe GTri diminuant constamment.

**Tableau 2** - Valeurs minimum, moyenne, maximum, médiane et écart-type des pics de cris et de l'aire sous la courbe (AUC) des cris enregistrés aux différents temps de l'intervention chirurgicale (double incision du scrotum et périodes depuis la traction sur le cordon jusqu'à sa coupe pour chacun des testicules) pour les groupes « GTri » et « T ». Résultats des comparaisons de moyennes avec un test de Student en unilatéral. Test. : testicule

		Groupe traité (GTri)					Groupe contrôle(T)					Test de Student
		Min	Moy	Max	Médiane	$\sigma$	Min	Moy	Max	Médiane	$\sigma$	P
Pic de cris, dB	Incision	-24,8	-10,8	-1,7	-9,4	5,6	-40,4	-9,9	-0,8	-7,3	7,3	0,249
	Test. 1	-28,1	-11,1	-2,6	-9,7	6,1	-31,2	-9,0	-31,2	-1,7	5,1	0,009
	Test. 2	-28,7	-12,5	-1,0	-10,8	6,6	-28,7	-10,2	-2,5	-9,4	4,9	0,031
AUC, pixels	Incision	5517	40071	105524	34416	27031	2545	53769	132899	51467	31338	0,005
	Test. 1	4044	33291	91032	30549	21733	3090	45236	95734	46081	24170	0,019
	Test. 2	2839	28139	13693	20504	23431	3243	33978	97998	30859	19790	0,072

**Tableau 3** : Nombre de porcelets pour chaque groupe présentant un score de 0, 1 et 2 par temps d'observation en termes de réponse motrice nociceptive (NMR) (score 0 : pas de réponse, score 1 : réponse faible, score 2 : réponse forte)

Score de douleur	Groupe « GTri »			Groupe « T »		
	0	1	2	0	1	2
NMR_1 : double incision du scrotum	10	32	5	9	35	9
NMR_2 : traction sur le premier testicule	8	34	5	2	40	11
NMR_3 : coupe du premier cordon spermatique	5	40	2	5	41	7
NMR_4 : traction sur le deuxième testicule	11	32	4	5	41	7
NMR_5 : coupe du deuxième cordon spermatique	9	33	5	8	42	3

### 2.3. Post-opératoire

Le tableau 4 présente le décompte du nombre de comportements exprimés par chaque individu dans chacun des groupes (GTri et T) pour chaque comportement observé sur toute la période d'observation. Dans le groupe GTri, il y a moins de "blotissement", de "prostration" et de "cyphose" mais plus de "mouvements de queue" et de "démangeaisons".

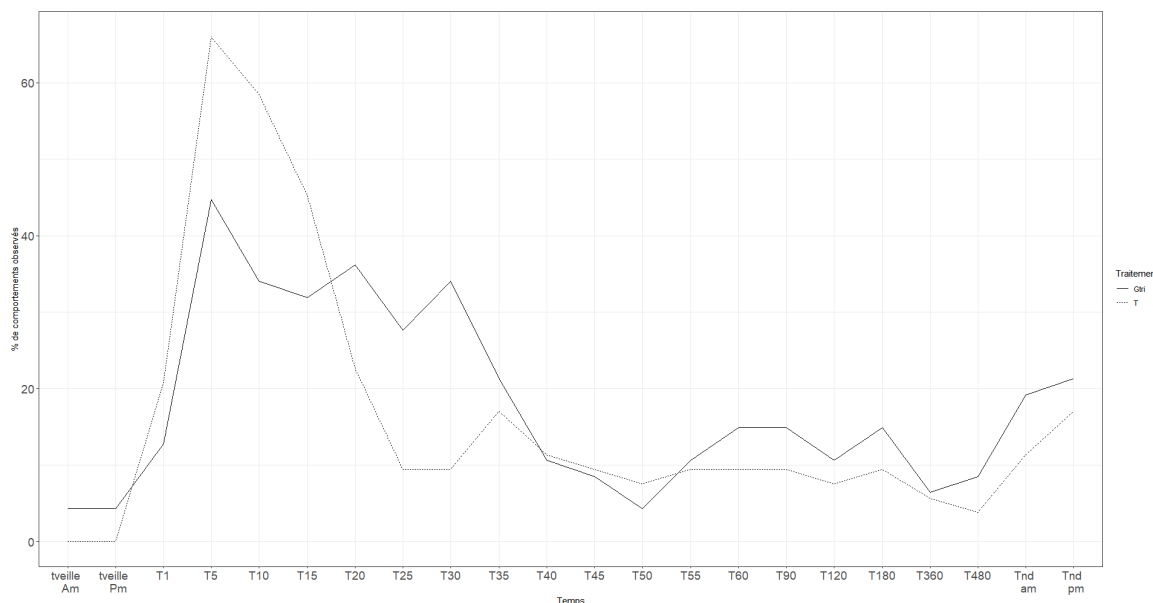
**Tableau 4** - Nombre (et répartition) de comportements observés par catégorie dans chacun des deux groupes (GTri et T) depuis le retour dans la case du porcelet jusqu'au lendemain soir.

	Groupe GTri	Groupe T
Blotissement	40 (47%)	45 (53%)
Prostration	23 (31%)	52 (69%)
Trémulation/tremblement	58 (57%)	44 (43%)
Raideur	12 (50%)	12 (50%)
Cyphose	10 (42%)	14 (58%)
Démangeaisons	39 (62%)	24 (38%)
Mouvement de la queue	122 (62%)	74 (38%)



La figure 1 montre la somme des résultats du comptage des comportements observés sur l'ensemble de la période d'observation. Dans les deux groupes (GTri et T), on observe une diminution du nombre de comportements douloureux au fil du

temps. Le modèle de régression linéaire généralisée de Poisson sur cette période n'est significatif ni pour l'effet du traitement ( $P = 0,55$ ) ni pour l'interaction temps\*traitement ( $P = 0,08$ ).



**Figure 1** - Nombre de comportements (en ordonnées) exprimés par les porcelets selon le groupe d'appartenance (GTri ou T) aux différents temps d'observation après retrait du comportement « mouvement de queue »

Sur les 15 premières minutes après le retour des porcelets dans leur enclos, le nombre de comportements douloureux observés dans le groupe GTri semble être plus faible que dans le groupe T. La différence est confirmée de manière hautement significative par un modèle de régression linéaire généralisée de Poisson sur ces 15 premières minutes ( $P = 0,007$ ). L'interaction temps\*traitement n'est pas significative ( $P = 0,99$ ) pour ce laps de temps. Sur les 40 premières minutes, le modèle de régression de Poisson n'est plus significatif pour l'effet du traitement ( $P = 0,76$ ). L'interaction temps\*traitement reste non significative ( $P = 0,09$ ).

Le tableau 5 illustre un plus grand nombre de porcelets n'ayant pas observé de comportement douloureux dans les 15 premières minutes après le retour dans l'enclos dans le groupe GTri par rapport au groupe T et un plus petit nombre de porcelets ayant observé un ou plusieurs comportements douloureux. Cela reflète un effet de réduction de la douleur plus important dans le groupe GTri par rapport au groupe T lorsque les porcelets sont retournés dans l'enclos, qui est plus prononcé dans les 15 premières minutes.

**Tableau 5** - Nombre de porcelets sans ou avec  $\geq$  une observation de comportements de douleur pour chaque groupe : « GTri » et « T ». Résultats de comparaison des proportions avec des tests du chi deux

	Intervalle de temps entre la fin de la castration et le retour dans la case											
	15min				40 min				Temps total			
	GTri (n=47)	T (n=53)	Total (n=100)	P	GTri (n=47)	T (n=53)	Total (n=100)	P	GTri (n=47)	T (n=53)	Total (n=100)	P
Nombre de porcelets avec $\geq$ une observation de comportement de douleur	22 (47%)	37 (70%)	59 (59%)	0,033	35 (74%)	42 (79%)	77 (77%)	0,74	44 (94%)	47 (89%)	91 (91%)	0,6
Nombre de porcelets sans observation de comportement de douleur	26 (55%)	16 (30%)	42 (42%)	0,019	13 (28%)	11 (21%)	24 (24%)	0,57	4 (9%)	6 (11%)	10 (10%)	0,89

### 3. DISCUSSION

Il y a un besoin urgent de trouver des solutions pour les élevages qui devront continuer à castrer les porcelets mâles tout en

répondant aux contraintes de respect du bien-être animal, législatives et économiques. Ces protocoles doivent être efficaces, pratiques et sûrs d'utilisation. Cette étude visait à étudier l'efficacité et la faisabilité terrain en France d'un

protocole associant (i) sucrose 30% administré par voie orale, (ii) l'instillation d'un gel anesthésique associant deux anesthésiques locaux, de l'adrénaline et un antiseptique, (iii) du méloxicam par injection intra-musculaire.

Plusieurs autres essais de protocoles médicamenteux ont été rapportés dans la littérature avec des résultats parfois discordants et des comparaisons de résultats rendus difficiles par les différentes méthodes de mesures de la douleur employées en l'absence de mesure de référence (« *gold standard* »). Ainsi, on trouve l'utilisation de plusieurs mesures indirectes telles que des réponses physiologiques, motrices ou vocales, des scores de grimaces faciales, des mesures utilisant la thermographie ou des observations de perturbation du comportement en post-opératoire. Il est alors généralement admis qu'il faut mesurer au moins deux variables indicatrices de douleur par critère de mesure. Dans une revue récente de la littérature, les réponses motrices et vocales pendant l'opération et les observations comportementales en post opératoires qui ont été suivies dans cette étude ont été soulignées comme étant parmi les indicateurs de mesure de la douleur les plus sensibles et spécifiques (Sheil et Polkinghorne, 2020).

Malgré cela, on peut noter que les observations de comportements pouvant signaler de la douleur en post opératoire ne sont pas simples. Dans cet essai, elles ont été réalisées par quatre opérateurs différents tous vétérinaires spécialistes de l'espèce porcine. Un entraînement commun préalable visait à s'assurer de réduire la variabilité inter-opérateurs mais celle-ci n'a pu être complètement exclue et a pu avoir un impact sur les résultats observés. Par ailleurs, la spécificité du comportement « mouvement de la queue » s'est avéré discutable dans notre cas.

Le sucrose à 30% administré par voie orale semble dans cette étude potentiellement intéressant pour certains opérateurs pour gérer l'inconfort du porcelet lors de sa manipulation et de l'incision cutanée. Ainsi le résultat est significatif lors de la mesure de l'aire sous la courbe des cris reflétant une mesure totale des vocalises même si le résultat n'est pas significatif sur le pic de cri. Il est alors important que son administration se fasse en sorte de favoriser la succion de la solution par l'animal. L'essai confirme aussi les résultats de Sheil *et al.* (2021), relatifs à l'efficacité du gel anesthésique pour gérer la douleur per-opératoire et immédiatement après le retour dans la case des porcelets dans un contexte de terrain en France. L'utilisation du gel anesthésique en instillation locale a l'avantage de ne pas nécessiter d'injection intra-testiculaire à l'aide d'une aiguille, qui peut être une procédure délicate et technique à réaliser en

conditions de terrain, parfois en extérieur et qui peut être elle-même douloureuse (Sheil *et al.*, 2021). L'utilisation d'anti-inflammatoire non stéroïdiens comme le méloxicam apparaît néanmoins aussi nécessaire pour prolonger l'effet analgésique. Selon l'autorisation de mise sur le marché, le méloxicam doit être administré au moins 30 minutes avant la chirurgie et non après la chirurgie comme cela a été fait dans notre essai. Cependant, afin d'éviter l'inconvénient d'une double manipulation des porcelets et donc d'un stress supplémentaire, nous avons choisi de l'utiliser à la fin de la castration. La seconde raison était que son effet pouvait prendre le relais de celui du gel anesthésique qui était rapporté comme agissant encore au moins 2 heures après la chirurgie (Sheil *et al.*, 2021).

Dans l'essai, afin de rendre les mesures les plus standardisées possibles et donc comparables, un système de contention fixe a été utilisé après l'administration orale de sucrose à 30%. Nous avons constaté que l'utilisation de ce système n'était pas optimale sur le terrain en France en raison de la variabilité de la taille et du poids des porcelets à castrer et d'une manipulation stressante pour les porcelets, même si elle peut présenter des avantages en termes d'ergonomie pour l'opérateur. Une étude supplémentaire a donc été menée afin d'affiner la technique applicable en élevage « plein air » et « bâtiment ». Au cours de celle-ci, chaque opérateur a eu la possibilité d'adopter la procédure qui lui semblait la plus pertinente compte tenu des contraintes minimales à respecter pour garantir l'efficacité du protocole, mais aussi de ses habitudes de travail et de la configuration de l'élevage. Dans tous les cas, la contention a été manuelle. Il est aussi apparu que l'organisation du travail par lots de deux portées s'avérait être le procédé permettant la meilleure optimisation du temps pour l'opérateur tout en garantissant l'efficacité des médicaments utilisés.

## CONCLUSION

Il est pertinent de proposer aux acteurs de terrain un protocole de prise en charge de la douleur associant le gel anesthésique testé dans cette étude, à l'utilisation de méloxicam en intra-musculaire. Par ailleurs, dans la mesure où l'administration de sucrose semble présenter un avantage, comme suggéré dans cet essai, pour réduire la douleur à l'incision, son administration pourrait se faire de façon concomitante avec le méloxicam par voie orale si le méloxicam avait une présentation adaptée à cette voie d'administration pour cette catégorie d'animaux (porcelets). Cet aménagement du protocole permettrait une réduction des manipulations et donc un gain de temps, ainsi que la suppression de toute procédure d'injection.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Carbajal R., Gréteau S., Arnaud C., Guedj R., 2015. Douleur en néonatalogie. Traitements non médicamenteux. Arch. Pediatr., 22(2), 217-21.
- Courboulay V., Hemonic A., Gadonna M., Prunier A., 2010. Castration avec anesthésie locale ou traitement anti-inflammatoire : quel impact sur la douleur des porcelets et quelles conséquences sur le travail en élevage ? Journées Rech. Porcine, 42, 27–34.
- Davis K., Seddon Y., Creutzinger K., Bouvier M., Brown J., 2017. An investigation into the use of sucrose to reduce castration pain in piglets. Can J. Anim. Sci., 97, 439–47.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Sheil M., Polkinghorne A., 2020. Optimal methods of documenting analgesic efficacy in neonatal piglets undergoing castration. Animals, 10(9), 1450. Doi: 10.3390/ani10091450.
- Sheil M., De Benedictis GM, Scollo A, Metcalfe S, Innocent G, Polkinghorne A, Gottardo F., 2021. Efficacy of intra-operative topical wound anesthesiati mitigate piglet castration pain – a large multi-centered field trial. Animals, 11(10) 2763. doi: 10.3390/ani11102763

# Détection précoce des diarrhées chez les porcelets sevrés à partir des données d'abreuvement, d'alimentation et de poids

Johan THOMAS, Yvonnick ROUSSELIERE, Michel MARCON, Anne HEMONIC

IFIP-Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex, France

[johan.thomas@ifip.asso.fr](mailto:johan.thomas@ifip.asso.fr)

## Détection précoce des diarrhées chez les porcelets sevrés à partir des données d'abreuvement, d'alimentation et de poids

La détection précoce de pathologies en élevage porcin est une piste prometteuse pour aider les éleveurs à surveiller la santé des animaux, réduire les usages d'antibiotiques et traiter de façon ciblée les animaux malades. L'objectif de cette étude est d'évaluer la valeur prédictive des consommations individuelles d'eau et d'aliment, en fonction du poids vif, pour détecter précocement l'apparition de diarrhée chez des porcelets sevrés. Quinze lots de 102 porcs, logés dans des cases équipées de nourrisseurs, abreuvoirs et bascules connectées, ont été identifiés individuellement par des boucles RFID et leur état sanitaire a été suivi quotidiennement. Les résultats ont montré que les consommations moyennes d'eau et d'aliment des porcs sains n'ont pas été significativement différentes selon leur catégorie de poids (lourd, moyen, léger), sauf en cinquième semaine en lien avec le niveau d'abreuvement atypique d'un porc lourd. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre les consommations moyennes d'eau des animaux sains et malades, ni le jour de l'observation de la diarrhée ni deux jours avant. A l'inverse, une différence significative a été notée entre les consommations alimentaires moyennes des porcelets sains et diarrhéiques sur la première période du post-sevrage, à la fois le jour même d'apparition de la diarrhée, 24 heures et 48 heures avant. Néanmoins, les méthodes d'apprentissage automatique testées n'ont pas permis une détection précoce des diarrhées de manière efficace, les résultats de sensibilité et de spécificité étant insuffisants (respectivement 74 et 58 %) pour une utilisation pertinente sur le terrain. Pour les études futures, de nouveaux paramètres comme la mesure automatique de la température corporelle ou la localisation des porcelets dans la case par analyse d'images pourraient améliorer les performances de ces méthodes.

## Early detection of diarrhoea in weaned piglets from individual feed, water and weighing data

Detecting diseases early in pig farming is a promising way to help breeders monitor animal health, reduce antibiotic use and treat sick animals in a targeted manner. This study analysed individual water and feed consumption as a function of the live weight of weaned piglets and its relation to diarrhoea. Data were collected from 15 batches of 102 piglets each, using specific automata (i.e. connected feeders, connected drinkers, automatic weighing stations, RFID ear tags), and piglet health status was monitored daily. Analysis used seven machine learning methods. Mean water and feed consumption of healthy pigs did not differ significantly among weight categories, except in week five, due to atypical water consumption by a heavy pig. In addition, mean water consumption did not differ significantly between healthy and sick piglets, either on the day that diarrhoea was observed or two days before. However, mean feed consumption of healthy piglets and those with diarrhoea did differ significantly from day 4-9 post-weaning and even 24 and 48 h before the onset of clinical signs. Nevertheless, the machine-learning methods tested did not provide effective early detection of diarrhoea, due to insufficient sensitivity and specificity of results (74% and 58%, respectively) for field use. In future studies, new parameters such as automatic measurement of body temperature or location of piglets in the pen by image analysis could improve the performance of these methods.

## INTRODUCTION

La lutte contre l'antibiorésistance est un défi majeur et mondial de santé publique, qui concerne à la fois la médecine humaine et la médecine vétérinaire. La résistance aux antibiotiques est un phénomène naturel mais le mauvais usage de ces médicaments chez l'homme et l'animal accélère le processus. Un usage raisonné des antibiotiques est donc essentiel. En élevage, différents leviers d'action sont possibles pour y arriver comme la prévention des maladies par la biosécurité ou la vaccination par exemple. La détection précoce des pathologies est une autre piste prometteuse pour réduire les usages d'antibiotiques. Elle permettrait de traiter de façon plus ciblée et rapide les animaux malades, ce qui limiterait la propagation de la maladie et augmenterait l'efficacité du traitement (Ferran *et al.*, 2011 ; Lhermie *et al.*, 2016).

Le suivi en continu du comportement des porcs a été exploré dans différentes études pour établir des diagnostics précoces (Matthews *et al.*, 2016 ; Miller *et al.*, 2019 ; Alameer *et al.*, 2020). Différentes techniques d'élevage de précision ont été mobilisées (analyse d'images ou de sons) et des résultats intéressants sont ressortis pour améliorer la gestion des élevages (Berckmans, 2004 ; Cornou et Kristensen, 2013). L'objectif de cet article est d'évaluer la valeur prédictive des consommations individuelles d'eau et d'aliment, en fonction du poids vif, pour détecter précocement l'apparition de diarrhée chez des porcelets sevrés.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Les animaux

L'étude a porté sur 15 bandes de 102 porcelets sevrés à 28 jours d'âge et élevés dans une salle de post-sevrage pendant 5 semaines. Les porcs étaient répartis dans six cases de 17 animaux, selon un allotement prenant en compte la portée (quatre maximum par case), le sexe du porcelet (sexe-ratio de 50/50) et le poids au sevrage. A chaque bande, deux cases regroupaient des porcs d'une même catégorie de poids moyen : légers ( $6,7 \pm 0,46$  kg), moyens ( $8,0 \pm 0,38$  kg) et lourds ( $9,5 \pm 0,56$  kg).

### 1.2. Les automates

Chaque case disposait de deux nourrisseurs connectés pour l'enregistrement des consommations d'aliment, d'un abreuvoir connecté pour la collecte des consommations d'eau et d'un plateau peseur connecté pour l'enregistrement des poids vifs des porcelets, le tout en temps réel.

Chaque porcelet était équipé d'une puce RFID basse fréquence (*Radio Frequency Identification*) positionnée à l'oreille, communiquant par radiofréquence avec les automates. Le nourrisseur connecté était constitué d'une auge équipée d'une sonde capable de détecter la présence d'aliment sec, d'une antenne RFID pour identifier les porcelets et d'un moteur relié à une vis sans fin. Dès que la sonde était découverte, la micro-vis distribuait une nouvelle dose d'aliment de 10 grammes ( $\pm 2$  g) à chaque porcelet (Rousselière *et al.*, 2020a).

L'abreuvoir connecté, Aqualab, était constitué d'un abreuvoir bol de marque Suevia, réglé à 1 l/min ( $\pm 10$  ml), relié à un compteur d'eau, et d'une antenne RFID (Rousselière *et al.*, 2016). Chaque abreuvoir était associé à un plateau peseur suspendu à l'aide de deux jauges de contraintes, à l'avant et à l'arrière, permettant une pesée précise des animaux venant s'abreuver à  $\pm 10$  grammes (Marcon *et al.*, 2018).

### 1.3. La conduite des animaux

Les porcelets étaient nourris *ad libitum* durant la totalité de l'essai. Un aliment 1<sup>er</sup> âge standard du commerce était distribué durant les 14 premiers jours d'essai, puis les animaux étaient nourris avec un aliment 2<sup>ème</sup> âge jusqu'à leur sortie. L'ambiance de la salle était gérée par un boîtier de régulation paramétré selon les standards recommandés, à savoir 28°C à l'entrée des porcelets et une descente progressive jusqu'à 24°C à leur sortie. Le boîtier pilotait les ventilateurs de la salle et les chauffages installés au-dessus de chacune des cases.

### 1.4. Les observations sanitaires

Dans le but de collecter un maximum d'information sur l'état de santé individuel des animaux, des observations quotidiennes sur les porcs, réalisées par les animaliers, étaient complétées par des observations plus poussées trois fois par semaine par des techniciens spécialisés. L'ensemble des problèmes sanitaires étaient notés selon une grille normalisée. Notamment, pour l'aspect digestif, la notation suivante était utilisée : D0 = déjections normales, D1 = fèces molles, D2 = diarrhée marquée. Les autres signes cliniques (problèmes respiratoires, locomoteurs, nerveux, les plaies ...) étaient aussi notés pour discriminer les animaux sains des animaux malades, mais ces pathologies n'ont pas été étudiées dans le cadre de cet article.

### 1.5. L'analyse des données

#### *La sélection des animaux inclus dans l'analyse des données*

Après nettoyage de la base de données pour retirer les valeurs aberrantes (compteur d'eau défectueux, coupure de courant, puce RFID perdue, ...), 53 550 lignes (une ligne représente un animal, un jour donné) ont été utilisées pour les analyses. Sur les 1 530 porcelets présents dans la base de données, 138 (soit 9% des animaux) n'ont présenté aucun symptôme de diarrhée ou autres signes cliniques durant toute la période de post-sevrage. Ces animaux constituent le groupe sains. Il faut noter que ce groupe est réduit à 122 animaux pour les semaines 1, 2 et 3 du fait du nettoyage de la base de données. Un total de 1 143 animaux a été noté D1 et/ou D2 (soit 4 254 lignes) et utilisé pour les analyses. Au total, plus de 44 000 lignes n'ont pas été exploitées dans la base de données, car elles correspondaient à des porcs ayant présenté d'autres signes cliniques que des diarrhées (toux, boiterie, plaies...) ou à des jours d'essais présentant des données manquantes (liée à la difficulté d'avoir une notation individuelle de l'état de santé de chaque porcelet tous les jours) ou aberrantes (par exemple, dues à une fuite d'eau à un abreuvoir). Par ailleurs, dans les cas où la diarrhée d'un porc durait plusieurs jours, seules les données correspondant au premier jour de cette diarrhée ont été retenues pour constituer le groupe d'animaux « malades », afin de comparer leur comportement à celui des animaux « sains », l'objectif de l'étude étant la détection précoce des diarrhées.

#### *Création de variables pour l'analyse*

Les consommations d'eau et d'aliment étant directement liées au poids vif des animaux, elles ont systématiquement été divisées par le poids vif pour être exprimées respectivement en g/g et ml/g de manière à pouvoir comparer des résultats d'animaux indépendamment de leur poids à un âge donné.

Par ailleurs, pour représenter l'évolution du comportement du porcelet en fonction du temps et de sa santé digestive lors des

analyses via l'apprentissage automatique (*machine learning*), les variables suivantes ont été ajoutées : le cumul, depuis le début de l'essai, des consommations ; les moyennes mobiles sur 2 et 3 jours des consommations d'eau et d'aliment. Ces moyennes mobiles ont permis d'obtenir un résultat prenant en compte le jour (J-1) ou les deux jours (J-1 et J-2) précédant l'apparition de la diarrhée (J), ce qui illustre les dynamiques de consommations d'eau et d'aliment du porcelet juste avant qu'il ne soit cliniquement malade.

#### *L'analyse des données, les tests statistiques et l'apprentissage automatique*

Tout d'abord, les consommations journalières d'eau et d'aliment des animaux sains ont été étudiées. Les résultats des trois catégories de poids ont été visualisés par des boîtes à moustache et comparés un à un par un test de Tukey (logiciel Python). Les analyses ont été réalisées avec les données des jours 2 à 36, regroupées par semaine du vendredi au vendredi. Le jour 1, qui correspondait à l'arrivée en post-sevrage n'a pas été pris en compte dans ces analyses car le comportement des porcelets était fortement modifié par leur arrivée dans un nouvel environnement.

La variabilité intra-individuelle des consommations d'eau et d'aliment chez les animaux sains a été évaluée par le calcul du coefficient de variation (rapport entre l'écart type et la moyenne) de chaque porc semaine par semaine. Une moyenne a ensuite été calculée avec les coefficients obtenus pour tous les porcs.

Ensuite, les consommations d'aliment et d'eau des groupes sains et malades ont été comparées jour par jour par un test de Tukey pour évaluer les différences entre les moyennes. En raison d'un nombre important de données et d'effectif déséquilibré, la normalité n'a pas été vérifiée avant le test de Tukey, en accord avec la documentation `scipy.stats.shapiro`. L'objectif était de vérifier si un animal diarrhéique se nourrissait ou s'abreuvait différemment d'un animal sain et, si oui, combien de jours à l'avance. Les comparaisons ont donc été faites le jour même du début de la diarrhée, et également 24 h et 48 h avant. Pour ces comparaisons, les 4 premiers jours de l'essai ont été retirés de l'analyse des données. En effet, durant les premiers jours, qui correspondait au sevrage, les porcelets exprimaient un comportement exploratoire pour la découverte de leur nouvel environnement : absence de la mère, automates d'alimentation et d'abreuvement, nouveaux congénères dans la case, etc. Pour les jours 3 et 4, les observations de santé étaient réduites en raison du week-end. Le début de l'analyse des données a donc commencé le lundi suivant le sevrage, c'est-à-dire le cinquième jour de présence dans la salle, avec des données fiables. Par ailleurs, en l'absence de porcs observés malades les jours 31, 32, 34 et 36 ont été exclus de la comparaison entre les données « sains » et « malades » car ils ne répondaient pas à l'objectif de cette étude basée sur la détection précoce des diarrhées.

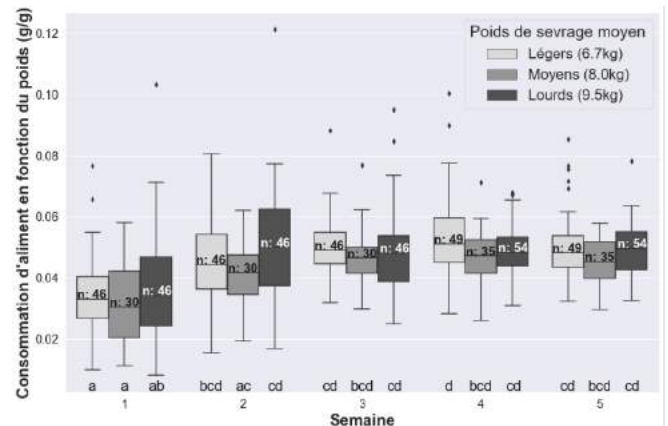
Enfin, une approche d'apprentissage automatique utilisant le package `scikit-learn` du langage Python via le logiciel Jupyter a été réalisée en testant sept méthodes différentes (régression logistique, analyse discriminante linéaire, méthode des k plus proches voisins, arbres de décision, classification naïve gaussienne de Bayes, machines à vecteurs de support et forêt aléatoire). L'objectif était de trouver la méthode la plus précise pour classer les porcelets dans les deux groupes sains ou

malades selon les caractéristiques de leurs consommations d'eau et d'aliment. La base de données a été scindée en un jeu d'apprentissage (n=10 bandes) et un jeu de test (n=5). Pour comparer les résultats, nous avons calculé la spécificité et la sensibilité, qui permettent, respectivement, d'évaluer le taux des fausses alertes envoyées par l'algorithme et, a contrario, le taux de malades non détectés par la méthode.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Consommations d'aliment et d'eau des animaux sains

Les consommations d'aliment (Figure 1) et d'eau (Figure 2) des porcelets ont été comparées semaine par semaine selon leur catégorie de poids. Pour les données d'alimentation, il n'y a pas eu de différence significative entre les catégories de poids pour une semaine donnée. Au niveau de l'abreuvement, une différence significative a été observée entre le groupe des légers et celui des lourds, en semaine 5 ( $P < 0,05$ ). Ce résultat est expliqué par la présence d'un porcelet très consommateur d'eau dans le groupe des lourds en semaine 5 (également présent en semaine 4, mais sans entraîner de différence significative).

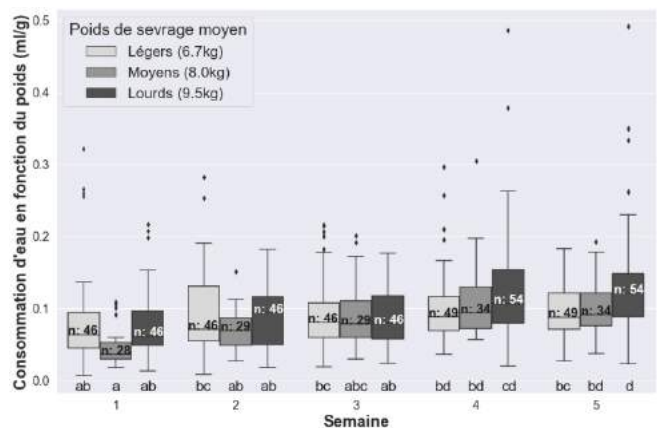


**Figure 1** - Comparaisons de la consommation d'aliment (exprimée en proportion du poids des porcelets sains pendant les 5 semaines de post-sevrage

Des lettres différentes indiquent que les moyennes sont significativement différentes selon le test de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Par ailleurs, la consommation moyenne d'aliment a augmenté à partir de la 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> semaine, où elle a été significativement plus élevée que lors de la première semaine. Ainsi, elle est passée de 3,4 à 4,9 % du poids vif entre le début et la fin de la période de post-sevrage. La consommation moyenne d'eau a également évolué de semaine en semaine : elle est passée de 7,1 à 11,3 % du poids vif entre le début et la fin de la période.

La variabilité intra-individuelle des consommations d'eau et d'aliment est présentée dans le tableau 1 à partir de la moyenne des coefficients de variation (CV) de chacun des 122, puis 138 porcs sains semaine par semaine. Des coefficients très similaires ont été observés entre les catégories de poids pour la même semaine avec une différence maximale de 5 %, tant pour la consommation d'aliment que d'eau. A noter également que les coefficients, et donc les variabilités intra-individuelles, ont diminué au fur et à mesure de l'essai, passant de 39 à 16 % pour l'alimentation et de 40 à 25 % pour l'abreuvement.



**Figure 2** - Comparaisons de la consommation d'eau exprimée en proportion du poids des porcelets sains pendant les 5 semaines de post-sevrage

Des lettres différentes indiquent que les moyennes sont significativement différentes selon le test de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## 2.2. Comparaison des consommations d'eau et d'aliment entre animaux sains et diarrhéiques

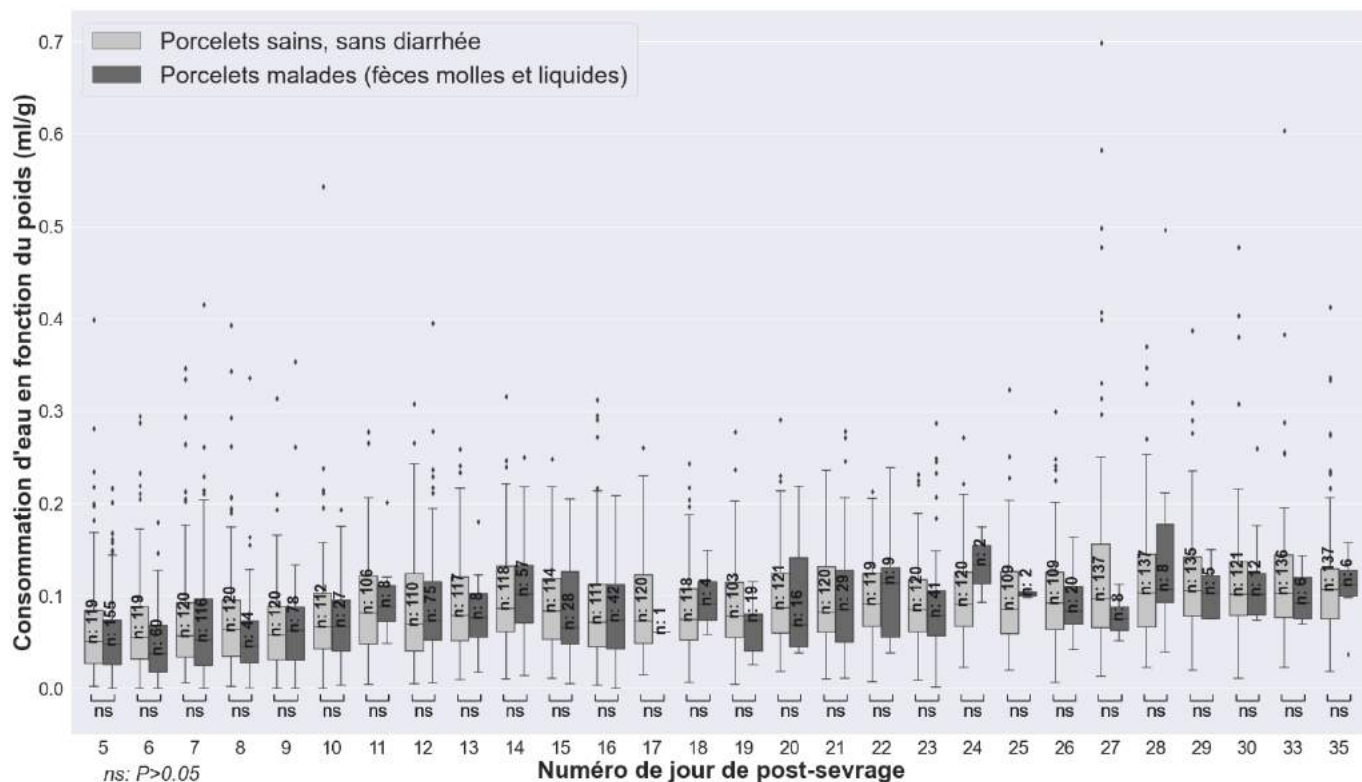
La comparaison des moyennes des consommations d'eau n'a montré aucune différence significative entre le groupe des animaux sains et celui des animaux malades le jour du début de la diarrhée (Figure 3). Cette observation est également valable pour les consommations des deux jours précédant la première notation de diarrhée.

En revanche, pendant les jours 5 à 8, des différences significatives ont été observées entre les moyennes des consommations d'aliment des animaux sains et des animaux malades, le jour même du démarrage de la diarrhée (Figure 4). Ces différences étaient également significatives pour les données recueillies 24 et 48 heures avant l'observation de la diarrhée. En effet, les animaux malades consommaient moins d'aliment que les animaux sains au minimum 2 jours avant l'apparition des signes cliniques. A partir du jour 9 et jusqu'à la fin du lot, les différences n'étaient plus significatives.

**Tableau 1** – Moyennes des coefficients de variation intra-individuelle des consommations d'eau et d'aliment en fonction du poids, semaine par semaine (en %)¹

Coefficients de Variation moyen de la consommation en fonction du poids (%)	Semaine 1			Semaine 2			Semaine 3			Semaine 4			Semaine 5		
	P	M	G	P	M	G	P	M	G	P	M	G	P	M	G
Alimentation	38	40	39	27	30	25	21	20	19	16	16	16	17	15	16
Abreuvement	38	42	41	37	42	37	29	27	31	27	23	25	27	24	24

¹P = Petits ; M = Moyens ; G = Gros



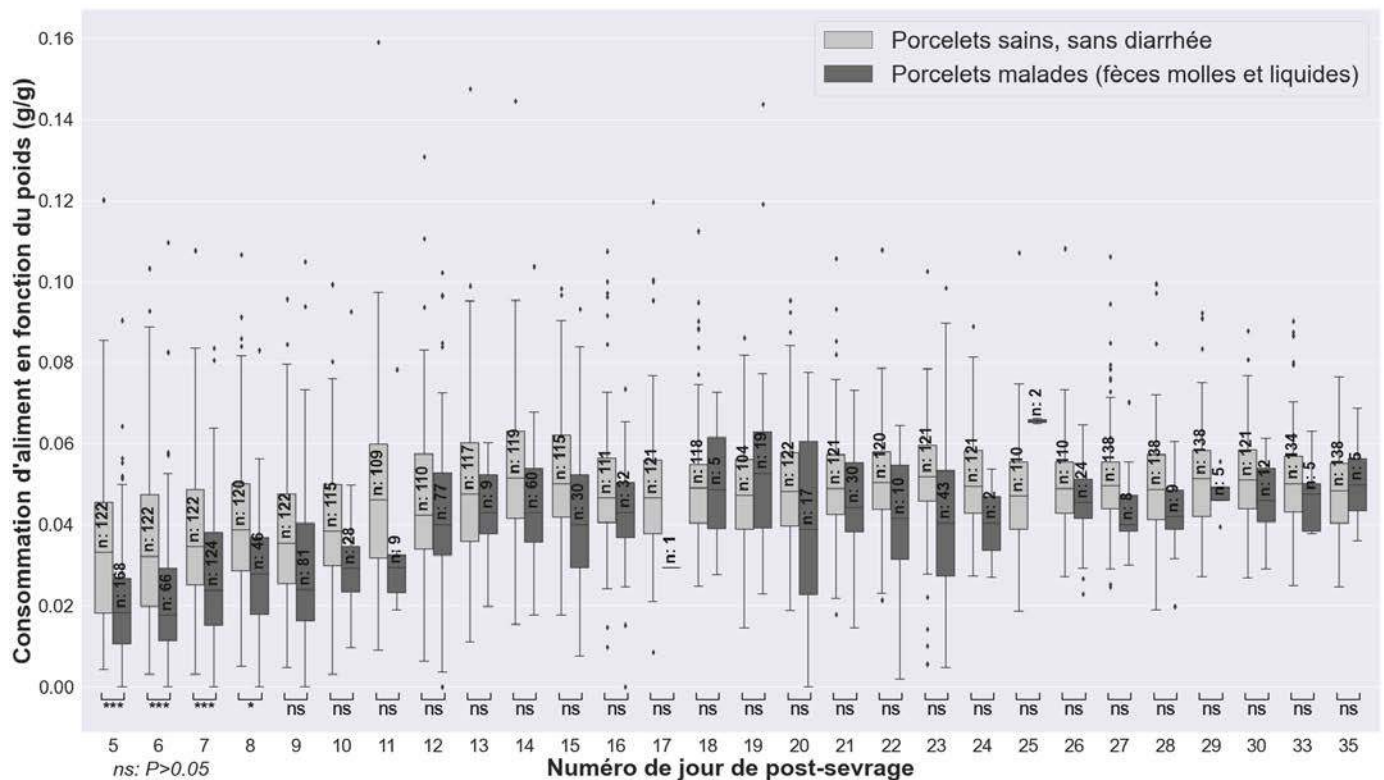
**Figure 3** - Comparaisons des consommation d'eau en fonction du poids des porcelets sains et diarrhéiques, le jour de l'apparition de la diarrhée.

## 2.3. Analyses des données avec des méthodes d'apprentissage automatique

Les résultats de sensibilité et de spécificité des sept méthodes testées sont présentés dans le tableau 2. La classification naïve

Gaussienne a présenté la meilleure sensibilité, avec un taux de 73,7 %. Cependant, sa spécificité n'a atteint que 58,0 % tandis que les autres méthodes ont toutes dépassé 80 voire 90 % mais avec des spécificités beaucoup plus faibles.





**Figure 4** - Comparaisons des consommations d'aliment en fonction du poids des porcelets sains et diarrhéiques, le jour de l'apparition de la diarrhée.

**Tableau 2** - Sensibilité et spécificité (en %) des méthodes d'apprentissage automatique testées pour la détection de diarrhée des porcelets à partir des consommations d'eau, d'aliment et du poids (en gras, la meilleure combinaison de résultats).

Méthodes d'apprentissage automatique	Sensibilité	Spécificité
Régression logistique	24,1	92,6
Analyse discriminante linéaire	33,1	90,6
Analyse des k plus proches voisins	21,9	95,3
Arbre de décision	30,9	81,9
Classification naïve bayésienne	<b>73,7</b>	<b>58,0</b>
Machines à vecteurs de support	16,2	96,9
Forêt aléatoire	26,5	92,6

**DISCUSSION**

Le suivi de 15 bandes de 102 porcelets a permis la création d'une base de données conséquente avec les consommations individuelles et quotidiennes d'eau, d'aliment et le poids des porcelets sevrés pour étudier la possibilité d'une détection précoce des diarrhées de post-sevrage.

Tout d'abord, cette étude a permis de montrer que les consommations d'aliment en proportion du poids ne variaient pas selon la catégorie de poids pour les porcelets sains sur toute la période de post-sevrage. Cette même conclusion est faite pour les consommations d'eau, hormis en semaine 5 où la présence d'un porcelet très gaspilleur d'eau a biaisé les résultats. Ces résultats sont particulièrement intéressants car ils

montrent qu'après le sevrage, les porcelets légers et lourds s'adaptent tous aussi bien aux automates d'alimentation et d'abreuvement, ce qui permet de s'affranchir de l'utilisation des catégories de poids lors de l'analyse des données pour la détection précoce des porcelets diarrhéiques.

Ensuite, les données collectées ont confirmé que les porcelets buvaient entre 7 et 11 % de leur poids vif, qu'ils soient sains ou malades, ce qui correspond aux données de précédentes études menées en France (Massabie *et al.*, 2013). Les données d'alimentation, comprises entre 3 et 5 % du poids vif, sont également cohérentes avec d'autres résultats obtenus avec le même protocole (Rousseliere *et al.*, 2020b). De même, le ratio de deux pour un entre l'eau et l'aliment précédemment établi (Mroz *et al.*, 1995) est ici respecté.

Par ailleurs, le fait que les animaux malades continuent à boire normalement, alors que leur consommation d'aliment baisse par rapport aux animaux sains est un résultat majeur : il confirme un postulat assez bien connu sur le terrain, mais cette étude le démontre statistiquement. Ce point est important lors du traitement des animaux malades : il est préférable d'administrer un traitement via l'eau de boisson, plutôt que via l'aliment.

Au vu de nos résultats, l'utilisation des consommations d'aliment a semblé plus pertinente que les consommations d'eau pour la détection précoce de diarrhées. En effet, des différences significatives pour les jours 5 à 8 ont été constatées entre les animaux sains et diarrhéiques, les porcs diarrhéiques consommant moins d'aliment par rapport à leur poids. Ce résultat a également été observé sur les jours précédents l'observation des diarrhées, ce qui pourrait être prometteur pour leur détection précoce. Néanmoins, aucune des sept méthodes d'apprentissage automatique n'a obtenu des résultats de sensibilité et de spécificité suffisants pour prétendre développer un système d'alerte pertinent auprès des éleveurs (le seuil acceptable à viser étant supérieur à 80% pour les deux indicateurs). Comme l'avait déjà supposé de premières

études (Rousselière *et al.*, 2019), c'est la très grande variabilité intra individuelle d'un jour à l'autre dans les consommations d'eau et d'aliment des animaux sains qui a représenté un véritable obstacle à la détection précoce des diarrhées. Avec un coefficient de variation moyen autour de 40% pour ces consommations lors de la première semaine de post-sevrage, aucune discrimination entre animaux sains et malades n'a été possible par les méthodes d'apprentissage automatique. Les mauvaises performances d'apprentissage peuvent aussi être reliées à la surreprésentation des animaux sains dans la base de données d'apprentissage. Malgré les méthodes de rééquilibrage des effectifs sains et malades, les résultats obtenus avec la base de test ont été dégradés.

Pour éviter l'écueil des variations inter et intra-individuelles élevées, de nouvelles approches à l'échelle de la case seront réalisées, avec notamment la localisation des porcelets dans la case pour étudier la fréquentation ou non de certaines zones.

## CONCLUSION

Les résultats ont montré que les consommations moyennes d'eau et d'aliment des porcs sains, exprimées en proportion du poids vif, n'étaient pas statistiquement différentes sur la période de post-sevrage selon leur catégorie de poids (lourd, moyen, léger). De plus, aucune différence significative n'a été observée entre la consommation moyenne d'eau des animaux sains et malades, ni le jour de l'observation de la diarrhée ni un et deux jours avant. En revanche, une différence significative a été notée entre la consommation alimentaire moyenne des

porcelets sains et malades du cinquième au huitième jour de post-sevrage, aussi bien le jour de l'observation de la diarrhée que 24 et 48 heures avant. Cependant, les méthodes d'apprentissage automatique n'ont pas permis d'obtenir un modèle permettant la détection précoce de la diarrhée avec une sensibilité et une spécificité, satisfaisantes pour un outil commercial sur le terrain (74 et 58 % respectivement). La raison de ces faibles résultats est la très grande variabilité inter et intra-individuelle de la consommation d'aliment par les animaux sains, ce qui complique fortement la discrimination des animaux diarrhéiques vis à vis des animaux sains. Pour les études futures, de nouveaux paramètres tels que la mesure automatique de la température corporelle ou la localisation des porcelets dans la case par analyse d'images pourraient améliorer les performances de ces méthodes. Si l'utilisation des données de quantité d'eau consommée ne semble pas pertinentes, le prochain objectif sera d'analyser le comportement d'abreuvement (horaires d'accès aux abreuvoirs, fréquence d'abreuvement...) qui a déjà donné des résultats intéressants dans d'autres études (Madsen et Kristensen, 2005 ; Jensen *et al.*, 2017).

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel de la station expérimentale de Romillé et les techniciens de l'Ifip : Lorena GIRRE, Delphine LOISEAU et Romain RICHARD. Cette étude fait partie du projet sino-européen HealthyLivestock, financé par le programme recherche et innovation H2020 de l'Union Européenne, sous le numéro d'agrément 773436.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alameer A., Kyriazakis I., Bacardit J., 2020. Automated recognition of postures and drinking behaviour for the detection of compromised health in pigs. *Sci. Rep.*, 10, 13665.
- Berckmans D., 2004. Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. In: F.Madec, G.Clement, ISPAIA (Eds), *Animal production in Europe: The way forward in a changing world*, 27-30. International Society for Animal Hygiene. Saint-Malo, France.
- Cornou C., Kristensen A.R., 2013. Use of information from monitoring and decision support systems in pig production: Collection, applications and expected benefits. *Livest. Sci.*, 157, 552-567.
- Ferran A.A., Toutain P.-L., Bousquet-Mélou A., 2011. Impact of early versus later fluoroquinolone treatment on the clinical; microbiological and resistance outcomes in a mouse-lung model of *Pasteurella multocida* infection. *Vet. Microbiol.*, 148, 292-297.
- Jensen D.B., Toft N., Kristensen A.R., 2017. A multivariate dynamic linear model for early warnings of diarrhea and pen fouling in slaughter pigs. *Comput. Electron. Agric.*, 135, 51-62.
- Lhermie G., Ferran A.A., Assié S., Cassard H., El Garch F., Schneider M., Woerhly F., Pacalin D., Delverdier M., Bousquet-Mélou A., Meyer G., 2016. Impact of timing and dosage of a fluoroquinolone treatment on the microbiological, pathological, and clinical outcomes of calves challenged with *mannheimia haemolytica*. *Front. Microbiol.*, 7, 237.
- Madsen T.N., Kristensen A.R., 2005. A model for monitoring the condition of young pigs by their drinking behaviour. *Comput. Electron. Agric.*, 48, 138-154.
- Marcon M., Rousselière Y., Hémonic A., 2018. Développement d'un dispositif de pesée individuelle et automatisée des porcelets en post-sevrage. *Journées Rech. Porcine*, 50, 243-244.
- Massabie P., Aubert C., Ménard J.L., Roy H., Boulestreau-Boulay A.L., Dubois A., Dezat E., Dennery G., Roussel P., Martineau C., Brunschwig P., Thomas J., Quilien J.P., Briand P., Coutant S., Fulbert L., Huneau T., Lowagie S., Magnière J.P., Nicoud M., Piroux D., Boudon A., 2013. Maîtrise des consommations d'eau en élevage : élaboration d'un référentiel, identification des moyens de réduction, construction d'une démarche de diagnostic. *Innov. Agron.*, 30, 87-101.
- Matthews S.G., Miller A.L., Clapp J., Plötz T., Kyriazakis I., 2016. Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs. *Vet. J.*, 217, 43-51.
- Miller A.L., Dalton H.A., Kanellos T., Kyriazakis I., 2019. How many pigs within a group need to be sick to lead to a diagnostic change in the group's behavior? *J. Anim. Sci.*, 97, 1956-1966.
- Mroz Z., Jongbloed A.W., Lenis N.P., Vreman K., 1995. Water in pig nutrition: physiology, allowances and environmental implications. *Nutr. Res. Rev.*, 8, 137-164.
- Rousselière Y., Hémonic A., Marcon M., 2016. Suivi individuel du comportement d'abreuvement du porcelet sevré. *Journ. Rech Porc.*, 48, 355-356.
- Rousselière Y., Hémonic A., Thomas J., Marcon M., 2019. Development of automata to improve individual management of health in pig production. In : *Precision Livestock Farming* (Eds), *Precision Livestock Farming '19*, 699-706. Precision Livestock Farming. Cork, Irlande.
- Rousselière Y., Hémonic A., Thomas J., Marcon M., 2020. Alimentation à volonté, individuelle et automatisée pour des porcelets en post-sevrage. *Journées Rech Porcine*, 52, 415-416
- Rousselière Y., Hémonic A., Thomas J., Marcon M., 2020b. Analyse descriptive individuelle du comportement alimentaire, d'abreuvement et de la prise de poids journalière de porcelets sains logés en post-sevrage. *Journ. Rech Porc.*, 52, 323-324.



# Panel INAPORC, suivi des usages d'antibiotiques en élevage de porcs en France entre 2010, 2016 et 2019

Alexandre POISSONNET (1), Isabelle CORRÉGE (1), Claire CHAUVIN (2), Anne HÉMONIC (1)

(1) IFIP-Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu, France

(2) Anses, BP53, 22440 Ploufragan, France

*alexandre.poissonnet@ifip.asso.fr*

## Monitoring of antimicrobial use on French pig farms from 2010-2016 and 2019 using INAPORC panels

The Ecoantibio plan was a success: pig exposure to antibiotics decreased by 41% from 2012-2017, far exceeding the initial goal of a 25% decrease. This study's objective was to understand the main areas of reduction in antibiotic use based on INAPORC panels, which were surveys of representative samples of farms performed in 2010, 2016 and 2019. In 2019, the INAPORC panel was based on 119 farms, randomly selected from the BDPORC database. Over the nine years, the mean number of treatment days for sows decreased by 52%, mainly in the last three years (-48%). Since 2016, premixes and powder as well as solutions decreased by 65% and 42%, respectively. The main reason for treatment remains urogenital problems (64%), mainly treated with tetracyclines. It decreased significantly for suckling piglets by 66%, with the reduction in powders and oral solutions, to 90%, with the stopping of premix use. Exposure of weaned piglets to antibiotics decreased by 78% from 2010-2019. Since 2016, however, this reduction began to slow down (-28%). Unlike all other previously Panel INAPORC, colistin is not used as a premix. Thus, it is not the antibiotic used the most during post-weaning. In fattening pigs, antibiotic use decreased by 81% from 2010-2019 and by 36% from 2016-2019. The INAPORC panel provides detailed references on antibiotic use in pig production and demonstrates the continued commitment to improving current practices.

## INTRODUCTION

Le plan Ecoantibio 1 a été un succès avec une baisse de l'exposition des porcs aux antibiotiques de 41% entre 2012 et 2017. Au-delà de ce bilan global issu des ventes d'antibiotiques par les laboratoires pharmaceutiques (Anses-ANMV, 2020), il est aussi important de décrire plus finement les modalités d'usage des antibiotiques à partir d'enquêtes en élevage, en détaillant les catégories d'animaux destinataires et les motifs de traitement. La mise en œuvre des quatre Panels INAPORC répond à cet objectif : ils produisent des références détaillées sur les usages d'antibiotiques en 2010, 2013, 2016 et 2019. L'article présente les résultats du Panel INAPORC 2019 et les évolutions d'usage d'antibiotiques par rapport à 2010 et 2016.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Toutes les éditions du Panel INAPORC sont réalisées selon une méthodologie identique : les élevages sont tirés au sort dans la base de données BDPORC selon trois critères (taille de l'élevage, orientation de l'élevage, région) afin d'obtenir un échantillon représentatif de la situation française. La liste des acquisitions d'antibiotiques réalisées par les élevages est obtenue auprès des différents ayants-droits. Une enquête téléphonique auprès des éleveurs précise les catégories d'animaux destinataires de ces antibiotiques (troupe, porcelet sous la mère, porc en post-sevrage et porc en engraissement) et les principaux motifs de traitement.

L'usage des antibiotiques est analysé avec l'un des indicateurs recommandés par l'Agence Européenne du Médicament

(EMA/286416/2012-Rev.1) : le nombre estimé de jours de traitement par animal (nDD / animal). Des tests non-paramétriques de Wilcoxon ont été réalisés deux à deux pour les comparaisons. Les fréquences d'élevages acquéreurs d'antibiotiques ont également été comparées entre les trois années (test de Khi-deux).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Composition du Panel 2019

Le fort taux de participation des éleveurs (67%) a permis d'obtenir un Panel de 119 élevages, malgré le désistement d'une organisation de producteurs au cours de l'étude. Soixante et un élevages ont des truies et des porcelets en maternité, 84 des porcs en post-sevrage et 108 des porcs en engraissement. Par ailleurs, l'objectif de représentativité du Panel par rapport à la production nationale a été atteint, aucune différence significative ne ressortant sur les critères testés.

### 2.2. Evolution des usages d'antibiotiques entre 2010 et 2019

Pour les truies, les précédents Panels INAPORC ne démontraient pas de diminution significative entre 2010 et 2016 (Hémonic *et al.*, 2019), ce qui devient le cas entre 2010-2019 et 2016-2019 (Tableau 1). Ce résultat est expliqué par la baisse importante des traitements collectifs par voie orale, la part des traitements curatifs individuels devenant ainsi plus importante (18% en 2019 contre 5% en 2016). Le principal motif de traitement reste les problèmes urogénitaux (64%), principalement traités par tétracyclines, avec une baisse

potentiellement imputable à la mise sur le marché d'un nouveau vaccin contre la leptospirose.

Concernant les porcelets sous la mère, l'usage d'antibiotiques a significativement baissé de 66% entre 2010 et 2019 et de 48% sur les trois dernières. Cette évolution s'explique par l'arrêt des traitements par prémélange, déjà observé depuis le Panel INAPORC 2013, et par une forte baisse de l'usage des poudres et solutions orales depuis 2016 (-90%). Les traitements injectables sont largement privilégiés pour cette catégorie d'animaux, principalement concernée par des problèmes digestifs et locomoteurs.

Les porcs en post-sevrage restent la catégorie d'animaux la plus utilisatrice d'antibiotiques en 2019 (55% des usages totaux), mais dans une proportion moindre qu'en 2010 (66%). Après avoir fortement et significativement baissé entre 2010 et 2016 (-78%), la réduction entre 2016 et 2019 ralentit (-28%) mais elle reste importante, à la limite de la significativité ( $p = 0,053$ ), mais elle ralentit (-28%). Contrairement aux années précédentes, la colistine n'est plus utilisée par prémélange et n'est donc plus l'antibiotique le plus utilisé en post-sevrage. Cela s'explique par la décision de la Commission Européenne, en mars 2015, de supprimer les indications d'usage préventif de la colistine orale et par l'objectif du plan Ecoantibio 2 de réduire de 50% en cinq ans l'exposition à la colistine.

L'utilisation d'antibiotiques est la plus faible en engraissement. 44% d'éleveurs ont indiqué ne pas faire de traitements en engraissement. En effet, dans les élevages avec une bonne maîtrise sanitaire, la prévalence des maladies infectieuses à ce stade est assez faible. Néanmoins, l'absence totale de traitement antibiotique en engraissement a pu être une simplification par certains éleveurs qui réalisent quelques traitements individuels très ponctuels. En effet, l'objectif n'est pas de tomber dans l'excès de s'interdire totalement l'usage d'antibiotique comme l'ont parfois soulevé certains éleveurs ou vétérinaires (Roguet *et al.*, 2022).

## CONCLUSION

A partir des années 2010, de nombreux efforts de réduction des usages d'antibiotiques ont été réalisés par tous les acteurs de la filière porcine, par l'activation de différents leviers techniques (Poissonnet *et al.*, 2021), réglementaires, ou la mise en place de démarches qualité « porcs élevés sans antibiotique » (Roguet *et al.*, 2022). Un ralentissement de la diminution commence à apparaître chez les porcs en post-sevrage, ce qui n'est pas surprenant. Les marges de baisse se réduisent au fil du temps. Une nouvelle législation sur les médicaments vétérinaires entrera en application le 28 janvier 2022 pour encourager encore davantage l'utilisation prudente des antibiotiques. Elle devrait entraîner des baisses d'usage dans certains élevages ayant des marges de progression.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par INAPORC. Les auteurs remercient les éleveurs, les vétérinaires et les fabricants d'aliment qui ont

participé à l'étude ainsi que l'Anses-ANMV et BDPORC pour l'accès à leur base de données.

**Tableau 1 – Usage des antibiotiques par catégories d'animaux**

	% nDD/a 2019	Evolution nDD/a (en %)*		% élevages concernés*
		2010→19	2016→19	
<b>TRUIES</b>				
Usage global	100%	-52	-48	97-94-92
<b>Par forme pharmaceutique</b>				
Poudres**	56%	-26	-42	39 <sup>a</sup> -32 <sup>ab</sup> -26 <sup>b</sup>
Prémélanges	26%	-72	-65	24-21-10
Injectables	18%	-45	-23	93-91-92
<b>Par famille d'antibiotiques</b>				
Tétracyclines	62%	-40	-59	34-35-28
Pénicillines	15%	-47	+23	81-82-84
TMP - Sulfa	13%	-34	+6	20-15-11
<b>Par motif de traitement</b>				
Urogénital	64%	-52	-44	71-71-67
Systémique	19%	9	-47	51-58-54
<b>PORCELETS EN MATERNITE</b>				
Usage global	100%	-66	-53	87-86-84
<b>Par forme pharmaceutique</b>				
Injectables	92%	-51	-32	82-86-84
Poudres**	8%	18	-90	14-18-15
Prémélanges	0%	-100	=	14 <sup>a</sup> -0 <sup>b</sup> -0 <sup>b</sup>
<b>Par famille d'antibiotiques</b>				
Pénicillines	50%	-46	-59	64-74-72
Aminosides	13%	-44	-32	28-32-34
Macrolides	13%	58	=	8 <sup>a</sup> -18 <sup>b</sup> -25 <sup>b</sup>
<b>Par motif de traitement</b>				
Digestif	45%	-70	-51	68-63-62
Locomoteur	45%	-52	+2	57-54-61
<b>PORCS EN POST-SEVRAGE</b>				
Usage global	100%	-78	-28	96 <sup>a</sup> -80 <sup>b</sup> -88 <sup>b</sup>
<b>Par forme pharmaceutique</b>				
Poudres**	50%	-44	-33	64-62-64
Prémélanges	48%	-87	-22	84 <sup>a</sup> -32 <sup>b</sup> -27 <sup>b</sup>
Injectables	2%	-37	-25	68 <sup>ab</sup> -61 <sup>a</sup> -74 <sup>b</sup>
<b>Par famille d'antibiotiques</b>				
Tétracyclines	20%	-69	-9	52 <sup>a</sup> -36 <sup>b</sup> -20 <sup>c</sup>
Colistine	17%	-91	-63	89 <sup>a</sup> -58 <sup>b</sup> -50 <sup>b</sup>
Pénicillines	16%	-38	-9	66 <sup>ab</sup> -59 <sup>a</sup> -73 <sup>b</sup>
<b>Par motif de traitement</b>				
Digestif	36%	-88	-56	90 <sup>a</sup> -70 <sup>b</sup> -63 <sup>b</sup>
Systémique	29%	-30	+34	36-32-42
Respiratoire	27%	-64	-10	47 <sup>a</sup> -39 <sup>ab</sup> -29 <sup>b</sup>
<b>PORCS EN ENGRAISSEMENT</b>				
Usage global	100%	-81	-36	81 <sup>a</sup> -65 <sup>b</sup> -56 <sup>b</sup>
<b>Par forme pharmaceutique</b>				
Poudres**	63%	-57	-19	43 <sup>a</sup> -34 <sup>ab</sup> -29 <sup>b</sup>
Prémélanges	32%	-91	-55	29 <sup>a</sup> -14 <sup>b</sup> -5 <sup>c</sup>
Injectables	5%	-65	-24	69 <sup>a</sup> -48 <sup>b</sup> -51 <sup>b</sup>
<b>Par famille d'antibiotiques</b>				
Tétracyclines	35%	-76	-37	44 <sup>a</sup> -27 <sup>b</sup> -19 <sup>b</sup>
Macrolides	30%	-82	-14	41 <sup>a</sup> -29 <sup>b</sup> -21 <sup>b</sup>
<b>Par motif de traitement</b>				
Respiratoire	45%	-82	-55	63 <sup>a</sup> -41 <sup>b</sup> -33 <sup>b</sup>
Digestif	36%	-82	-3	36 <sup>a</sup> -19 <sup>b</sup> -21 <sup>b</sup>

\* cases grisées ou lettres différentes si différence significative ( $p < 0,05$ )

\*\*poudres, solutions et pâtes orales

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anses-ANMV, 2020. Suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques en France en 2019. 97 p
- Hémonic A., Poissonnet A., Chauvin C., Corrége I., 2019. Evolution des usages d'antibiotiques dans les élevages de porcs en France entre 2010 et 2016 au travers des panels INAPORC. Journées Rech. Porcine, 51, 277-282.
- Poissonnet A., Cavarait C., Corrége I., Badouard B., Hémonic A., 2021. Evaluation rétrospective de plans d'intervention pour réduire l'usage des antibiotiques en élevage de porcs. Journées Rech. Porcine, 53, 277-282.
- Roguet C, Hémonic A., 2022. Les filières « porcs élevés sans antibiotiques » en France : caractéristiques, atouts, limites et perspectives
- Projet européen ROADMAP». Journées Rech. Porcine, 54, xx-xx

# San€co'Sim et GT-Direct, deux outils pour estimer le coût des mesures de biosécurité et envisager leur retour sur investissement

Alexandre POISSONNET, Alexia AUBRY, Yvonnick ROUSSELIERE, Isabelle CORREGE  
IFIP-Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu, France

*alexandre.poissonnet@ifip.asso.fr*

## San€co'Sim and GT-Direct, two tools for estimating investment and operating costs of biosecurity measures and considering the return on investment

Biosecurity measures help improve animal health, but farmers perceive them as constraints that require investment or changes in practices. One way to overcome these prejudices is to estimate the investment and/or operating costs of biosecurity measures and to relate them to an improvement in the performance of the farm. Ifip has developed two tools to calculate the cost of future projects related to biosecurity measures and to estimate the return on investment due to improved technical and economic performance. San€co'Sim is an interactive web tool that estimates the costs of more than 150 biosecurity measures. Based on the minimum and maximum costs of each measure, valued from detailed quote, equipment manufacturers catalogue and quantified in experimental station, users enter a cost that they can adapt to their situations. The tool estimates total and annual expenses for implementing one or more of these measures. A total and annual cost is calculated for each project that users wish to assess. This tool is for breeders and technicians. This tool is freely available, it is enough to create an account. From a GT-Direct account, in the 'Calculate' tab, an economic calculator allows users to study scenarios that involve changes in technical or economic criteria between two equilibrium situations. By estimating technical improvements due to implementing biosecurity measures, users can thus calculate the return on investment between the situation before and after the implementation.

## INTRODUCTION

La mise en place de mesures de biosécurité en élevage contribue à l'amélioration de la santé des animaux. Or, ces démarches sont souvent perçues comme des contraintes nécessitant des investissements importants ou des modifications de pratiques par les éleveurs (Rojo-Gimeno *et al.*, 2016), sans gain économique direct associé. L'un des moyens de lever ces *a priori* est d'estimer les coûts d'investissement et / ou de fonctionnement des mesures de biosécurité et de les mettre en relation avec une amélioration attendue des performances des animaux (Alarçon *et al.*, 2013). L'ifip a développé San€co'Sim, un outil permettant d'évaluer le coût de mise en place de projets liés à la biosécurité. Le lien direct de cet outil avec le calculateur de GT-Direct (Aubry *et al.*, 2014) permet d'estimer le retour sur investissement lié à une amélioration associée des performances.

### 1. ESTIMER LE COUT DE LA BIOSECURITE

#### 1.1. Recensement des coûts des mesures

Les coûts de plus de 150 mesures de biosécurité ont été recensés à partir de catalogues professionnels, de devis fournis par des organismes de production et des éleveurs, et de mesures réalisées en élevage. Ces coûts sont répartis en quatre catégories de dépenses : les investissements, les consommables, le temps de travail et le nettoyage-désinfection.

### 1.2. Fonctionnement de San€co'Sim

#### 1.2.1. Modalités d'accès

San€co'Sim est un outil web en accès libre (<https://sanecosim.ifip.asso.fr>) qui regroupe de façon simplifiée et interactive les coûts des principales mesures de biosécurité recensées. Il s'articule autour d'un tableau de bord permettant d'accéder à 12 grandes thématiques : organisation des zones de l'exploitation, transfert des animaux, sas sanitaire, entrée et stockage du matériel aliments et litière, quarantaine, départ des animaux, équarrissage, gestion des effluents, hygiène du personnel, hygiène des interventions sur les animaux, conduite en bandes et densité d'animaux, qualité de l'eau, nettoyage-désinfection et traitement vétérinaire. Au sein de chacune de ces thématiques, des mesures de biosécurité sont accessibles, associées aux dépenses nécessaires à leur mise en œuvre.

#### 1.2.2. Conception d'un projet

A partir de son compte, l'utilisateur caractérise un ou plusieurs élevages pour lesquels il souhaite estimer des coûts de projets d'amélioration de la biosécurité. Afin de les comparer, plusieurs projets peuvent être créés pour un même élevage.

Pour concevoir un projet, il suffit de naviguer au sein des thématiques du tableau de bord et de sélectionner les mesures souhaitées. Une calculatrice interactive (Figure 1) propose pour chaque dépense un prix minimum et maximum pour aiguiller l'utilisateur dans son estimation. L'utilisateur peut tout de même dépasser ces limites afin d'adapter au mieux le montant à sa situation. Concernant les achats d'équipements coûteux ou

les constructions de nouveaux bâtiments, l'utilisateur doit renseigner une durée et un taux d'emprunt afin de calculer les annuités. Par défaut, une durée et un taux adaptés à l'investissement souhaité sont proposés. Pour les dépenses en temps de travail et nettoyage-désinfection, le montant est automatiquement estimé à l'année.

**Figure 1** - Calculatrice pour estimer le coût d'un sas sanitaire préfabriqué

### 1.2.3. Récapitulatif du projet

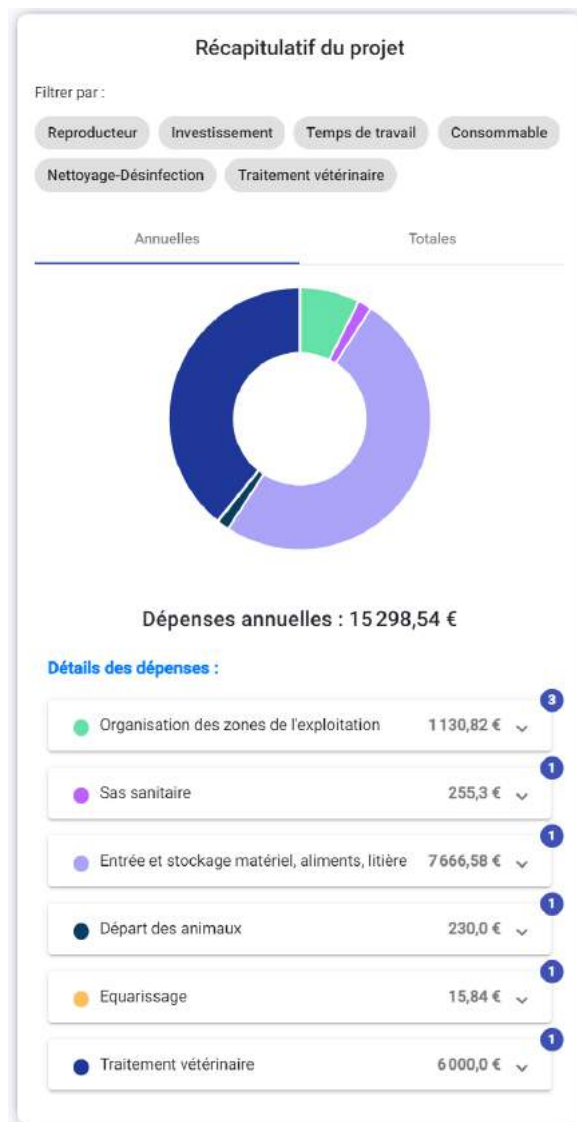
Une fois les informations saisies, les montants total et annuel de la dépense sont enregistrés et s'affichent sur la fenêtre « Récapitulatif du projet » (Figure 2). A partir de cette fenêtre, l'utilisateur a une vue d'ensemble sur son projet. Il connaît le montant total de son projet et le coût annuel associé. Tous les projets sont enregistrés et peuvent être modifiés *a posteriori*.

## 2. ESTIMER LE RETOUR SUR INVESTISSEMENT DES DEPENSES DE BIOSECURITE

Après avoir évalué le coût de son projet de biosécurité, l'utilisateur peut accéder directement à GT-Direct à partir de SanÉco'Sim. Le simulateur du module « Calculer », permet alors d'évaluer l'incidence économique d'une variation de performances techniques entre deux situations d'élevage à l'équilibre. Sur la base d'hypothèses ou de mesures observées en élevage, les évolutions de performances liées à la mise en place des mesures de biosécurité prévues sont renseignées, et l'écart de marge sur coût alimentaire et renouvellement qui en découle est affiché. L'utilisateur peut alors estimer le retour sur investissement des mesures de biosécurité envisagées dans son projet.

## CONCLUSION

Ces outils à destination des éleveurs et des techniciens ont pour vocation de les accompagner dans la mise en œuvre des projets de mise en place de mesures de biosécurité. SanÉco'Sim permet d'établir facilement le coût total des mesures de biosécurité, souvent perçu comme un frein. La dépense est également calculée annuellement, de manière à être mise en relation avec la marge de l'élevage. L'utilisation conjointe du calculateur de GT-Direct permet de relativiser ce coût des dépenses en envisageant en parallèle une amélioration des performances techniques de l'élevage et donc un gain annuel.



**Figure 2** – Récapitulatif d'un projet

## REMERCIEMENTS

Le développement de ces applications a été financé par le plan Ecoantibio. Remerciements au service informatique et numérique de l'IFIP pour sa contribution (Michel Querné, Pascal Cheval, Michael Heilikman, Dawan Be et Quentin Luchini).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alarcon P., Wieland B., Mateus A.L.P., Dewberry C., 2013. Pig farmers' perceptions, attitudes, influences and management of information in the decision-making process for disease control, *Prev. Vet. Med.*, 116, 223–242.
- Aubry A., Corrége I, Badouard B., Salaün Y., Vila T., Joisel F., 2014. Développement d'un simulateur pour évaluer l'incidence économique de variations des performances techniques en élevage de porcs. *Journées Rech. Porcine*, 46, 253-254
- Rojo-Gimeno C., Postma M., Dewulf J., Hogeveen H., Lauwers L., Wauters E., 2016. Farm-economic analysis of reducing antimicrobial use whilst adopting improved management strategies on farrow-to-finish pig farms. *Prev. Vet. Med.*, 1, 129, 74-87.

# Construction d'un score sanitaire d'élevage en production porcine

*Laurent DALUZEAU (1), Sylvie CHOUET (1) Justina IVANAUSKAITE (2), Bastien RIERA (3), Jean-Yves LEGAUD (4),  
Florian VOISIN (5), Arnaud BUCHET (6)*

*(1) MSD Santé Animale, 7 rue olivier de Serres 49071 Beaucouzé Cedex, France*

*(2) MSD Na Valentince 3336/4, 150 00 Prague 5, République tchèque*

*(3) Cooperl, Pôle Data Sciences, 1 rue de la Gare, 22640 Plestan, France*

*(4) Cooperl, 21 Rue d'Armor Maroué, 22403 Lamballe Armor Cedex, France*

*(5) SELAS HYOVET, Carrefour de la Penthièvre, 22640 Plestan, France*

*(6) Cooperl Innovations SAS, 1 rue de la Gare, 22640 Plestan, France*

*laurent.daluzeau@msd.com*

*Avec la collaboration de Ivan Trestkov et Lukas Ergt*

## **Building a health farm score for swine farms**

A partnership between Cooperl and MSD, combining their technical teams and data scientists, allows us to "decipher" the data and results of breeding pig farms collected for 13 semesters. Data on breeding, performance and supply (veterinary products, feed, replaced gilts...) for around 600 farms were collected, processed and analyzed to build a prescriptive model and calculate technical impacts of the prescribed measures. Beginning with the second phase, the need to know the status of the farms every six months became apparent. A standard audit of a farm corresponds to a complete analysis, which results an overview of its technical and health performances and its management by the farmer. To have a summary vision of the health status of a farm, we used our database, collected since 2015, to develop a health farm score. This score is composed of four indicators. The first two reflect the performance of the farm: technical (P TE) and health-related (P San). The other two reveal the health management of the farm: Alea (A) and vaccine valency (V), with an indication of the number of valencies for sows and piglets. The first three indicators are expressed on a scale of 0-100. Two validations allowed us to recommend this score. First, each indicator was tested mathematically for consistency, repeatability and distribution. Secondly, health breeding scores of farms selected by veterinarians and technicians were analyzed to validate their relevance. This tool will allow a farm's health status to be assessed instantly for every semester since 2015 and to compare it to those of other farms.

## **INTRODUCTION**

Jusqu'à présent, l'audit d'élevage sanitaire et technique est l'outil permettant d'analyser toutes les données, d'identifier les points d'attention et d'établir des recommandations d'amélioration. Si l'audit est connu et reconnu, son inconvénient majeur est le temps nécessaire à sa réalisation. Sa répétition tous les six mois n'est guère envisageable dans son mode classique. A l'heure de « la data analyse », l'élevage porcin, par ses données nombreuses et précises, est un candidat potentiel intéressant pour construire et tester des algorithmes prédictifs et/ou prescriptifs résultant de l'analyse de toutes ces données collectées. La Cooperl et ses éleveurs adhérents possèdent des données de structures d'élevages, de fournitures et de résultats sanitaires, techniques et économiques sur plusieurs années. La « data analyse », associée à l'expertise métier, peut-elle permettre d'établir une vision claire et synthétique d'un élevage au travers d'un score d'élevage sanitaire calculé de manière instantanée et régulière ?

## **1. MATERIEL ET METHODES**

### **1.1. Constitution d'une base de données unique**

Une première phase de travail a été menée sur le rassemblement des bases de données des éleveurs de porcs naisseurs engraisseurs adhérents à la coopérative Cooperl pour les données suivantes :

- Les fournitures : produits d'hygiène, produits vétérinaires, aliments, reproducteurs ;
- Des résultats collectés à l'abattoir : contrôles nez et poumons, poids et qualité de carcasse, saisies ;
- Des données technico-économiques : gestion technico-économique du troupeau de truies (GTTT) et gestion technico-économique de l'élevage (GTE) ;
- Des données d'exposition des animaux aux antibiotiques : Average Levels of Exposure to Antimicrobials (ALEA).

Ces données ont été agrégées au semestre pour plus de 600 sites d'élevage sur 13 semestres entre le premier semestre 2015

et le premier semestre 2021. Des indicateurs clés ont été sélectionnés et validés pour répondre à la question : quelles sont les variables impactant ces indicateurs clés et sources d'amélioration de résultats pour les élevages de porcs ?

Une équipe MSD Data Science a réalisé une analyse mathématique prenant en compte les différentes interactions entre variables, puis construit un score sanitaire d'élevage utilisé par la Cooperl auprès de ses adhérents.

### 1.2. Définition d'un score sanitaire d'élevage

Le score a été construit en ne prenant que les données existantes dans la base de données. Quatre indicateurs ont été déterminés pour définir ce score. Ces indicateurs devaient être facilement calculables et fractionnables.

Pour refléter le résultat d'un audit d'élevage, ce score devait nous permettre de visualiser rapidement les performances techniques et sanitaires de l'élevage et les moyens sanitaires mis en place pour assurer ces résultats. Des études ont montré qu'un élevage peut avoir d'excellentes performances techniques et sanitaires avec un investissement de dépenses de santé bas ou élevé (Corrége, 2014). Ainsi, nous avons identifié deux composantes pour l'investissement santé : l'une à court terme pour traiter des animaux malades avec une antibiothérapie ponctuelle et l'autre avec une action long terme basée sur les vaccins et l'hygiène.

### 1.3. Sélection des indicateurs du score sanitaire d'élevage

Sur les bases de la définition de l'audit, quatre indicateurs ont été retenus. Les deux premiers reflètent la performance de l'élevage, les deux suivants l'investissement santé.

Les indicateurs reflétant la performance de l'élevage sont la performance technico économique (P TE), représentée par l'indice de consommation global, et la performance sanitaire (P SAN), représentée par une combinaison des trois variables : le taux de mortalité 8-115 kg x 0,6, le taux des saisies à l'abattoir x 0,21 et le taux de poumons mauvais (non indemnes) x 0,19. Le poids de chaque variable de l'indicateur P SAN a été calculé à partir des coefficients de l'équation linéaire et explicative de l'indice de consommation global.

Pour les indicateurs de l'investissement santé, l'ALEA (A) traduit le niveau d'exposition aux antibiotiques des animaux de l'élevage considéré sur une période donnée. Pour l'investissement à long terme, nous disposons dans la base des valences vaccinales (V) achetées pour le site d'élevage considéré. Les valences vaccinales considérées sont les suivantes :

- pour la truie : SDRP, Parvovirose, Rouget, Rhinite Atrophique, Diarrhées néonatales à clostridies, Diarrhées néonatales à *Escherichia coli*, Grippe, Leptospirose, Maladie de Glässer ;
- pour le porcelet : Pneumonie à *Mycoplasma hyopneumoniae*, Circovirose à PCV2, Iléite, SDRP, Pleurésie à Actinobacilles, Œdème colibacillaire, Diarrhée de sevrage à *E. coli*.

### 1.4. Codification et quantification des indicateurs

Pour lire aisément le score, nous devons avoir un moyen

universel et simple de lecture. C'est pourquoi, chaque indicateur a été centré et réduit avec une moyenne à 100 et un écart-type à 20 par rapport au semestre 1 de 2015. Plus l'indicateur est haut, plus les résultats s'améliorent (pour P TE et P SAN). En revanche, l'indicateur A a évolué en sens inverse (moins d'utilisation d'antibiotiques). Cette méthodologie nous permet également de situer le résultat obtenu pour l'indicateur par rapport à la moyenne des élevages sur la période interrogée. Cette moyenne évolue bien sûr au cours des années. L'indicateur V permet de visualiser le nombre de valences vaccinales utilisées sur l'élevage pour les truies et pour les porcelets.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Représentation du score d'élevage

35ABC-2020/01 :

P TE<sup>107</sup> 100 ● ; P SAN<sup>104</sup> 112 ● ; A<sup>91</sup> 91 ● ; V (3 ; 1)

Le site est identifié par son indicatif de marquage, puis la période concernée est mentionnée, premier semestre 2020 pour notre exemple. En dessous, le nom des indicateurs est mentionné avec en exposant, la moyenne de l'indicateur pour les élevages de la base sur la période concernée, puis le résultat du site analysé. La couleur du rond à côté de la valeur de l'indicateur permet de visualiser rapidement la performance de l'élevage par rapport à la moyenne : vert, rouge ou bleu selon que la performance de l'élevage est supérieure, inférieure ou égale à la moyenne respectivement. A noter que l'historique des scores peut aussi être visualisé.

### 2.2. Validation terrain

La validation terrain a pour but de vérifier que le score sanitaire d'un élevage est bien corrélé avec la réalité de l'élevage et avec la connaissance que les experts métier ont de l'élevage. Le score d'une quarantaine d'élevages a pu être ainsi vérifié par cinq vétérinaires, sur un ou plusieurs semestres. Pour cela, les scores étaient présentés sur plusieurs semestres aux vétérinaires réalisant le suivi des élevages testés qui ont validé leurs pertinences. Au cours des mois prochains, le nombre de vétérinaires impliqués et d'élevages testés devrait croître rapidement.

## CONCLUSION

Ce travail mené en partenariat avec la Cooperl et l'équipe de Data Analystes MSD nous a permis de bâtir un score sanitaire d'élevage synthétique, instantané et reflétant les performances technico-sanitaires et l'investissement santé de chaque élevage pour un semestre donné. Certes, il ne remplace par l'audit d'élevage, mais il peut faciliter les découvertes d'élevage lors des débuts de nouveau vétérinaire, permettre un rappel de l'historique pour les suivis réguliers et la sélection rapide d'élevage sur des critères sanitaires.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Corrége I., Badouard B., Hémonic A., 2014. Dépenses de santé dans les élevages de porcs français : évolution et analyse typologique. Journées Rech. Porcine, 46, 147-152.

# Détection de problèmes techniques à partir de données individuelles d'abreuvement de truies gestantes

Ellynn NIZZI, Anne BOUDON, Charlotte GAILLARD

PEGASE, INRAE, Agrocampus Ouest, 35590, Saint-Gilles, France

[charlotte.gaillard@inrae.fr](mailto:charlotte.gaillard@inrae.fr)

## Detection of technical problems from individual water consumption of gestating sows

Besides farmer observations, new technology such as connected troughs allows for individual and automatic monitoring of gestating sows. The aim of this study was to determine whether technical malfunctioning in the gestation room can be detected from records of individual water intake. Data were collected for 52 gestating sows during two types of induced stress events: thermic stress (hot and cold) and feeding stress, due to the closing of an automatic feeder. Data were analyzed using a smoothing method in R software ("fda" package) that can smooth data to varying degrees to detect potential disruptions. A specificity/sensitivity analysis was then conducted. Initial results showed that gestating sows drank a mean of 8.8 L of water/d, at a frequency of 14.5 visits/d and for a global duration of 9.5 min/d. One to four perturbations per gestation were detected by the smoothing methods. The specificity analyses highlighted that the event-detection method was more than 95% specific and thus able to detect nearly all true negative individuals. But the sensitivity was very low (9.4%). In conclusion, too few technical malfunctions can be detected from records of individual water intake. The method needs to be more accurate; one solution could be to apply it simultaneously to more variables.

## INTRODUCTION

L'eau est un besoin physiologique essentiel, pour les animaux d'élevage (Anses, 2018). De nombreux facteurs sont susceptibles de faire varier la quantité d'eau bue par les animaux, comme l'élévation de la température. Une étude réalisée sur deux bandes de 20 truies gestantes avec exposition à des températures supérieures à 30°C a mis en évidence une consommation passant de 9,9 L/j à température basale (18,7°C) à 12,2 L/j lors du stress chaud (Abarnou, 2021). L'étude de Massabie (2001) sur des porcelets illustre également une augmentation du volume d'eau bue par jour de 1,4 L quand la température avoisine 28°C par rapport à la température basale de 17°C. Une situation de compétition est également susceptible de modifier le comportement d'abreuvement. En situation de compétition alimentaire, comme lors de la fermeture d'un distributeur automatique de concentrés (DAC), il a été montré que les porcs dominants ont tendance à consommer de l'eau en excès alors que les plus subordonnés peuvent se retrouver déficitaires (Turner *et al.*, 1999). L'objectif de cette étude est de déterminer si l'enregistrement continu et individualisé du comportement d'abreuvement des truies gestantes permet de détecter précocement certains événements de dysfonctionnements techniques du matériel d'élevage (DAC, abreuvoirs) présents dans la salle ou des stress thermiques.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Protocole expérimental

Les données proviennent de quatre expérimentations menées en 2020 et 2021 à l'UE3P de Saint-Gilles. Un total de 80 truies réparties en 4 bandes (B16, B17, B5 et B6) avait accès à deux abreuvoirs connectés ASSERVA® par bande. Les truies gestantes

ont été soumises à un test de compétition au distributeur automatique de concentrés (DAC) répété deux fois pour B16 et B17, et deux tests de stress thermique (un chaud, un froid) pour B5 et B6. Le test de compétition au DAC a pris effet avec la fermeture d'un des deux DAC pendant 4 jours. Le test de stress thermique chaud consistait en l'arrêt de la ventilation et la mise en route du chauffage pendant 4 jours, alors que lors du test froid réalisé en hiver, le chauffage était arrêté et les fenêtres ouvertes. Les données ont été collectées dès l'entrée en salle de gestation (jour 3 post insémination) jusqu'au jour de sortie de la salle (~ 106<sup>ème</sup> jour de gestation).

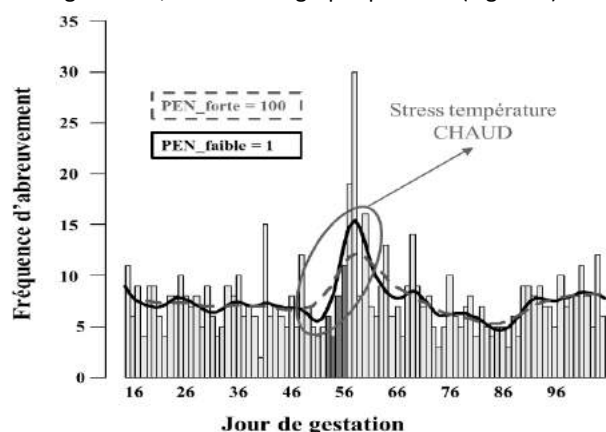
### 1.2. Jeux de données et traitement de données

Un total de 53 truies ayant des données d'abreuvement sur toute la durée de l'expérimentation a été intégré pour l'analyse statistique. Les variables étudiées sont le volume d'eau bue (L/j/truie), la fréquence d'abreuvement (nombre de visites/j) et la durée d'abreuvement (min/j). Ces données ont été lissées en utilisant le package « fda » sur R qui utilise des fonctions de base B-Spline (Ramsay *et al.*, 2020). Cette méthode ne nécessite pas d'hypothèses sur la forme de la courbe et le degré de lissage peut être ajusté en appliquant des pénalités sur la ou les dérivées des fonctions. Une pénalité forte égale à 100 a été appliquée à la courbe lissée dite « théorique » (sans perturbations) et une pénalité faible de 10 à la courbe « perturbée » se rapprochant des variations d'abreuvement. Un modèle linéaire mixte (lmer), avec l'effet bande en effet fixe et les effets parité et individu en effet aléatoire, a permis l'analyse des données brutes.

### 1.3. Méthode d'identification des perturbations

Une différence entre les deux courbes lissées permet de détecter une perturbation potentielle. Un exemple sur la figure

1 où la truie a subi un stress thermique chaud, du jour 53 au jour 56 de gestation, identifiable graphiquement (Figure 1).



**Figure 1** - Exemple de détection d'une perturbation de la fréquence d'abreuvement par jour d'une truie, révélatrice d'un stress thermique (PEN = Pénalité)

Cette détection des perturbations a été automatisée, en utilisant « l'aire comprise entre les deux courbes » comme indicateur des perturbations potentielles. Puis les perturbations les plus importantes nommées « perturbations potentielles exceptionnelles » ont été sélectionnées en affectant un quantile à 95% afin d'identifier les perturbations potentielles ayant des valeurs d'aire comprise entre les deux courbes dans les 5% les plus importantes. Enfin, ces perturbations potentielles exceptionnelles ont été mises en relation avec les événements de stress induits et un calcul de sensibilité et spécificité a été réalisé sur ces données.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Chiffres et dynamique d'abreuvement

En moyenne une truie gestante a consommé 8,8 L d'eau/j, à une fréquence de 14,5 visites/j et une durée de 9,5 min. Une truie primipare a un volume et une fréquence d'abreuvement plus faibles qu'une truie multipare ( $P < 0,01$ ). Les variations interbandes sont importantes pour ces trois variables ( $P < 0,01$ ). Ces résultats sont en accord avec ceux d'études similaires (Ramonet *et al.*, 2017 ; Rousselière *et al.*, 2017).

Les dynamiques d'abreuvement au cours de la gestation ont ensuite été étudiées pour ces trois variables. La fréquence d'abreuvement est la variable qui a été retenue du fait de la visualisation d'une tendance nette d'évolution au cours du temps comparé aux deux autres variables, ce qui facilitera la détection des perturbations.

### 2.2. Détection des perturbations et évaluation de la méthode

Le modèle mis en place a permis la détection d'une à quatre perturbations potentielles exceptionnelles en moyenne par truie. L'analyse descriptive a mis en évidence que les perturbations potentielles exceptionnelles, détectant une période de stress, ont des valeurs d'aire comprise entre les deux courbes significativement plus importantes que les celles des autres perturbations ( $P < 0,01$ ). En revanche, l'analyse critique de la sensibilité et spécificité du modèle met en évidence une sensibilité pratiquement nulle (9,4%) signifiant que la méthode ne permet pas de détecter de manière efficace les individus vrais positifs, dû à un nombre trop important de faux négatifs détectés. En revanche, la méthode est très spécifique (95,6%) et permet de détecter pratiquement l'entièreté des individus vrais négatifs, et de ne pas avoir d'erreurs de détection d'individus non affectés par le stress (faux positifs).

Cette étude a posteriori ne permet pas la détection d'événements en temps réel. Bien que la sensibilité soit très faible, la spécificité est prometteuse. Il sera intéressant d'étudier de nouvelles pénalités et de définir de nouvelles variables et indicateurs illustrant peut-être de manière plus cohérente le comportement d'abreuvement (ex. vitesse de buvée) et les perturbations. Une étude a d'ailleurs réussi à quantifier la réponse alimentaire des porcs aux perturbations à court terme en fonction des écarts par rapport à une trajectoire cible (Nguyen-Ba *et al.*, 2020). De ce constat, la méthode FDA permettant de comparer une courbe perturbée et une courbe théorique est un premier pas vers la création d'un outil d'aide à la décision pour détecter des problèmes techniques.

## CONCLUSION

La fréquence d'abreuvement semble être une variable d'intérêt pour mettre en évidence des changements de comportement d'abreuvement des truies gestantes. La méthode de lissage utilisée pour détecter les perturbations est prometteuse. La combinaison des variables d'abreuvement avec d'autres variables (activité physique, ingestion d'aliment) pourrait aider à préciser l'identification des perturbations et permettre, *in fine*, l'élaboration d'un outil de détection d'événements techniques ou de stress thermique chez les truies gestantes. Enfin, sur un jeu de données plus conséquent, une méthode de Machine Learning pourrait probablement être mise en place. Ce système d'apprentissage par les données collectées en temps réel qui a déjà été étudié pour prédire le comportement alimentaire des truies (Gauthier, 2021) pourrait être utilisé pour prédire le comportement d'abreuvement.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abarnou, J., Durand, M., Gaillard, C., 2021. Effet de stress thermiques sur le comportement des truies en gestation". Journées Rech. Porcine 2022. Poster.
- Anses, 2018. Avis de l'Anses relatif au « Bien-être animal : contexte, définition et évaluation ». Saisine 2016-SA-0288, 34p.
- Gauthier, R., 2021. Système d'alimentation de précision des truies en lactation par modélisation et machine learning – Digital Agriculture Convergence Lab | #DigitAg Institut Convergences Agriculture Numérique.
- Massabie, P., 2001. L'abreuvement des porcs 24, 6.
- Nguyen-Ba, H., van Milgen, J., Taghipoor, M., 2020. A procedure to quantify the feed intake response of growing pigs to perturbations. *Animal*, 14 (2), 253-260.
- Ramonet, Y., Etoire, F., Fabre, A., Laval, A., Nielsen, B., Pol, F., Prunier, A., Meunier-Salaün, M.-C., 2017. Abreuvement des porcs : état des connaissances et conséquences sur le bien-être des animaux et la gestion des effluents chez des porcs alimentés en soupe. Journées Rech. Porcine en France, 49, 139-150.
- Ramsay, J. O., Graves, S., Hooker, G., 2020. fda: Functional Data Analysis. R package version 5.1.9. <https://CRAN.R-project.org/package=fda>
- Rousselière, Y., Hémonic, A., Marcon, M., 2017. Monitoring of the individual drinking behavior of healthy weaned piglets and pregnant sows. IFIP-Institut du Porc. Precision Livestock Farming, 17.
- Turner, S.P., Edwards, S.A., Bland, V.C. 1999. The influence of drinker allocation and group size on the drinking behavior, welfare and production of growing pigs. *Anim. Sci.*, 68, 617-624.



# Etude de la consommation d'eau des porcelets en post-sevrage lors de traitements réalisés au moyen d'une pompe doseuse connectée

Claudio TROMBANI (1) et Angèle SUZANNE (2)

(1) Breizhpig SCOP SAS, Rue du Pontic, Z.A. du Vern, 29400 Landivisiau, France

(2) Dosatron International, Rue Pascal - B.P.6- 33370 Tresses, France

c.trombani@breizhpig.com

## Study of water consumption of post-weaning piglets during treatments with a connected dosing pump

Water is an essential nutrient for pigs. However, the water requirement of pigs is difficult to determine, since many environmental factors are involved (feed, temperature, group size, type of drinker). The water requirement of a piglet at a given physiological stage has been estimated in previous studies, although they rarely studied the water intake by sick piglets. The objective of this study was to measure water consumption of post-weaning piglets during treatments through drinking water with a connected dosing pump. The trial was performed on a Breton farrow-to-finish farm using a Dosatron SmartDosing© pump during post-weaning. The pump recorded the water consumption of piglets during metaphylactic treatments at different ages. Piglets were weaned at 21 days of age, with a mean weight of 5.8 kg, and exited post-weaning at 69 days of age, with a mean weight of 28.4 kg. Overall, 111 treatments distributed among 720 piglet capacity rooms ( $\pm 30$ ) and equipped in the same way were selected for analysis during 2020. The treatments extracted from the SmartLink© software were classified into three age groups: < 30 days (n=28), 30-50 days (n=57) and > 50 days (n=26). Mean hourly and daily water consumption was studied. Analysis showed that the mean daily water consumption per piglet was 0.59 L (< 30 days), 2.19 L (30-50 days) and 3.43 L (> 50 days). Water consumption always peaked between 14:00 and 18:00.

## INTRODUCTION

L'abreuvement équivaut à 93,6 % de l'eau nécessaire pour produire un porc, de la naissance à l'abattage (Massabie *et al.*, 2014). L'eau est un nutriment essentiel et pourtant les besoins des animaux sont difficiles à définir. La consommation journalière d'eau des porcelets s'élève en moyenne à 10,7 % du poids vif (PV) (Rousselière *et al.*, 2020). Toutefois, les études sur la consommation d'eau au post-sevrage sont généralement réalisées sur des animaux sains en mesurant l'ingestion en eau claire. De très nombreux facteurs sont susceptibles de modifier le besoin et l'ingestion d'eau, dont la santé des porcs (Seddon *et al.*, 2011). L'objectif de cette étude est de mesurer la consommation en eau des porcelets en post-sevrage lors de traitements métaphylactiques réalisés par l'eau de boisson au moyen d'une pompe doseuse connectée et de fournir une aide quant au choix du meilleur moment de la journée pour l'administration de ces traitements en optimisant la consommation des principes actifs.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux étudiés

L'essai a eu lieu sur toute l'année 2020 dans un élevage commercial naisseur-engraisseur breton de 600 truies conduites en 10 bandes. Les animaux étudiés sur la période

étaient des porcelets en post-sevrage sevrés à 21 jours d'âge avec un poids moyen de 5,8 kg et sortaient de post-sevrage à 69 jours d'âge avec un poids moyen de 28,4 kg. Les porcelets étaient répartis en 24 cases de 30 porcelets pour une capacité totale de 720 porcelets ( $\pm 30$  porcelets). Chaque salle de post-sevrage est équipée de doubles circuits d'eau : un pour l'eau claire et un pour l'eau traitée via la pompe doseuse. Chaque case est équipée de deux abreuvoirs. Le nombre d'interventions quotidiennes par le personnel et les horaires associés n'ont pas variés pour ne pas influencer le comportement des animaux à l'abreuvoir. L'heure de distribution d'aliment sec via la chaîne de distribution se situait à 17h.

### 1.2. Données récoltées

La pompe Dosatron SmartDosing© était connectée à l'ordinateur d'élevage et a enregistré la consommation d'eau des porcelets lors de traitements réalisés via l'eau de boisson au post-sevrage, ainsi que les dates et horaires de ces consommations. Ces traitements métaphylactiques étaient des antibiotiques, des anti-inflammatoires, des antidouleurs ou des acides organiques. Ces données ont ensuite été transmises au logiciel SmartLink© pour en permettre la visualisation rapide et l'interprétation. Cent onze traitements ont été retenus parmi 250 réalisés et enregistrés sur l'année 2020. Les autres traitements ont été écartés car le nombre d'animaux n'était pas comparable ou bien lorsqu'il y a eu des interventions humaines sur l'équipement ou sur les animaux en cours d'enregistrement.

Ces traitements ont ensuite été classifiés en fonction de 3 tranches d'âges des animaux traités : inférieur à 30 jours d'âge (n=28), entre 30 et 50 jours d'âge (n=57) et supérieur à 50 jours d'âge (n=26). Les consommations d'eau traitées moyennes horaires et journalières ont été étudiées en considérant que toute l'eau traitée a été consommée. Le gaspillage éventuel de l'eau à l'abreuvoir n'a pas été mesuré.

## 2. RESULTATS

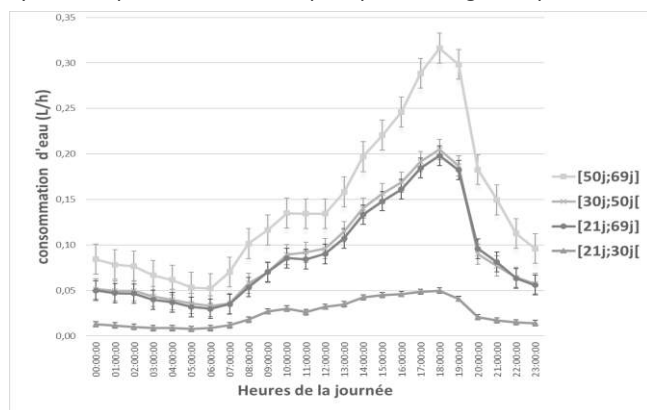
L'analyse a montré que la consommation moyenne journalière d'eau traitée d'un porcelet en post-sevrage, ici entre 21 jours d'âge et 69 jours d'âge est de 2,11 L. Toutefois, de manière plus fine, grâce à la classification des données par tranche d'âges en post-sevrage, la consommation moyenne par 24 h pour un porcelet de moins de 30 jours est de 0,59 L ; pour un porcelet de 30 à 50 jours est de 2,19 L ; pour un porcelet de plus de 50 jours est de 3,43 L (Tableau 1).

**Tableau 1** – Consommation moyenne d'eau traitée par 24h et par porcelet au post-sevrage en fonction de l'âge (j)<sup>1</sup>

Age, j	Consommation d'eau traitée, L/porcelet/jour
[21j ;30j[ (n=28)	0,59
[30j ;50j[ (n=57)	2,19
[50j ;69j] (n=26)	3,43
[21j ;69j] (n=111)	2,11

<sup>1</sup> n : Nombre d'observations

En observant la répartition de la consommation d'eau dans la journée en post-sevrage et pour chacune des tranches d'âges définies dans cette étude (Figure 1), on observe que la consommation est particulièrement élevée entre 14h et 18h. Le pic de consommation de la journée se retrouve systématiquement vers 17h quel que soit l'âge des porcelets.



**Figure 1** – Evolution journalière de la consommation d'eau traitée au post-sevrage

## 3. DISCUSSION

Les consommations d'eau traitée des porcelets en post-sevrage de cet élevage sur l'année 2020 sont très similaires à celles répertoriées par Massabie *et al.* (2014) pour de l'eau claire. Ce constat nous permettrait de conclure que lors de cet étude les porcs malades maintiennent une consommation d'eau traitée proche de celle d'animaux sains buvant une eau claire mais il serait intéressant de rapprocher de façon plus approfondie la consommation d'eau de la santé des porcelets afin de vérifier son caractère prédictif de pathologies en post-sevrage (Thomas *et al.*, 2021) ainsi qu'une éventuelle différence d'appétence selon les types de traitements qui pour l'instant n'a pas été analysée finement.

La consommation journalière d'eau est quasiment multipliée par six entre l'entrée au post-sevrage et le passage à l'engraissement.

La répartition de cette consommation d'eau dans la journée est en adéquation avec le rythme circadien des porcelets. Le pic observé dans l'après-midi semble correspondre à l'heure de déclenchement de la chaîne d'aliment dans cet élevage ce qui les stimule et relance leur activité.

Pour aller plus loin dans cette étude, il serait intéressant de peser les porcelets tous les dix jours pendant le post-sevrage afin de comparer la consommation réelle en eau et la règle généralement appliquée : eau consommée (L) = 10% Poids Vif (kg). Cette règle a été confirmée par Rousselière *et al.* (2020) en utilisant des stations de pesée automatique positionnées devant les abreuvoirs connectés.

## CONCLUSION

Ces mesures de consommation d'eau traitée en post-sevrage grâce à une pompe doseuse connectée ont montré l'augmentation de la consommation d'eau journalière au cours de la croissance du porcelet, passant de 0,59L par porcelet en début de post-sevrage jusqu'à 3,43L en fin de période.

Cependant la cinétique de consommation de cette eau au cours de la journée reste la même pendant toute la période de croissance avec un pic en fin de journée. Ces données de quantité d'eau traitée par porcelet par jour et de cinétique de consommation permettent notamment de choisir le meilleur moment de la journée pour administrer des traitements par eau de boisson en optimisant la consommation des principes actifs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Massabie P., Roy H., Boulestreau-Boulay A.L., Dubois A., 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs. Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porc. Edition IFIP- Institut du porc, Paris, 12 p.
- Rousselière Y., Hémonic A., Thomas J., Marcon M., 2020. Analyse descriptive individuelle du comportement alimentaire, d'abreuvement et de la prise de poids journalière de porcelets sains logés en post-sevrage. Journées Rech. Porcine, 52, 323-324.
- Seddon Y., Farrow M., Guy J., Edwards S., 2011. Real time monitoring of finisher pig water consumption: Investigation at pen level. Animal hygiene and sustainable livestock production. Proceedings of the XVth International Congress of the International Society for Animal Hygiene, Vienna, Austria, 3-7 July, Volume 1 : 95-98.
- Thomas J, Rousselière Y, Marcon M., Hémonic A., 2021. Early Detection of Diarrhea in Weaned Piglets From Individual Feed, Water and Weighing Data. Front. Anim. Sci. 2:688902. doi: 10.3389/fanim.2021.688902

# Vaccination des porcs contre *Lawsonia intracellularis* à l'aide d'un nouveau vaccin inactivé injectable : premiers résultats issus d'un cas clinique terrain

Claudio TROMBANI (1), Baptiste LEGAUD (2), Laurent DALUZEAU (3), Didier DUIVON (3)

(1) Breizhpig Scop SAS, rue du Pontic, 29 400 Landivisiau, France

(2) Coopérative Evel'Up, 1 rue Georges Guynemer, 22 190 Plérin, France

(3) MSD Santé Animale, 7 rue Olivier de Serres, CS 17144, 49071 Beaucozé Cedex, France

[c.trombani@breizhpig.com](mailto:c.trombani@breizhpig.com)

## Vaccination of pigs against *Lawsonia intracellularis* using a novel inactivated injectable vaccine: initial results from a clinical field case

This case study describes initial results observed on a commercial farm after the use of a *Lawsonia intracellularis* vaccine, recently approved in Europe. This farm is subject to hemorrhagic ileitis at finishing. Its farmers are committed to decreasing the use of medication and tattoo all pigs that receive anti-infective treatments (ATB). To reduce these treatments, farmer and veterinarian decided to vaccinate piglets at weaning with a new inactivated injectable vaccine (VLI), beginning on 27 May 2020. The dynamics of certain technical parameters and the percentage of ATB-branded pigs are described and compared for four periods: the second semester of 2019 (S2-2019), the two semesters of 2020 (S1-2020 and S2-2020) and the first semester of 2021 (S1-2021). The number of pigs monitored was 4013, 3813, 3819 and 4052 for S2-2019, S1-2020, S2-2020 and S1-2021, respectively. The percentage of pigs weaned and vaccinated with VLI were 0%, 17%, 100% and 100%, respectively. The percentage of pigs slaughtered after being vaccinated with VLI were 0%, 0%, 40% and 100%, respectively. The mean average daily gain from 30-115 kg was 845, 841, 868 and 875 g/day, respectively. The mean feed conversion rate from 30-115 kg was 2.52, 2.51, 2.41 and 2.40, respectively. The mean age at 115 kg was 181, 179, 174 and 172 days. Mean fattening losses decreased significantly over time: 4.7%, 4.2%, 2.2% and 1.5%, respectively. The percentage of pigs branded "ATB" also decreased significantly over time 14.5%, 17.7%, 9.4% and 4.9% for S2-2019, S1-2020, S2-2020 and S1-2021, respectively.

## INTRODUCTION

Les maladies à *Lawsonia intracellularis* affectent les porcs en post-sevrage et engraissement, altèrent leur croissance, et engendrent mortalité et traitements antibiotiques (Mc Orist et Ghebart, 1999). Des facteurs de risque associés ont été identifiés et décrits, notamment par Fablet *et al.* (2006) et Arnold *et al.* (2021) : sols en caillebotis partiel et gisoirs, densité élevée en post-sevrage, procédures de nettoyage/désinfection et durée des vides sanitaires insuffisants, transfert avant 70 jours en engraissement, non-respect de la « marche en avant » lors des soins quotidiens, utilisation de suppléments en oxyde de zinc, absence de transition alimentaire entre aliments « second âge » et « croissance ». A la maîtrise de ces facteurs de risque sont parfois associés des traitements antibiotiques, souvent à base de macrolides. Un vaccin vivant atténué administré par voie orale est également disponible depuis 2005. Tout récemment, un nouveau vaccin inactivé, injectable par voie intramusculaire, a été autorisé en Europe. Il propose aux prescripteurs et éleveurs une autre voie d'administration. Ce cas clinique décrit les premiers résultats de ce nouveau vaccin dans un élevage commercial confronté à des formes cliniques d'iléite hémorragique qui obligent à des traitements curatifs réguliers.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Description de l'élevage

Il s'agit d'un élevage naisseur-engraisseur de 260 truies, conduit en cinq bandes, avec un objectif de 46 mise-bas par bande. L'élevage sèvre environ 7 800 porcelets de 21 jours par an. Des épisodes d'iléite hémorragique clinique surviennent régulièrement, à partir de 70 kg environ. Ils obligent à des traitements curatifs anti-infectieux. Mais l'élevage est aussi engagé dans une démarche de démédecation antibiotique, en partenariat avec l'abattoir qui achète ses animaux. Les porcs qui reçoivent un traitement antibiotique sont donc « contre-frappés » avec le tatouage « ATB », et exclus du cahier des charges « Porcs sans antibiotique ». La période de février à avril 2020 a connu une fréquence élevée d'iléites hémorragiques. L'éleveur et son vétérinaire ont alors décidé la mise en place du vaccin Porcilis *Lawsonia*<sup>ND</sup> en mai 2020.

### 1.2. Description du vaccin utilisé

C'est un vaccin inactivé injectable, destiné aux porcs en croissance et disponible depuis mai 2020. Il contient la souche SPAH-08 de *L. intracellularis*, adjuvée par de la paraffine légère

et de l'hydroxyde d'aluminium. La vaccination consiste en une injection unique à partir de 3 semaines d'âge. L'immunité est en place quatre semaines après et dure au moins 21 semaines. Des épreuves virulentes en animalerie et un essai clinique terrain aux Pays-Bas ont été publiés par Jacobs *et al.* (2019).

Dans le cas présent, le vaccin a été administré à l'âge de 21 jours, en mélange avec le vaccin combiné contre *M. hyopneumoniae* et le virus PCV2 que l'élevage utilisait déjà en routine. Ainsi, ni le nombre de séances de vaccination en élevage, ni le nombre d'injections par porc n'ont été augmentés.

### 1.3. Description du dispositif expérimental

La première bande été vaccinée le 27 mai 2020. Deux types de données ont été collectés :

- Les synthèses GTE pour le second semestre 2019 (S2-2019), les deux semestres 2020 (S1 et S2-2020) et le premier semestre 2021 (S1-2021) ;
- Le pourcentage de porcs contre-frappés « ATB », extrait des fichiers « porcs » d'UNIPORC, pour chacun de ces semestres.

Les données suivantes ont ainsi été comparées, pour les quatre semestres successifs :

- Effectif de porcs sevrés puis suivis en GTE
- Taux de porcelets vaccinés avec le Vaccin *Lawsonia* Injectable (VLI) parmi les porcelets sevrés ;
- Taux de porcs vaccinés VLI parmi les porcs abattus ;
- Taux de pertes en engraissement ;
- GMQ standardisé 30-115 ;
- IC économique-vente 30-115 ;
- Age standardisé à 115kg ;
- Taux de porcs abattus et contre-frappés « ATB ».

### 1.4. Tests statistiques

Les taux de pertes et de porcs marqués « ATB » ont été comparés à l'aide de tests Khi2 de Pearson calculés par le logiciel R version 3.3.1. L'unité statistique est le porc et le seuil de significativité est de 5%.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont résumés dans le tableau 1.

**Tableau 1** – Evolution des paramètres techniques, entre début juillet 2019 et fin juin 2021

	S2-2019	S1-2020	S2-2020	S1-2021	Stat.
Effectif sevré	4013	3813	3819	4052	
Taux de porcelets vaccinés VLI parmi les porcelets sevrés	0 %	17 %*	100 %	100 %	
Taux de porcs vaccinés VLI parmi les porcs abattus	0 %	0%	40 %**	100 %	
GMQ standard 30-115 kg (grammes)	845	841	868	875	
IC économique-vente 30-115 kg	2,52	2,51	2,41	2,40	
Age standard à 115 kg (jours)	181	179	174	172	
Taux de pertes en engraissement	4,7 % <sup>a</sup>	4,2 % <sup>a</sup>	2,2 % <sup>b</sup>	1,5 % <sup>c</sup>	<b>P &lt; 0.001</b>
Taux de porcs contre-frappés « ATB » ***	14,5 % <sup>a</sup>	17,7 % <sup>b</sup>	9,4 % <sup>c</sup>	5,4 % <sup>d</sup>	<b>P &lt; 0.001</b>

\* : premières vaccinations le 27 mai 2020 ; \*\* : premiers abattages de porcs vaccinés le 23 octobre 2020 ; \*\*\* : les porcs traités avec des antibiotiques ont été contre-frappés à partir de l'âge de 6 semaines au S2-2019, à partir de 3 semaines au S1-2020, et dès la naissance pendant le S2-2020.

La vaccination avec VLI a été mise en place fin mai 2020 : 100 % des porcs sevrés étaient vaccinés au S2-2020 et 100% des porcs abattus étaient vaccinés au S1-2021. A partir du S2-2020, on observe une amélioration progressive des paramètres de croissance, efficacité alimentaire et pertes en engraissement. De même, les traitements antibiotiques diminuent. Les différences mesurées sont statistiquement significatives pour les pertes ainsi que pour la proportion de porcs traités avec des anti-infectieux. Il est important de noter que le marquage des porcs « ATB » s'est fait à 42 jours, puis à 3 semaines, puis dès la naissance, ce qui aurait pu pénaliser le taux de porcs contre-frappés « ATB ».

## CONCLUSION

Dans l'élevage où s'est déroulée cette étude, la mise en place de la vaccination avec le nouveau vaccin inactivé injectable contre *Lawsonia intracellularis* a été contemporaine d'une amélioration de la croissance, de l'efficacité alimentaire et de la maîtrise des formes cliniques d'iléite. Ce vaccin a aidé l'éleveur à réussir sa démarche de démedication antibiotique, sans augmenter ni la charge de travail, ni même le nombre d'injections liés aux séances de vaccination des porcelets.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arnold M., Crienan A., Swam H., Van Berg S., Jolie R., Nathues H., 2021. Correlation of *Lawsonia intracellularis* positivity in quantitative PCR and herd factors in European pig herds. Porcine health Management, 7-13.
- Fablet C., Chauvin C., Jolly J.P., Eveno E., Chouet S., Mieli L., Madec F., 2006. Etude des circonstances associées à l'infection des porcs en croissance par *Lawsonia intracellularis*. Journées Rech. Porcine, 38, 353-358.
- Jacobs A.A.C., Harks F., Hazenberg L., Hoeijmakers M.J.H., Segers R.P.A.M., 2019. Efficacy of a novel inactivated *Lawsonia intracellularis* vaccine in pigs against experimental infection and under field conditions. Vaccine, 37, 2149-2157.
- Mc Orist S., Gebhart C. J., 1999. Porcine Proliferative Enteropathies. In: Straw B. E., D'Allaire S., Mengeling W. L. and Taylor D. J. (Eds), Diseases of swine, 521-534. IOWA State University, Ames, USA.

# Prévention vaccinale de l'iléite porcine dans un élevage recourant habituellement à l'antibiothérapie

Fabien LARCHER (1), Ferdinand LAUNAY (1), Laurent DALUZEAU (2), Sylvie CHOUET (2), Martial RIGAUT (2), Didier DUIVON (2)

(1) Chêne Vert, 4 rue Théodore Botrel, 22600 Loudéac, France

(2) MSD Santé Animale, 7 rue Olivier De Serres, 49071 Beaucozoué, France

f.larcher@chenevert.vet

## Vaccinal prevention of swine ileitis on a farm that usually uses antibiotic therapy

Porcine ileitis is caused by the intracellular bacterium *Lawsonia intracellularis*, which causes proliferation of immature enterocytes that can impair the performance of growing pigs and even increase their mortality in acute forms. On a farm in which ca. 650 piglets were weaned every two weeks at 21 days of age, intramuscular vaccination against *L. intracellularis* was performed to observe whether it is an effective and less expensive alternative to antibiotic treatments of ileitis, which were performed regularly due to recurrences when they were stopped. Twenty-three days old piglets from three consecutive batches were vaccinated with Porcilis® *Lawsonia* and compared to two previous and two subsequent unvaccinated batches treated with macrolide antibiotics incorporated in the feed. A total of 4501 piglets were included, which allowed for analysis of data from 4331 identified carcasses: 2463 from the treated group and 1868 from the vaccinated group. For these two groups respectively, the average daily weight gain per day of life was 683 vs 700 g, the fat and lean distribution 61.68 vs 61.34, the technical premium 0.13 vs 0.11 €/kg, and the revenue per pig sold 124.08 vs 125.86 € for a meat selling price of 1.20 €/kg. These differences were significant at the 0.05 level according to the Wilcoxon-Mann-Whitney test. The economic balance was in favour of the vaccinated group, with a return on investment of 2.47 (i.e. increase in revenue per pig divided by the additional cost of vaccination), and the farmer was able to move towards antibiotic-free pig production.

## INTRODUCTION

L'iléite porcine est due à une bactérie intracellulaire *Lawsonia intracellularis* occasionnant une prolifération d'entérocytes immatures pouvant déprécier les performances des porcs en croissance, voire accroître leur mortalité dans les formes aiguës. Pour lutter contre l'iléite, les antibiotiques sont efficaces, mais des traitements réguliers sont en général nécessaires en raison du caractère enzootique de cette pathologie. Aussi la vaccination constitue-t-elle un moyen de prévention de choix (McOrist *et al.*, 2019).

Une vaccination par voie intramusculaire contre *Lawsonia intracellularis* a été proposée dans un élevage afin de conduire des observations sur l'efficacité et la rentabilité économique de cette vaccination en alternative à des traitements antibiotiques de l'iléite répétés en raison de récurrences lors de leur arrêt.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Présentation de l'élevage, historique *Lawsonia intracellularis*

L'élevage commercial dans lequel les observations ont été faites est conduit en 10 bandes, avec environ 650 porcelets croisés Large White - Landrace - Piétrain sevrés à 21 jours toutes les deux semaines. Les porcelets sont régulièrement vaccinés contre le circovirus porcine de type 2 et contre *Mycoplasma*

*hyopneumoniae*. Seules les truies sont vaccinées contre le SDRP (Syndrome Dysgénésique et Respiratoire Porcin). Le niveau de biosécurité appliqué dans l'élevage est élevé : douche obligatoire, conduite en bandes stricte, sectorisation interne, couloirs lavés et désinfectés après tout transfert de porcs.

Dès 2014 le diagnostic de l'iléite a été confirmé par PCR sur diarrhée de porcs en début d'engraissement. La vaccination contre le circovirus porcine de type 2, également diagnostiqué, a été mise en place, ainsi qu'un renforcement des mesures de biosécurité, ce qui a permis l'arrêt des diarrhées, des pertes et des traitements antibiotiques.

Fin 2018, une récurrence de diarrhées grises en engraissement est apparue à la faveur de travaux d'agrandissement ayant perturbé la marche en avant et engendré des augmentations temporaires de la densité des animaux. Le diagnostic d'iléite a été de nouveau confirmé par PCR à 104 jours d'âge, mais pas en post sevrage. En dépit du renforcement des mesures de biosécurité au cours des 6 mois qui ont suivi, une baisse des poids de carcasses et des retards de croissance précoces ont été constatés, avec un poids à 70 jours de 26 kg. En juin 2019, le recours aux antibiotiques a permis de retrouver à 70 jours des poids de 29 à 30 kg dès les premières bandes traitées.

### 1.2. Mesures appliquées, effectifs suivis et critères mesurés

Trois bandes consécutives ont été vaccinées avec Porcilis® *Lawsonia*, laboratoire MSD Santé Animale, vaccin lyophilisé,

administré à 23 jours d'âge après reconstitution dans le vaccin Porcilis® PCV M Hyo, vaccin contre le circovirus porcine de type 2 (PCV2) et contre *Mycoplasma hyopneumoniae*, conformément aux autorisations de mise sur le marché des deux vaccins (Jacobs *et al.*, 2019). Ces trois bandes constituent le groupe V (vacciné). Elles ont été comparées à quatre bandes, groupe T (témoin), non vaccinées contre l'iléite porcine, mais vaccinées à 23 jours d'âge avec le même vaccin PCV2 + Mycoplasme, et traitées en métaphylaxie avec des antibiotiques macrolides incorporés dans l'aliment : tylvalosine à raison de 85 ppm dans l'aliment 1<sup>er</sup> âge, et tylosine dans l'aliment 2<sup>ème</sup> âge à raison de 100 000 UI/kg pendant 14 jours de 35 à 49 jours d'âge.

Au total, un effectif de 4501 porcelets a été inclus, correspondant à une période de production de 9 bandes dont deux (numéro 6 et 10) ont été exclues, les porcs ayant été engraisés sur un site différent. Cela a permis l'analyse des données de 4331 carcasses, 1868 du groupe V et 2463 du groupe T (Tableau 1).

**Tableau 1** – Bandes suivies et effectifs

N°	Bande Groupe	Effectifs		
		Sevrés	Entrés engraissement	Abattus
4	T1	608	602	588
5	T2	674	657	638
7	V1	653	650	633
8	V2	642	640	627
9	V3	635	629	608
1	T3	641	632	618
2	T4	648	634	619
Total groupe T		2571	2525	2463
Total groupe V		1930	1919	1868
Total groupes T+V		4501	4444	4331

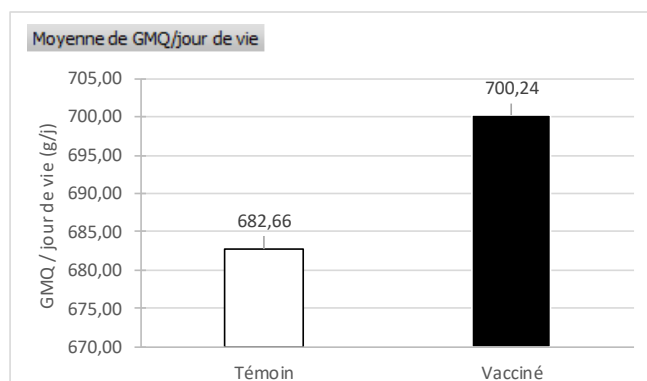
Les critères d'évaluation sont l'évolution de la consommation des antibiotiques, ainsi que les valeurs moyennes d'indicateurs techniques et économiques calculées à partir des données d'abattage grâce à l'identification par bande des carcasses. Pour le calcul du gain moyen quotidien entre la naissance et l'abattage, tous les porcelets sont considérés être nés le jeudi à un poids vif de 1,4 kg. Le chiffre d'affaire moyen par porc correspond à un prix payé de 1,20 €/kg majoré de la plus-value technique par kg, et multiplié par le poids froid.

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R version R-3.3.1. Les paramètres étudiés ont fait l'objet de tests de Wilcoxon, sauf pour la proportion des carcasses hors gamme traitée à l'aide d'un Pearson's Chi-squared test. Le seuil de signification statistique retenu est  $P < 0,05$ .

## 2. RESULTATS

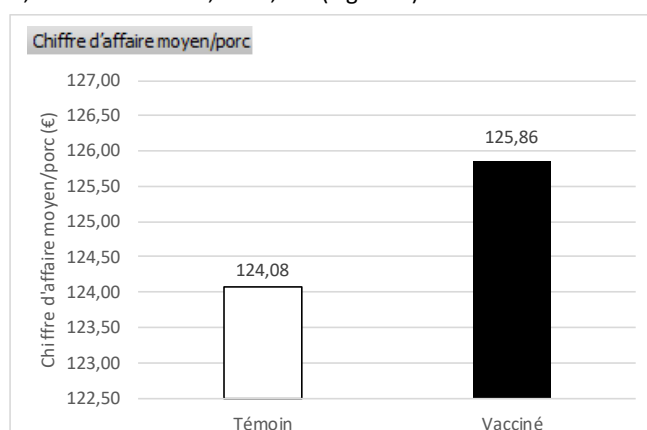
La consommation des antibiotiques a réellement diminué pour le groupe V car aucun traitement collectif n'a été administré, et les traitements individuels quant à eux sont restés exceptionnels dans les deux groupes.

Le gain moyen par jour de vie est supérieur pour le groupe V, test de Wilcoxon,  $P < 0,001$  (Figure 1).



**Figure 1** – Gain moyen par jour de vie par groupe (en g/j)

Le chiffre d'affaire moyen par porc est supérieur pour le groupe V, test de Wilcoxon,  $P < 0,001$  (Figure 2).



**Figure 2** – Chiffre d'affaire moyen par porc par groupe (en €)

Pour le groupe V, l'accroissement du chiffre d'affaire par porc est de 1,78 €, pour un surcoût de 0,72 € en comparaison des traitements antibiotiques (groupe T). Le rapport de ces deux valeurs correspond à un retour sur investissement de 2,47.

Dans le même temps la plus-value technique a baissé de 0,13 à 0,11 €/kg ( $P < 0,001$ ) dans le groupe V. Cette évolution est en lien avec une dégradation du classement : le TMP (Taux de Muscle des Pièces) passant de 61,68 à 61,34 ( $P < 0,001$ ) et un accroissement de la proportion des carcasses hors gamme lourdes : P4 (de 105,1 à 110 kg) de 11,17 à 15,26 % et P5 (de 110,1 à 120 kg) de 6,50 à 10,65 %. Il est possible que les porcs vaccinés, du fait de leur croissance plus rapide, nécessitent un programme alimentaire adapté ainsi qu'une périodicité des départs à l'abattoir limitant l'excès de poids des carcasses.

## CONCLUSION

La vaccination contre l'iléite porcine par voie intramusculaire associée à une vaccination déjà en place n'a pas modifié la charge de travail de l'éleveur. Ce dernier s'est montré rassuré quant à la qualité de la vaccination en administrant pour chaque animal trois valences en une seule injection. Les observations montrent l'efficacité de cette vaccination, et le bilan économique est favorable au groupe vacciné, avec un retour sur investissement de 2,47. A l'issue de ce suivi, l'éleveur a pu s'orienter vers une production de porcs sans antibiotique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Jacobs A., Harks F., Hazenberg L., Hoeijmakers M., Nell T., Pel., Segers R., 2019. Efficacy of a novel inactivated Lawsonia intracellularis vaccine in pigs against experimental infection and under field conditions. *Vaccine* 37, 2149-2157.
- McOrist S., Vannucci F., Gebhard C., 2019. Proliferative Enteropathy. In: Zimmerman J., Karriker L., Ramirez A., Schartz K., Stevenson G., Zhang J., editors. *Diseases of Swine* 11<sup>th</sup> ed.: Wiley-Blackwell 898-911.

# Influence de la vaccination par voie orale contre *Escherichia coli* F4/F18 sur l'évolution des prescriptions d'antibiotiques et les performances zootechniques en élevage porcin

Kevin GAUVRIT (1), Aline LEFEBVRE (2), Christian SPINDLER (2), Fabrice BOUTIN (3), Bernard FILY (3), Nicolas GEFFROY (3), Mily LEBLANC MARIDOR (1), Catherine BELLOC (1)

(1) INRAE, Oniris, BIOEPAR, 44307, Nantes, France

(2) HYOVET, 5 PA Carrefour de Penthièvre, 22640 Plestan, France

(3) ELANCO France SAS, Crisco Uno, Bâtiment C, 3-5 Avenue de la Cristallerie, CS80020, 92317 Sèvres, France

*fabrice.boutin@elancoah.com*

Avec la collaboration de Sophie VIGNERON (3)

## Influence of oral vaccination against *Escherichia coli* F4/F18 on antibiotic prescriptions and zootechnical performance on pig farms

Post-weaning diarrhea due to *Escherichia coli* in pigs threatens animal health and is responsible for antibiotic prescriptions. A live vaccine administered orally reduces the incidence and shedding of *E. coli* F4/F18. The objective of this study was to compare the course of antibiotic prescriptions and zootechnical performance before and after vaccination. Forty-five farrow-to-finish farms in which Coliprotec™ F4/F18 vaccine was administered to piglets to prevent post-weaning diarrhea were selected. Six months before and six months after the start of vaccination, data on antibiotic use and zootechnical performance were recorded. Animal Level of Exposure to Antimicrobials (ALEA) indicators, average daily gain (ADG) and mortality rate were monitored. Comparisons before and after the vaccination were made for the 45 farms and for two subsets of farms based on growth performance and mortality rate before vaccination (categories "+" and "-", respectively higher or lower than the reference mean of the pig producers' cooperative). After vaccination, ALEA indicators significantly decreased for the 45 farms by 68% for digestive antibiotics and by 70% for colistin ( $P < 0.0001$ ). Mean ADG from weaning to slaughter was significantly higher (+22 g) for the farms in the "-" category ( $P < 0.0001$ ). The mortality rate from weaning to slaughter decreased for the 45 farms (-0.84,  $P = 0.03$ ) and for the farms in the "-" category (-2.00,  $P < 0.001$ ). Oral *E. coli* F4/F18 vaccination significantly reduces the exposure of animals to antibiotics and improves zootechnical performance in pig farms.

## INTRODUCTION

Les diarrhées de post-sevrage dues à *Escherichia coli* (*E. coli*) chez le porc sont un enjeu de santé animale. Le plan Ecoantibio2 encourage l'utilisation des vaccins pour prévenir l'apparition des maladies et a également pour objectif de réduire l'exposition à la colistine en filière bovine, aviaire et porcine (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2017). En outre, des évolutions réglementaires sur les prescriptions préventives d'antibiotiques sont attendues pour janvier 2022 (Journal officiel de l'Union européenne, 2019). Dans sept cas sur 10, les diarrhées de post-sevrage sont dues à des *E. coli* entérotoxigènes (ETEC) possédant les fimbriae F4 ou F18 (Fily *et al.*, 2021). Un vaccin vivant administré par voie orale est autorisé dont l'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) précise qu'il permet de réduire l'incidence et l'excrétion des *E. coli* F4/F18 pathogènes. L'objectif de cette étude est de comparer l'évolution des prescriptions d'antibiotiques et les performances zootechniques avant et après la mise en place de la vaccination dans 45 élevages naisseurs-engraisseurs français.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Description générale de l'étude

Quarante-cinq élevages naisseurs-engraisseurs dans lesquels le vaccin Coliprotec™ F4/F18 (*Escherichia coli* O8:K87 et *Escherichia coli* O141:K94 vivantes non pathogènes) est administré aux porcelets pour prévenir la colibacillose en post-sevrage ont été sélectionnés. Les données sur la prescription d'antibiotiques et sur les performances zootechniques ont été collectées six mois avant et six mois après le début de la vaccination (entre 2016 et 2019) à l'aide des gestions technico-économiques (GTE) et des prescriptions de médicaments vétérinaires. Les GTE qui concernaient à la fois des porcelets non-vaccinés et vaccinés, pendant la phase de mise en place du vaccin, ont été exclues de la collecte de données. L'exposition des animaux aux antibiotiques (indicateur ALEA), le Gain Moyen Quotidien (GMQ) et le taux de mortalité ont été suivis. Des comparaisons avant/après ont été effectuées sur les 45

élevages et pour chaque indicateur sur deux sous-échantillons qui se distinguaient par leurs performances zootechniques supérieures (catégorie « + ») et inférieures (catégorie « - ») à la moyenne de référence du groupement avant le début de la vaccination (Tableau 1).

**Tableau 1** – Nombre d'élevages pour chaque indicateur dans les catégories « - » et « + »

Indicateurs		Catégorie « - »	Catégorie « + »
GMQ	8-30	14	13
	8-115	24	21
Taux de mortalité	Post-sevrage	17	10
	Sevrage-Vente	26	19

### 1.2. Méthode d'analyse des données des prescriptions d'antibiotiques

La prescription de 15 spécialités antibiotiques et d'un prémélange médicamenteux a été suivie six mois avant et six mois après la mise en place de la vaccination. Ces antibiotiques à visée digestive ont été utilisés pour les diarrhées du post-sevrage pendant la période d'étude dans les élevages sélectionnés. Les calculs de l'ALEA (Collineau *et al.*, 2017) pour les antibiotiques à visée digestive (ALEA<sub>dig</sub>) et pour la colistine (ALEA<sub>colistine</sub>) ont été réalisés sur deux périodes : en post-sevrage (27 élevages) et pour la période sevrage-vente (45 élevages). La comparaison des moyennes avant et après la mise en place de la vaccination a été réalisée à l'aide d'un test de Wilcoxon avec le logiciel JMP.

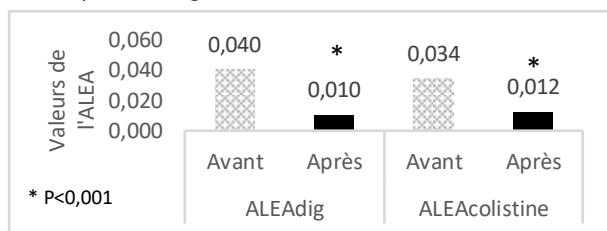
### 1.3. Méthode d'analyse des données zootechniques

Les données de GMQ et de taux de mortalité en post-sevrage et sevrage-vente ont été extraites des GTE. La comparaison des moyennes avant et après la mise en place de la vaccination a été effectuée avec un test de Student pour le GMQ et un test de Wilcoxon pour le taux de mortalité à l'aide du logiciel JMP.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Les indicateurs ALEA : ALEA<sub>dig</sub> et ALEA<sub>colistine</sub>

#### 2.1.1. En post-sevrage

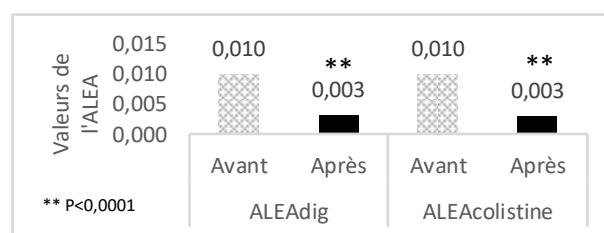


**Figure 1** – Valeurs de l'ALEA<sub>dig</sub> et de l'ALEA<sub>colistine</sub> avant et après la vaccination sur la période de post-sevrage (n=27 élevages)

La figure 1 montre la diminution significative ( $P < 0,001$ ) de l'ALEA<sub>dig</sub> et l'ALEA<sub>colistine</sub> après la mise en place de la vaccination, respectivement de 75% et de 65%. Sur les 27 élevages étudiés sur la période de post-sevrage, 78% (n=21) présentent une baisse de l'ALEA<sub>dig</sub> et 74% (n=20) une baisse de l'ALEA<sub>colistine</sub> après la mise en place de la vaccination.

#### 2.1.2. Du sevrage jusqu'à la vente

La figure 2 montre la diminution significative ( $P < 0,0001$ ) de l'ALEA<sub>dig</sub> et de l'ALEA<sub>colistine</sub> après la mise en place de la vaccination, respectivement de 68% et de 70%. Sur les 45 élevages étudiés sur la période sevrage-vente, 71% (n=32) présentent une baisse de l'ALEA<sub>dig</sub> et 67% (n=30) une baisse de l'ALEA<sub>colistine</sub> après la mise en place de la vaccination.



**Figure 2** – Valeurs de l'ALEA<sub>dig</sub> et de l'ALEA<sub>colistine</sub> avant et après la vaccination sur la période sevrage-vente (n=45 élevages)

### 2.2. Les performances zootechniques : GMQ et taux de mortalité sur la période sevrage-vente

Pour les élevages de la catégorie « - », le GMQ a significativement augmenté de 22 g/j ( $P < 1.10^{-4}$ ; n=24) passant de  $687 \pm 22,2$  g/j à  $709 \pm 26,1$  g/j et le taux de mortalité a significativement diminué de 2 points ( $P = 6.10^{-4}$ ; n=26) passant de 8,93 % à 6,93%.

Pour les 45 élevages, le taux de mortalité a significativement diminué de 0,84 points ( $P = 0,03$ ) passant de 7,06% à 6,22% après la mise en place de la vaccination. L'étude consistant en une comparaison avant/après vaccination (et non contemporaine), d'autres facteurs ont pu avoir un effet sur les performances.

## CONCLUSION

Les résultats démontrent l'efficacité de la vaccination par voie orale contre *Escherichia coli* F4/F18, qui a permis de :

- réduire significativement l'exposition des animaux aux antibiotiques à visée digestive et à la colistine en post-sevrage et sur la période sevrage-vente ;
- diminuer significativement le taux de mortalité sur la période sevrage-vente de l'ensemble des élevages et améliorer significativement le GMQ des élevages de la catégorie « - ».

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Collineau L., Belloc C., Stärk K.D.C., Hémonic A., Postma M., Dewulf J., Chauvin C., 2017. Guidance on the Selection of Appropriate Indicators for Quantification of Antimicrobial Usage in Humans and Animals, Zoonoses and Public Health, 64 (3), 165–184.
- Fily B., Boutin F., Burlot V., Geffroy N., Alleman F., 2021. Analyse technico-économique sur la phase de post-sevrage des résultats de 20 élevages porcins avant et après la mise en place de la vaccination contre *E.coli* F4/F18. Journées Rech. Porcine, 53, 417-418.
- Journal officiel de l'Union européenne, 2019. Règlement (UE) 2019/6 du Parlement Européen et du Conseil 11 décembre 2018 relatif aux médicaments vétérinaires et abrogeant la directive 2001/82/CE. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/6/oj>
- Ministère de l'agriculture, de l'alimentaire et de la forêt, 2017. Ecoantibio2 Plan national de réduction des risques d'antibiorésistance en médecine vétérinaire 2017-2021. <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecoantibio-2-2017-2021>



# Prévalence des infections et évolution du pH urinaire chez les truies

Emma CANTALOUBE (1), Lucie GAUTIER (1), Mathieu COUTEAU (1), Fabien LARCHER (1), Thomas GIN (1), Sylvie HELIEZ (2), Aurélien URQUIA (2)

(1) Chêne Vert, 4 rue Théodore Botrel 22600 LOUDEAC, France

(2) Chêne Vert, 2 Rue Pierre Harel, 35133 LECOUSSE, France

e.cantaloube@chenevert.vet

## Sow urinary controls: prevalence of infections and pH dynamics

The modification of sow housing and reduction in antibiotic use in the past few decades in France may have changed the prevalence of urinary tract infections (UTI). The aim of this study was to evaluate the current urinary health of sows. A data base of 1220 sow urine samples from 29 French farms was analysed. Urine was collected during different periods of the reproductive cycle. In this data base, urine was evaluated using visual monitoring, nitrite test strips and pH meters. Sow urines were considered "suspect" if a test strip indicated the presence of nitrite, the urine was cloudy or both. The prevalence of positive nitrite tests in pregnant sows (11.2%) was consistent with the results in previous studies. Before farrowing this prevalence (11.4%) was lower than the one 40 years ago (17.6%). The lactation period had a higher prevalence of positive nitrite tests. Overall, 22% of the urines were cloudy, and 8% of the urines were both nitrite-positive and cloudy. Sows with higher parities had more suspect urines. Compared to a 1983 study, we found a higher prevalence of basic urines, with a mean pH of 7.52. Overall, the reduction in antibiotic use for UTI did not increase the number of suspect urines despite the significant alkalization of urine. This is consistent with the stable prevalence of UTI observed by veterinarians on farms.

## INTRODUCTION

Depuis près de 40 ans, les infections du tractus urinaire (ITU) des truies sont régulièrement contrôlées du fait de leur importance sur la santé et la productivité des truies (Madec et David, 1983 ; Thomas, 2006). Or les modes de logement et d'abreuvement des truies ont fortement évolué en France au cours des dernières années, notamment avec la mise en groupe pendant la gestation et l'obligation d'un accès permanent à l'eau. De plus entre 2010 et 2016, avec le plan Ecoantibio, le recours aux antibiotiques à visée uro-génitale a diminué de 14% (Hémonic *et al.*, 2019). Notre objectif est de refaire un bilan de la santé urinaire des truies dans un échantillon d'élevages par l'étude d'indicateurs usuels : le pH urinaire, la présence de nitrites et l'aspect trouble des urines.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Les premières urines du matin de 1220 truies ont été récoltées dans 29 élevages entre les mois de juin 2019 et mai 2021. Les prélèvements ont été réalisés sur des truies de parités différentes (rangs 0 à 12) et à des stades différents (Verraterie, Gestante, Entrée maternité, Lactation). La turbidité des urines a été évaluée visuellement par le préleveur qui effectuait également un test nitrite avec une bandelette urinaire (UriVet-100, KITVIA). Le pH était aussi mesuré à l'aide d'un testeur de pH (BWT) de précision  $\pm 0,1$ . Une urine était considérée « suspecte » d'infection urinaire si elle présentait un test nitrite positif et/ou était trouble.

Les données ont été analysées avec le logiciel R (v.4.0.2). Un test du  $\chi^2$  complété d'un test de comparaisons multiples de Fisher a été utilisé pour comparer la prévalence des urines troubles, et/ou positives au test nitrite entre les différents stades de production et parités, ainsi que les proportions de truies selon les valeurs de pH à l'entrée en maternité.

## 2. RESULTATS

Tous stades et parités confondus, 10% des urines sont positives au test nitrite, 22% sont troubles et 8% sont à la fois positives au test nitrite et troubles. Le tableau 1 présente la prévalence des urines « suspectes » selon le paramètre choisi (urine positive nitrite, urine trouble ou les deux), en fonction du stade et du rang de portée. Le stade et le rang ont un impact très significatif (respectivement  $P < 0,001$  et  $P < 0,01$ ) sur la prévalence des urines positives au test nitrite qui est plus élevée chez les truies de rang supérieur ou égal à 5 et chez les truies en lactation. En revanche, chez ces dernières il y a significativement ( $P < 0,001$ ) moins d'urines troubles que chez les truies en verraterie et en gestante. Tous stades confondus le pH urinaire moyen est de 7,52 (coefficient de variation de 4%). Il est de 7,47 en entrée en maternité (coefficient de variation de 5%).

**Tableau 1** – Prévalences (en %) des paramètres mesurés<sup>1</sup>

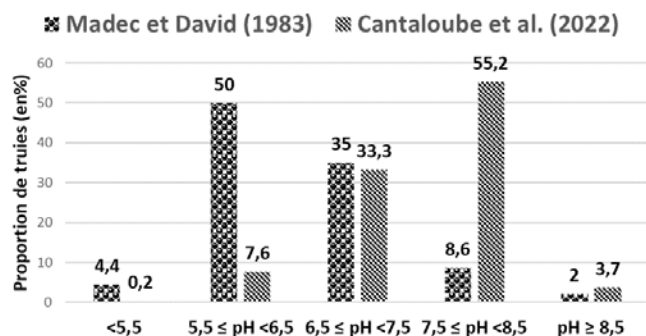
	Stades					p <sup>2</sup>
	Verraterie n=357	Gestante n=179	Entrée maternité n=440		Lactation n=175	
Urine positive nitrite	4,8 <sup>a</sup>	11,2 <sup>b</sup>	11,4 <sup>b</sup>		15,4 <sup>b</sup>	***
Urine trouble	28,5 <sup>a</sup>	34,6 <sup>a</sup>	12,1 <sup>b</sup>		20 <sup>c</sup>	***
Urine positive nitrite et trouble	3,1 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	5,8 <sup>a</sup>		19,3 <sup>b</sup>	***
	Rangs					p <sup>2</sup>
	0-1 n=154	2 n=139	3 n=85	4 n=78	>=5 n=242	
Urine positive nitrite	4,5 <sup>a</sup>	9,4 <sup>b</sup>	10,6 <sup>b</sup>	7,7 <sup>b</sup>	15,3 <sup>c</sup>	**
Urine trouble	7 <sup>a</sup>	15,3 <sup>b</sup>	26,4 <sup>c</sup>	18,3 <sup>b</sup>	29,3 <sup>c</sup>	***
Urine positive nitrite et trouble	2,2 <sup>a</sup>	8,8 <sup>b</sup>	7,9 <sup>b</sup>	7,9 <sup>b</sup>	14,5 <sup>c</sup>	**

<sup>1</sup> Prévalences : les valeurs non suivies d'une même lettre sont significativement différentes

<sup>2</sup> Significativité : \* (P < 0,05) ; \*\* (P < 0,01) ; \*\*\* (P < 0,001)

### 3. DISCUSSION

La prévalence de 11,2% d'urines positives au test nitrite en gestante est cohérente avec celle de 10% obtenue par Boulot *et al.* (2021) trois semaines avant mise bas et de 15,5% en fin de gestation dans l'étude de Thomas (2006). A l'entrée en maternité, la prévalence a baissé depuis 40 ans : 11,4% dans cette étude contre 17,6% dans l'étude de Madec et David (1983). L'accès permanent à l'eau de boisson et l'activité des truies avec la mise en groupe pourraient être des facteurs explicatifs.



**Figure 1** – Comparaison de la répartition des pH urinaires à l'entrée en maternité entre cette étude et celle de (Madec et David, 1983)

Le nombre plus élevé d'urines positives en nitrite pendant la lactation pourrait être lié à un risque plus élevé d'infections de la sphère uro-génitale après mise bas. Pour vérifier cela il aurait été intéressant de coupler nos prélèvements avec des analyses bactériologiques, surtout que le test nitrite a une très faible sensibilité (42%) (Thomas, 2007).

La comparaison de nos mesures de pH avec celles de Madec et David (1983) au même stade (entrée en maternité) est illustrée dans la figure 1. Nos résultats mettent en avant une forte alcalinisation des urines à l'entrée en maternité (+46,6% d'urines avec un pH compris entre 7,5 et 8,5). Et ce d'autant plus que dans l'étude de Madec et David (1983) le pH était mesuré avec des bandelettes urinaires. Or, avec les bandelettes, le lecteur a tendance à voir le pH plus basique qu'il ne l'est réellement (étude interne sur 81 truies, non présentée ici). L'alcalinisation des urines pourrait s'expliquer par une évolution de la gestion de la balance électrolytique des aliments (Patience et Chaplin, 1997).

### CONCLUSION

La diminution de l'utilisation d'antibiotiques à visée urinaire n'a pas entraîné d'augmentation du nombre d'urines « suspectes ». Or l'alcalinisation importante des urines observée dans cette étude aurait pu laisser craindre le contraire, le pH alcalin étant reconnu comme un facteur de risque d'ITU (Thomas 2007). L'augmentation de l'activité des truies et une meilleure gestion de l'alimentation et de l'abreuvement pourraient expliquer ces résultats.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boulot S, Berardet A, Guennec JL, 2021. Une nouvelle méthode de prélèvement urinaire sur tampon pourrait faciliter le monitoring des pathologies uro-génitales. Journées Rech. Porcine, 53, 95.
- Hémonic A, Poissonnet A, Chauvin C, Corrége I, 2019. Evolution des usages d'antibiotiques dans les élevages de porcs en France entre 2010 et 2016 au travers des panels INAPORC. Journées Rech. Porcine, 51, 277-282.
- Madec F, David F, 1983. Les troubles urinaires des troupeaux de truies : diagnostic, incidence et circonstances d'apparition. Journées Rech. Porcine, 15, 431-446.
- Patience JF, Chaplin RK, 1997. The relationship among dietary undetermined anion, acid-base balance, and nutrient metabolism in swine. J. Anim. Sci., 75, 2445-2452.
- Thomas M, 2007. Prévalence des infections urinaires chez la truie gestante (ITU) selon le stade de gestation et la parité dans deux contextes d'abreuvement différents. Thèse de doctorat Vétérinaire (Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse), 91p.

# Anémie des truies avant mise-bas : prévalence et relation avec les performances des truies

Lucie GAUTIER, Mathieu COUTEAU, Emma CANTALOUBE, Fabien LARCHER, Thomas GIN, Ferdinand LAUNAY

Chêne Vert, 4 rue Théodore Botrel, 22600 Loudéac, France

*l.gautier@chenevert.vet*

## Sow anaemia pre-farrowing: prevalence and incidence on sow performances

The influence of sow haemoglobin concentration has been investigated much less than on piglets. The aim of this study was to assess the incidence of haemoglobin concentration on sow performance parameters. A database of 27 French farms, with 1182 measurements of sow haemoglobin concentration, was used. Haemoglobin concentration was related to sow performances for the farrowing following the measurement ( $MB_n$ , 1182 sows), during the previous cycle ( $MB_{n-1}$ , 781 sows) and during the subsequent cycle ( $MB_{n+1}$ , 600 sows). The following parameters were analysed: fertility and productivity parameters, backfat thickness, and haemoglobin concentration. Factors with potential influence on the parameters that were tested were sow parity, total born, farm and haemoglobin concentration (Tukey HSD test,  $p < 0.05$ ). Results showed a significant decrease in the stillborn rate during the following and subsequent farrowing as haemoglobin concentration increased. Total born and backfat thickness also differed significantly as a function of the haemoglobin concentration class, whereas none of the fertility parameters (conception rate, weaning-to-estrus interval, weaning-to-effective service interval) did so. These results confirm the influence of pre-farrowing haemoglobin concentration on stillborn rate. The influence of anaemia on the subsequent farrow in this study expands this issue and should be considered in future studies on sow anaemia, as should be the influence of backfat thickness.

## INTRODUCTION

L'hémoglobulinémie des truies est un paramètre de la santé très peu étudié, et très peu utilisé dans les élevages de porc. Or une forte prévalence de l'anémie des truies dans les troupeaux de truies occidentaux a été montrée dans plusieurs études (Bhattarai *et al.*, 2018 ; Castevens *et al.*, 2020). Cette étude a pour objectif de déterminer l'impact de cette anémie sur les performances des truies à partir d'une base de données de mesures d'hémoglobulinémie avant mise-bas.

## 1. MATERIEL ET METHODES

L'analyse des données a été faite à partir de mesures d'hémoglobulinémie faites sur 1 182 truies distribuées entre 27 élevages sur la période 2018-2021. Le sang des truies était prélevé entre 5 et 1 jours avant la mise-bas, au niveau de la veine médiane sous la queue des animaux. Le sang récolté était immédiatement analysé à l'aide d'un HemoCue® Hb201+ (mesure d'hémoglobulinémie par spectrophotométrie).

Les éleveurs ont par la suite transmis les GTTT (Gestion Technique des Troupeaux de Truies) correspondant aux bandes de truies prélevées, ces données ont été intégrées à la base de données des mesures d'hémoglobulinémie.

La bibliographie (Thorn, 2010), ainsi qu'une analyse préalable (Gautier *et al.*, 2020) ont permis de classer les truies selon leur niveau d'hémoglobulinémie : les truies étaient considérées comme fortement anémiées à des niveaux strictement inférieurs à 100g/L, ayant une hémoglobulinémie correcte à des niveaux supérieurs ou égaux à 110g/L et légèrement anémiées entre ces deux valeurs.

Les données ont été analysées avec le logiciel R (v.4.0.2) à l'aide du test de Tukey HSD en prenant en compte les interactions entre la classe d'hémoglobulinémie, de rang de portée, de nés totaux et l'élevage. La limite de significativité était fixée à  $p < 0,05$ .

## 2. RESULTATS

Le tableau 1 présente les résultats sur les cycles de production  $n$  (la mise-bas suivant la mesure d'hémoglobulinémie) et  $n+1$  (les résultats de fertilité et de naissance après la mise-bas  $n$ ). Entre les différentes classes d'hémoglobulinémie, aucun des paramètres de fertilité et de naissance n'a de différence significative sur le cycle  $n-1$  (précédant la mesure d'hémoglobulinémie, résultats non présentés ici). La prévalence des fortes anémies est de 27% et celle des truies à hémoglobulinémies correctes est de 33%.

### 2.1. Cycle $n$

Sur le cycle  $n$ , le taux de mort-nés des truies fortement anémiées et de celles ayant une hémoglobulinémie correcte sont significativement différents (présenté dans le tableau 1). Le nombre de nés totaux est plus important pour les truies fortement anémiées et les truies ayant une hémoglobulinémie correcte sont en moyenne plus grasses à la mise-bas.

### 2.2. Cycle $n+1$

Sur le cycle  $n+1$ , le taux de mort-nés est significativement plus faible pour les truies ayant une hémoglobulinémie correcte à la mesure avant la mise-bas  $n$ . La prolificité est similaire quel que

**Tableau 1** – Niveau des paramètres de performance des truies en fonction de la classe d'hémoglobémie<sup>1</sup>

Paramètres		Classes d'hémoglobémie (g/L)			P-v. <sup>2</sup>
		<100	110-110	≥110	
Cycle n	n <sup>3</sup>	279	401	502	
	Nés vifs	15,3 <sup>b</sup>	14,9 <sup>a</sup>	14,8 <sup>a</sup>	*
	%Mort-nés	8,0% <sup>b</sup>	7,1% <sup>ab</sup>	6,2% <sup>a</sup>	*
	%Momifiés	1,9%	2,1%	1,9%	NS
	Sevrés	12,3	12,3	12,4	NS
	Nés totaux	16,8 <sup>b</sup>	16,1 <sup>a</sup>	15,8 <sup>a</sup>	*
	ELD <sup>3</sup>	14,9 <sup>a</sup>	15,1 <sup>a</sup>	16,1 <sup>b</sup>	*
Cycle n+1	n <sup>3</sup>	146	187	267	
	Nés vifs	15,4	15,3	15,6	NS
	%Mort-nés	9,6% <sup>b</sup>	10,0% <sup>b</sup>	6,8% <sup>a</sup>	*
	%Momifiés	2,8%	3,3%	1,5%	NS
	Sevrés	12,2	12,3	12,3	NS
	Nés totaux	17,0	16,9	16,8	NS
	ISO <sup>3</sup>	5,6	6,0	5,4	NS
	ISSF <sup>3</sup>	6,0	7,8	6,3	NS
	%Retours	4,9%	4,4%	5,5%	NS

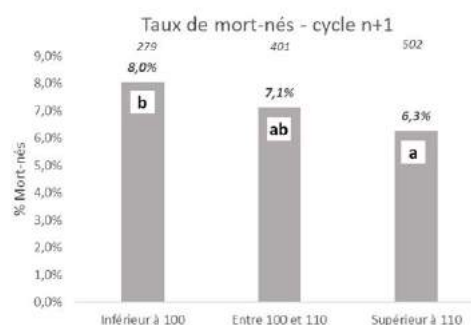
<sup>1</sup>Moyennes brutes ; les valeurs non suivies d'une même lettre sont différentes pour le test de Tukey HSD ( $p < 0,05$ ), interactions prise en compte : parité \* prolificité \* élevage ; <sup>2</sup> Significativité \* :  $p < 0,05$  ; NS :  $p > 0,05$  ; <sup>3</sup> n : Effectifs, ELD : Epaisseur de lard dorsal, ISO : Intervalle sevrage - œstrus, ISSF : Intervalle sevrage - saillie fécondante

soit le niveau d'hémoglobémie mesuré et les indicateurs de fertilité (Retours, ISO, ISSF) ne sont pas différents de la même manière ( $p > 0,05$ ).

### 3. DISCUSSION

Le taux de mort-nés à la mise-bas suivant la mesure d'hémoglobémie (MB<sub>n</sub>) est le paramètre qui a le plus été mis en avant dans les quelques études récentes s'intéressant à l'impact de l'anémie des truies. Les résultats de notre étude donnant des niveaux de mort-nés plus élevés sur des truies fortement anémiées (<100g/L avant mise-bas) sont en accord avec les études antérieures (Bhattarai *et al.*, 2018 ; Noblett *et al.*, 2021).

A notre connaissance, le taux de mort-nés à la mise-bas du cycle suivant n'a pas été investigué ou publié précédemment, or ici l'impact d'une forte anémie semble se répercuter, sur ce paramètre, à la mise-bas n+1. Cette information met l'accent sur l'importance de prendre en compte le niveau d'anémie du troupeau étant donné des conséquences possibles sur la



mortinatalité.

**Figure 1** – Taux de mort-nés au cycle n+1 en fonction de la classe d'hémoglobémie<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Effectifs par groupes en étiquettes ; Moyennes brutes au-dessus des histogrammes ; Les classes n'ayant les mêmes lettres sont différents pour le test de Tukey HSD ( $p < 0,05$  – interaction Hb\*NT\*Elevage)

D'autre part nos résultats indiquent que les truies à forte prolificité sont plus sévèrement anémiées. Nous pouvons faire l'hypothèse que les niveaux en fer nécessaires à une truie hyper-prolifique sont plus importants. Néanmoins, dans l'étude de Normand *et al.* (2012), aucune relation n'a été montrée entre le niveau d'hémoglobémie des truies et le nombre de nés totaux (NT). Toutefois, les niveaux de prolificité de cette étude sont plus faibles que sur notre base de données (15,0 NT pour Normand *et al.*, 2012 vs. 16,2 NT ici).

L'impact de l'état d'engraissement des truies sur l'hémoglobémie est confirmé dans l'étude de Normand (2012), tout comme l'absence d'effet sur le taux de retours à l'insémination suivante. A notre connaissance il n'existe pas d'autres études que la nôtre qui explore l'impact de l'anémie sur l'ISO et l'ISSF.

### CONCLUSION

L'impact sur le court terme de l'anémie des truies sur la mortinatalité est confirmé, et un effet plus long terme sur la mise-bas suivante a été observé.

L'hyper-prolificité des truies ainsi que la conduite « maigre » dans les élevages pourraient être des facteurs d'explication de la forte prévalence de l'anémie.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bhattarai S, Framstad T, Nielsen JP., 2018. Stillbirths in relation to sow hematological parameters at farrowing: A cohort study. *J Swine Health Prod.*;26(4):215-222
- Castevens, K., Ferreira, J. B., Gillespie, T., Olsen, C., Nielsen, J. P., & Almond, G., 2020. Assessment of hemoglobin concentration in relation to sow reproductive stage and parity. *J Swine Health Prod.*, 28(5), 254-257.
- Gautier, L. Cantaloube, E., Larcher, F., Gin, T., Launay, F., 2020. Etude de la prévalence de l'anémie chez la truie et proposition d'une méthode d'évaluation du niveau d'anémie d'un troupeau. AFMVP 2020-2021
- Noblett, E., Ferriera, J. B., Bhattarai, S., Nielsen, J. P., & Almond, G., 2021. Late gestation hemoglobin concentrations in sows: Predictor for stillborn piglets. *J Swine Health Prod.*, 29(4), 200-203.
- Normand, V., Perrin, H., Auvigne, V., Robert, N., & Laval, A., 2012. Anaemia in the sow: a cohort study to assess factors with an impact on haemoglobin concentration, and the influence of haemoglobin concentration on the reproductive performance. *Vet Rec*, 171(14), 350-350.
- Thorn, C., 2010. Hematology of the pig. In: Schalm's Veterinary Hematology. 6 ed. 2010. p. 843-51

# Quel impact d'une supplémentation en oligo-éléments associée ou non à des hépatoprotecteurs en fin de gestation sur les performances des truies et de leurs porcelets ?

Mily LEBLANC-MARIDOR (1), Charlène PIRARD (1), Cindy BREBION (1), Florence MAUPERTUIS (2), Catherine BELLOC (1), Aude DUBOIS (3)

(1) INRAE, Oniris, BIOEPAR, 44300 Nantes, France

(2) Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire, 49105 Angers, France

(3) Ferme expérimentale porcine des Trinottières, 49140 Montreuil-sur-Loir, France

Mily.leblanc-maridor@oniris-nantes.fr

## Effects of oligoelement supplements alone or associated with an hepatoprotector during late gestation on sow and piglet performances

The aim of this study was to evaluate effects of oligoelement supplementation, with or without support of the liver function, on the performances and health of sows and their piglets. A total of 84 Large White × Landrace multiparous sows from one farrow-to-finish farm were divided into three equivalent groups based on their parity and backfat thickness (BF). The CONTROL group received the pregnancy and lactating diets traditionally used on the farm. For the OLIGO and OLIGO+HEPATO groups, oligoelement supplements were added to the normal diet for 14 days before farrowing (magnesium chloride, sodium chloride, dicalcium phosphate, magnesium oxide, lithothamne, nettle powder, marine algae, rosemary, turmeric, fenugreek, milk thistle). Plants that support liver functioning and with anti-oxidant properties (*Cynara cardunculus*, *Orthosiphon stamineus* and *Curcuma longa*) were given to the OLIGO+HEPATO group for 7 days before farrowing. Data from sows (weight, BF, parity, breed and duration of lactation) and from their litter (weight at birth, at 24h, at weaning and every week until eight weeks old; mortality and health of piglets) were collected. Daily feed intake was recorded, and total feed intake was calculated. Body weight and feed intake of lactating sows that received both supplements did not differ from those of the CONTROL group. Nevertheless, 13 fat sows in the OLIGO group lost less BF after the lactating period. All groups had an equivalent mean litter size (17.4 piglets/sow) and a low preweaning mortality (11.8%). Piglet performances (weaning weight, average daily gain and gain:feed ratio) did not differ significantly. No diarrhea or health problems were observed during the trial. For a homogeneous herd, this study highlights an absence of positive effects of oligoelement or hepatoprotector supplementations on sow or piglet performances. The positive effect observed on a few fat sows highlights the importance of proper veterinary diagnosis to target the specific sows for which supplementation could be beneficial.

## INTRODUCTION

A la fin de la gestation et pendant la lactation, les besoins énergétiques et minéraux des truies sont fortement augmentés, notamment en lien avec l'augmentation de la prolificité (Kim *et al.*, 2009 ; Quiniou, 2016). Par ailleurs, les truies en péripartum sont potentiellement à risque vis-à-vis de désordres métaboliques et hépatiques qui peuvent avoir des conséquences sur la production de colostrum et de lait (Loisel *et al.*, 2014). Ainsi, même si les besoins énergétiques et en minéraux peuvent varier individuellement (Dourmad *et al.*, 2018), une bonne stratégie nutritionnelle pour la truie gestante doit permettre d'accompagner la hausse de la prolificité sans pénaliser la qualité du colostrum et la santé du porcelet. Les minéraux, y compris les oligo-éléments, et les vitamines sont actuellement introduits dans les régimes alimentaires des truies afin d'obtenir des performances appropriées. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer les effets d'une supplémentation en oligo-éléments de l'aliment apporté à la fin de la gestation, associée ou non à un mélange aux propriétés hépatoprotectrices, sur la santé et les performances des truies et de leurs porcelets.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Description de l'élevage et choix des animaux

L'étude a été réalisée dans un élevage naisseur-engraisseur de 120 truies avec une conduite en quatre bandes (ferme expérimentale des Trinottières). Le sevrage des porcelets a lieu à 28 jours.

Au total sur trois bandes successives, 84 truies multipares Large White x Landrace Français ont été divisées en trois groupes équivalents en fonction de leur parité et de leur épaisseur de lard dorsal (ELD) 3 semaines avant mise-bas.

### 1.2. Constitution des lots

Le groupe CONTROLE a reçu l'aliment habituel de l'élevage sans supplémentation. Pour les groupes OLIGO et OLIGO+HEPATO, une supplémentation en oligo-éléments (B09MB2®+ B22TEM®, Comptoir des plantes, France) a été ajoutée à l'aliment pendant 14 jours avant la mise-bas. Elle se compose d'un complément en chlorure de magnésium hexahydraté (B09MB2®) donné à raison de 25 g/j/truie et d'un

mélange d'algues marines, de plantes et d'oligo-éléments (Lithothamne ; Phosphate bicalcique ; Algues marines ; Oxyde de magnésium ; Poudre d'Ortie bio ; Chlorure de sodium ; Romarin bio ; Curcuma bio ; Chardon-Marie bio ; Fenugrec bio), le B22TEM2®, donné à raison de 30 g/j/truie. Le groupe OLIGO+HEPATO a reçu également pendant 7 jours avant la mise-bas un mélange de plantes soutenant la fonction hépatique (Care STIM®, Carephyt, France). Le Care STIM® a été distribué à raison de 25g/j/truie et il se compose de *Cynara cardunculus*, d'*Orthosiphon stamineus* et de *Curcuma longa*.

### 1.3. Mesures

Un ensemble de données sur les truies (rang de portée, prolificité, poids et ELDs en fin de gestation trois semaines avant mise-bas et à l'entrée en verraterie) et sur leurs portées (poids de naissance, à 24 h, au sevrage et toutes les semaines jusqu'à 8 semaines d'âge) a été recueilli. Parallèlement, des données de santé (signes cliniques, comportements, mortalité) et de performances (consommation alimentaire journalière des truies, gain moyen quotidien (GMQ) des porcelets) ont été enregistrées ou calculées.

### 1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel R. Un modèle d'analyse de variance ou de régression logistique en fonction de la variable à expliquer (continue ou binaire) a été réalisé pour connaître l'influence du lot ou de la bande (effet lot ou effet bande) ou de l'interaction bande-lot sur cette variable. Le test d'Anova ou de Kruskal-Wallis a été utilisé pour la comparaison de moyennes suivant la distribution de la variable. Pour la recherche de corrélation entre deux variables qualitatives, un coefficient de corrélation a été calculé. En revanche, pour la recherche de lien entre deux variables qualitatives un test du  $\chi^2$  a été réalisé.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Performances des truies en lactation

Il n'y a pas d'effet significatif de la bande, du lot, ni d'interaction bande-lot sur les différentes variables liées aux performances des truies en lactation. Aucune différence significative n'a été observée sur la perte de poids corporel, la perte d'ELD et la consommation journalière des truies en lactation entre les différents lots. Néanmoins, sur le faible effectif des truies grasses, *i.e.* avec une ELD à l'entrée en verraterie >21mm ou >18mm pour les cochettes (13 truies), la perte de poids corporel des truies du groupe OLIGO et OLIGO+HEPATO et la perte d'ELD du groupe OLIGO après la période de lactation (mesures effectuées à l'entrée en maternité puis à l'entrée en verraterie) sont moins importantes ( $P < 0,05$ ) (Figures 1 et 2). Pour ces truies, aucune différence significative n'est observée sur le gain de poids pendant la gestation et sur la quantité d'aliment ingéré par les truies en gestation et en lactation.

### 2.2. Performances de reproduction

Mis à part pour le poids de portée à la naissance (interaction bande x lot), aucun effet de la bande, du lot et de l'interaction bande x lot n'est mis en évidence. La supplémentation OLIGO et OLIGO+HEPATO n'a pas d'effet sur les données de prolificité (nombre de porcelets nés vivants, nombre de porcelets sevrés, nombre de porcelets mort-nés et momifiés par portée). Tous les groupes présentaient une taille de portée équivalente ( $17,2 \pm 3,1$  nés totaux/truie en moyenne) avec  $15,9 \pm 2,9$  porcelets nés vifs.

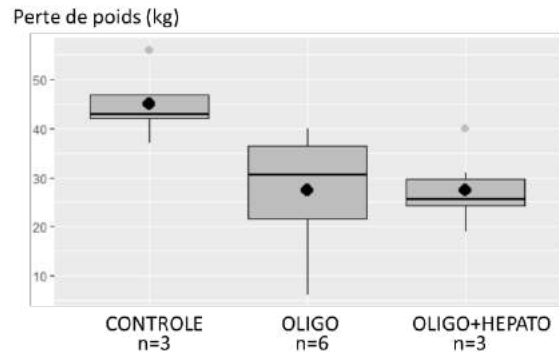


Figure 1 - Perte de poids corporel des truies grasses suivant le lot

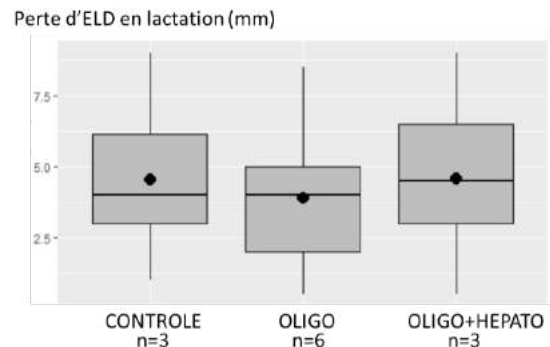


Figure 2 - Perte d'ELD des truies grasses suivant le lot

### 2.3. Performances des porcelets

Les performances des porcelets (poids à la naissance, poids au sevrage, GMQ et IC) n'étaient pas significativement différentes entre les groupes. Aucun problème de santé n'a été observé au cours de l'essai.

## CONCLUSION

Les résultats ne démontrent pas l'intérêt d'une supplémentation systématique des truies en fin de gestation dans le cas d'un troupeau présentant un état corporel homogène. L'effet positif sur les truies grasses sera à confirmer du fait d'un nombre limité d'animaux. Néanmoins il souligne l'importance d'un ciblage spécifique pour un effet bénéfique de l'ajout d'une supplémentation en fonction de l'état corporel des truies et des problèmes potentiels associés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dourmad J.Y., Gagnon P., Brossard L., Pomar C., Cloutier L. 2018. Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'alimentation de précision des truies en gestation. Journées Rech. Porcine, 50, 101–106.
- Kim S.W., Hurely W.L., Wu G., Ji F. 2009. Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation. J. Anim. Sci., 87, 123-132.
- Loisel F., Farmer C., Ramaekers P., Quesnel H. 2014. Colostrum yield and piglet growth during lactation are related to gilt metabolic and hepatic status prepartum. J. Anim. Sci., 92(7), 2931–2941.
- Quiniou N. 2016. Conséquences de l'hétérogénéité des réserves corporelles de la truie à la fin de la gestation sur le déroulement de la mise-bas et les performances de lactation. Journées Rech. Porcine, 48, 207-212.

# Influenza de type A : intérêt de la détection virale chez les porcelets allaités

Agnès JARDIN, Sophie BRILLAND, Philippe LENEVEU, Nathalie CAPDEVIELLE

Ceva Santé Animale, 10 av. de la Ballastière, 33500 Libourne, France

agnes.jardin@ceva.com

## Swine influenza A virus: relevance of viral detection in suckling piglets

Swine influenza is a highly contagious respiratory infection caused by a swine influenza A virus (swIAV) and characterized by respiratory problems, fever, anorexia and apathy. For breeding females, this clinical picture can also include fertility disorders, abortions and a decrease in milk production. In the presence of clinical signs, swIAV is more difficult to detect in breeding pigs than in growing pigs. A shorter virus-shedding period, unclear or ambiguous clinical signs and decreased infection susceptibility are the main hypotheses to explain this difference in detection rate. A recent study showed the relevance of sampling suckling piglets to investigate swIAV circulation in sows and infection dynamics in endemically infected herds. To test this diagnostic strategy, samples were taken on 24 conventional farms suspected to be endemically infected by swIAV. Nasal swabs were performed on at least 10 suckling piglets and 10 weaners on the same day. The sampling focused first on clinically suspicious animals that showed respiratory clinical signs. SwIAV was detected using RT-PCR that targeted the M gene on 12 farms: six farms based on samples from both suckling piglets and weaners, and the other six farms based on samples from weaners only. According to these results, swIAV infection dynamics in these two groups seemed to differ. When detecting swIAV in suckling piglets, it can be presumed that the piglets were infected by shedding sows but no analysis was performed on sows in order to validate this hypothesis. Implementing measures to prevent swIAV vertical transmission could be valuable in this context.

## INTRODUCTION

Chez le porc, la grippe (agent étiologique : virus influenza de type A ou swIAV) est une infection respiratoire qui se caractérise par des troubles respiratoires, de la fièvre, de l'anorexie et de l'abattement. Ce tableau clinique peut se compléter chez une femelle reproductrice par une chute de la fertilité, un avortement ou encore une baisse de production laitière (Madec *et al.*, 1989). En pratique, le diagnostic d'une infection grippale repose classiquement sur l'observation de signes cliniques évocateurs et la détection par PCR de swIAV dans l'appareil respiratoire des porcs malades. Si la détection sur écouvillon nasal de porc malade est souvent efficace pour détecter le virus chez les porcs en croissance, elle l'est moins pour les animaux reproducteurs (Hervé *et al.*, 2019). En effet, les données compilées du réseau de surveillance RESAVIP entre 2011 et 2018 révèlent un taux de détection de virus influenza de 25,8% dans le cas de prélèvements effectués sur des animaux reproducteurs malades contre un taux de 52,2% dans le cas de prélèvements effectués sur des porcs en croissance. Plusieurs hypothèses ont été envisagées pour expliquer cette différence de fréquence de détection : (i) une excrétion virale courte, (ii) des signes cliniques ambigus, (iii) une moindre sensibilité à l'infection.

D'autre part, le suivi longitudinal de trois élevages danois (Ryt-Hansen *et al.*, 2019) a permis d'établir que l'infection par swIAV de porcelets allaités peut être très précoce (dès 3 jours de vie) et concerner beaucoup de porcelets (entre 20 et 50% des

porcelets infectés à 7 jours de vie (+/- 4 jours) selon les élevages). L'une des hypothèses principales pour expliquer la contamination intense et précoce des porcelets est la transmission de swIAV des truies en maternité aux porcelets. Pourtant, dans ces mêmes élevages, du swIAV a été détecté chez aucune ou peu des mères des porcelets suivis (entre 0 et 12,5%). Les porcelets allaités semblent donc révéler et démultiplier la circulation de swIAV chez les truies.

Enfin, lors d'une même visite d'investigation diagnostic, une seule catégorie d'âge, celle aux signes cliniques les plus francs, est classiquement prélevée et il s'agit rarement de porcelets allaités (Hervé *et al.*, 2019).

L'objectif de cette étude est d'évaluer, dans des élevages à clinique évocatrice, la présence et la dynamique d'infection du swIAV par des investigations diagnostiques menées à la fois sur des porcelets allaités et sevrés.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Elevages sélectionnés, prélèvements biologiques et collecte de l'anamnèse

Un kit comportant 30 écouvillons secs, six milieux de transport de type Virocult, un guide d'utilisation et une fiche commémorative a été mis à disposition des vétérinaires par Ceva Santé Animale depuis début 2021. Le kit permet la réalisation de prélèvements sur des porcelets de trois âges différents, avec la recommandation de cibler autant que

possible des animaux présentant des signes cliniques et des issus de jeunes truies. *A minima* des porcelets allaités et les porcelets les plus récemment sevrés sont à prélever. Pour chaque âge, dix écouvillons nasaux sont à effectuer sur dix animaux différents et sont à pooler par cinq dans deux Virocult. Le guide d'utilisation précise le cadre de l'utilisation de ce kit. La recommandation est de l'utiliser dans des élevages où une circulation endémique de la grippe chez les reproducteurs est suspectée. Les signes d'appel de cette circulation endémique peuvent être quelques toux, de la fièvre (surtout en péri mise bas), des avortements ou de l'infertilité. Ces signes étant peu discriminants, la recherche de swIAV s'inscrit souvent dans le cadre d'un diagnostic différentiel, à l'appréciation du vétérinaire. En complément, certains praticiens ont utilisé ce kit pour tenter d'objectiver l'infection précoce avant sevrage par swIAV dans un contexte de grippe récurrente en post-sevrage (PS) ; d'autres pour tenter d'aboutir à la détection du virus H1N1pandémique ou de ses réassortants.

### 1.2. Analyses de laboratoire

Le génome des swIAV a été recherché dans les surnageants des écouvillons nasaux poolés par RT-qPCR ciblant le gène M (analyses effectuées à Labofarm Loudéac ou à Labocea Ploufragan). Afin d'identifier le sous-type et le lignage viral, les échantillons positifs ont ensuite été analysés par des RT-qPCR permettant d'identifier l'hémagglutinine et la neuraminidase virale (selon la méthode détaillée dans Hervé *et al.* 2019).

Un élevage ou un lot (groupe de porcs d'âge homogène) a été considéré comme positif si du génome de swIAV a été détecté dans au moins l'un des six pools de l'élevage (élevage positif) ou l'un des deux pools du groupe (groupe positif).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Vingt-quatre élevages ont été investigués selon ce protocole de diagnostic. Dans 12 élevages, du swIAV a été détecté, soit à la fois chez les porcelets allaités et les porcelets sevrés (six élevages), soit uniquement chez les porcelets sevrés (six élevages) (Tableau 1).

**Tableau 1** – Détection de swIAV selon les stades physiologiques

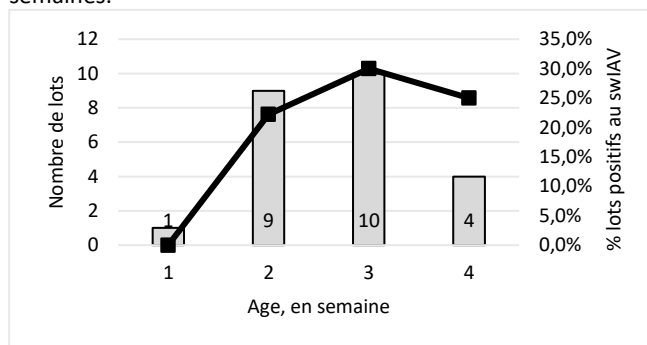
	swIAV détecté chez porcelets allaités (n=6)	swIAV non détecté chez porcelets allaités (n=18)
swIAV détecté chez porcelets en PS (n= 12)	100%	25%
swIAV non détecté chez porcelets en PS (n=12)	0%	75%

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hervé, S., Garin, E., Calavas, D., Lecarpentier, L., Ngwa-Mbot, D., Poliak, S., Wendling, S., Rose, N., Simon, G., 2019. Virological and epidemiological patterns of swine influenza A virus infections in France: Cumulative data from the RESAVIP surveillance network, 2011–2018. *Vet Microbiol* 239, 108477.
- Hervé, S., Chastagner, A., Queguiner, S., Barbier, N., Gorin, S., Blanchard, Y., Rose, N., Jardin, A., Dommergues, L., Simon, G., 2021. Diffusion en 2020, dans les élevages de porcs du nord-ouest de la France, d'un virus influenza porcine H1avN2 d'un génotype nouvellement introduit en Bretagne. *Bull Epid Santé Anim Alim* 92, 2.
- Madec, F., Kaiser, Cl., Gourreau, J.M., Martinat-Botté, F., 1989. Conséquences pathologiques d'un épisode grippal sévère (virus swA/HN) dans les conditions naturelles chez la truie non immune en début de gestation. *Comp. Immun. Microbiol. Infect. Dis.* 12, 17-27.
- Ryt-Hansen, P., Larsen, I., Sonne Kristensen, C., Shak-Krog, J., Wacheck, S., Larsen, L. E., 2019. Longitudinal field studies reveal early infection and persistence of influenza A virus in piglets despite the presence of maternally derived antibodies. *Vet Res* 50, 36.

Dans les six élevages où du swIAV a été détecté chez les porcelets allaités, de la clinique respiratoire récurrente en post-sevrage (PS) était rapportée. Dans trois de ces élevages, des signes cliniques respiratoires (éternuements ou toux) chez les porcelets allaités prélevés ont été relevés par le vétérinaire. Enfin, dans deux élevages parmi ces six, l'existence de troubles évocateurs de grippe sur les animaux reproducteurs (non vaccinés contre la grippe) était mentionnée et constituait le principal motif d'investigation : nombreux cas de fièvre péri mise-bas, chute de fertilité, quelques avortements, lactation défailante, quelques signes respiratoires ponctuels.

Comme présenté dans la figure 1, 79% des lots positifs au swIAV étaient constitués de porcelets allaités âgés de deux ou trois semaines.



**Figure 1** – Nombre de lots et % de lots positifs au swIAV selon l'âge des porcelets allaités (n= 24 élevages)

L'identification virale a été possible au moins partiellement dans cinq élevages : H1avN2 #E (quatre cas) et H1pandémique N non identifié (un cas) (informations sur les virus en circulation en France : Hervé *et al.*, 2021, Hervé *et al.*, 2019).

### CONCLUSION

Face aux difficultés à détecter le swIAV chez les truies adultes et à la symptomatologie protéiforme que l'infection grippale peut induire, la réalisation de prélèvements sur leurs issus allaités pourrait s'avérer judicieuse, ceux-ci jouant un rôle supposé de démultiplication (Ryt-Hansen *et al.*, 2019).

La réalisation simultanée de prélèvements chez des porcelets allaités et sevrés peut être riche d'enseignements dans un contexte de suspicion de circulation endémique de la grippe. La mise en évidence de swIAV chez les porcelets allaités va encourager le déploiement de stratégies visant à réduire la circulation de ce virus dans le troupeau de truies, et donc la transmission verticale (vaccination, gestion de la quarantaine, action sur l'aérotransmission...). A contrario, la seule détection de swIAV sur les porcelets sevrés oriente vers des stratégies à déployer en PS surtout, pour rompre le cycle de contamination entre porcs d'âges différents intra-PS.



# Classification des porcelets en retard de croissance et relation avec la santé et la croissance

Johana BELLON, Marion GIRARD, Giuseppe BEE, Catherine OLLAGNIER

Institute of Livestock Science, Agroscope, Posieux, Suisse

catherine.ollagnier@agroscope.admin.ch

## Classification of stunted piglets as a function of head morphology, and influence of the class on health and zootechnical performance

The selection of hyperprolific sows has led to too many fetuses for the average uterine capacity, which results in altered placental development and delayed development of some fetuses. Piglets with intrauterine growth restriction (IUGR) are at higher risk of postnatal mortality, and have poor postnatal growth. The assessment of head morphology can be used as a method to diagnose these IUGRs (Hansen *et al.*, 2019). This study aimed to evaluate the subjectivity of the classification method and determine the influence of the class on piglet health and growth performances. In this study, novice and expert investigators scored 916 photos (profile) of newborn piglets on a scale from 1 (normal) to 3 (retarded) based on their head shape. We tested the effect of these scores on the health, growth and survival of piglets up to 39 days after birth. While the mean score of novices was higher than that of experts ( $P < 0.001$ ), the investigator's experience had no influence on predictions of growth ( $P > 0.05$ ). The score was correlated with piglet growth ( $P < 0.001$ ), with a difference of 1.75 kg at weaning (25.44  $\pm$  0.05 days of age) between scores 1 and 3. Pigs with score 3 had a 10% lower chance of surviving their first 10 days ( $P < 0.001$ ). However, IUGR piglets did not undergo more treatment than others ( $P > 0.05$ ). Furthermore, a novel indicator that divides the birth bodyweight by the score (BwS) can estimate the survivability ( $P < 0.05$ ) and growth of piglets ( $P < 0.001$ ).

## INTRODUCTION

Avec l'hyperprolificité, certaines truies ne parviennent plus à subvenir aux besoins en oxygène et nutriments de tous leurs porcelets durant la gestation. Il en résulte une altération du développement placentaire et un retard de développement de certains fœtus. Les porcelets présentant un retard de croissance intra-utérin (RCIU) ont une croissance ralentie, une mortalité et une morbidité plus élevées. Le phénomène de RCIU engendre des pertes économiques, mais constitue aussi un problème de bien-être animal (Huting *et al.*, 2018).

En général, les porcelets RCIU sont reconnaissables par un poids de naissance nettement plus faible que la moyenne (par ex.  $< 0,8$  kg ; Alvarenga *et al.*, 2013). Cependant, les nouveaux-nés de faible poids ne sont pas tous en RCIU. La courbe de croissance des porcelets semble plutôt être influencée par leurs caractéristiques morphologiques que par leur poids de naissance (Huting *et al.*, 2018). Une autre méthode de diagnostic des RCIU est basée sur l'appréciation de la morphologie de leur tête à la naissance. Les RCIU disposent en effet d'un crâne particulièrement bombé à cause d'une priorisation de la croissance du cerveau par rapport à celle d'autres organes chez ces fœtus (Hansen *et al.*, 2019). Un nouveau paramètre (BwS), divisant le poids de naissance par le score de RCIU basé sur la morphologie de la tête, a été testé afin de fournir une méthode de diagnostic simple et plus objective des porcelets RCIU.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la subjectivité des scores RCIU et d'estimer les liens entre le score et le BwS avec la santé

et les performances zootechniques des porcelets, de la naissance jusqu'à deux semaines post-sevrage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Attribution des scores et mesures de la santé et des performances

Les porcelets Grands Porcs Blancs suisses (n=916) issus de 59 portées (répartis sur huit bandes) ont été répartis en trois classes selon la morphologie de leur tête. La classification des porcelets a été faite selon une échelle de 1 (tête normale) à 3 (tête clairement bombée) sur la base d'une photo prise de profil, un jour après leur naissance (Figure 1 ; Amdi *et al.*, 2013).

Les observateurs se divisaient en deux catégories (novice, n= 3 ou expert, n= 3). Les observateurs ont tous eu accès aux mêmes photos de référence et se sont entraînés sur un jeu de photos avant d'effectuer la classification. L'ordre d'évaluation des photos a été différent pour chaque observateur, afin d'éviter un phénomène d'apprentissage.



Figure 1 – Scores de retard de croissance intra-utérin (RCIU)

Les porcelets ont été pesés à 0, 5, 16, 25,4 ± 0,05, 32,4 ± 0,05 et 39,4 ± 0,05 jours d'âge et sevrés à 25,4 ± 0,05 jours. Le nombre de traitements par porcelet a été calculé comme le nombre de fois où les porcelets ont reçu un traitement, toutes maladies confondues. Le BwS correspond au poids de naissance en kg divisé par la moyenne des scores des experts, arrondie à l'unité la plus proche.

## 1.2. Statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été faites sur R v4.1.0. Une ANOVA en données répétées avec facteurs fixes (poids de naissance et interaction entre l'expert et le score, ou, poids de naissance et interaction entre la catégorie de l'expert et le score), et facteurs aléatoires (la série, la truie et le porcelet) a été réalisée pour analyser la croissance des porcelets. Les scores ont été comparés par une ANOVA à un facteur (expert, ou, catégorie de l'expert). Le nombre de traitements par classe d'âge (pré-sevrage ou post-sevrage) a été comparé avec une ANOVA à un facteur (score, selon la moyenne arrondie des experts) et avec la série en facteur aléatoire. Si le facteur était significatif ( $P < 0,05$ ), un test Tukey modifié pour la comparaison multiple de moyennes était réalisé. La valeur  $P$  rapportée ici correspond à celle du test Tukey. Les courbes de survie ont été créées selon la méthode de Kaplan-Meier et comparées avec un test Log-Rank, en utilisant le BwS. Deux catégories (BwS ≤ 0,5, à risque et BwS > 0,5, normal) ont été utilisées, ce seuil représentant un porcelet ayant un score de 2 et pesant 1 kg à la naissance.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Subjectivité de la méthode de classification

Les novices attribuent des scores plus élevés que les experts ( $P < 0,001$ ). Comme il n'existe pas de procédés objectifs non-invasifs permettant de valider les scores, il n'est pas possible de savoir si les novices surévaluent ou si les experts sous-évaluent. Les scores des experts et des novices sont tout aussi prédictifs de la croissance des porcelets ( $P > 0,05$ ).

### 2.2. Impacts du score sur la survie, les performances zootechniques et la santé des porcelets

Les porcelets RCIU (score 3, selon la moyenne arrondie des experts) représentent 30 % des nouveau-nés dans cette étude. Ils constituent également 57 % des porcelets morts dans les 36 premières heures de vie. En outre, seulement 85 % des porcelets RCIU survivent dans les premiers 39 jours de vie contre 95 % des porcelets des autres scores ( $P < 0,001$ ). Le score impacte également la croissance des porcelets (Tableau 1) mais

ceux au score 3 n'ont pas reçu plus de traitements que les autres porcelets ( $P > 0,05$ ).

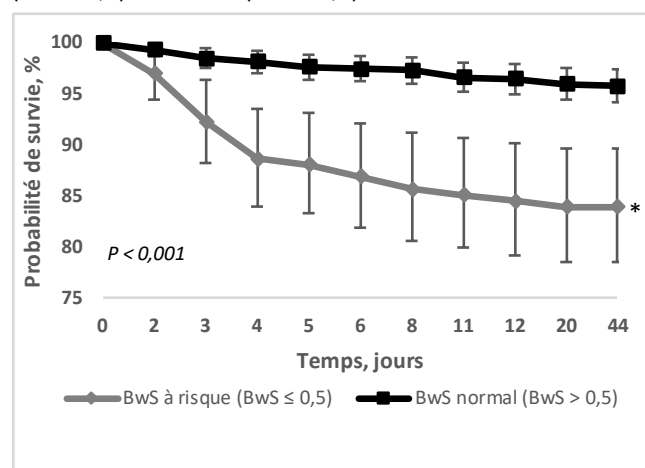
**Tableau 1** – Poids des porcelets selon leur score et leur âge

Paramètre	Score 1	Score 2	Score 3	Écart-type
Poids à la naissance, kg	1,81 <sup>a</sup>	1,58 <sup>b</sup>	1,21 <sup>c</sup>	0,0338
Poids au sevrage, kg	8,17 <sup>a</sup>	7,43 <sup>b</sup>	6,42 <sup>c</sup>	0,146
Poids à 39 jours d'âge, kg	9,51 <sup>a</sup>	8,73 <sup>b</sup>	7,55 <sup>c</sup>	0,187

\*Des lettres différentes montrent une différence significative ( $P < 0,001$ )

### 2.3. Utilisation du nouvel indicateur BwS

Un BwS inférieur à 0,5 impacte la survie des porcelets (Figure 2) et prédit efficacement leur croissance ( $P < 0,001$ ) sans toutefois améliorer la prédiction par rapport à un modèle incluant le poids de naissance et le score. Ceci peut notamment s'expliquer par une perte de puissance statistique liée à la transformation de deux paramètres numériques en un facteur à deux niveaux. Ce nouvel indicateur permet cependant de facilement classer les porcelets en deux catégories : à risque d'être RCIU (BwS ≤ 0,5) ou normal (BwS > 0,5).



**Figure 2** – Courbes de survie des porcelets selon leur catégorie de BwS divisant le poids de naissance par le score de RCIU

## CONCLUSION

Malgré la subjectivité des scores, un score élevé impacte la survie et la croissance des porcelets. Le nouvel indicateur BwS permet de classer les porcelets en deux catégories : à risque d'être RCIU (BwS ≤ 0,5) ou normal (BwS > 0,5). Cependant, il nécessite de connaître le poids à la naissance, et n'est pas mieux corrélé à la croissance et à la survie que le score RCIU.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alvarenga A. L., Chiarini-Garcia H., Cardeal P. C., Moreira L. P., Foxcroft G. R., Fontes D. O., Almeida F. R., 2013. Intra-uterine growth retardation affects birthweight and postnatal development in pigs, impairing muscle accretion, duodenal mucosa morphology and carcass traits. *Reprod. Fertil. Dev.*, 25, 387-395.
- Amdi C., Krogh U., Flummer C., Oksbjerg N., Hansen C. F., Theil P. K., 2013. Intrauterine growth restricted piglets defined by their head shape ingest insufficient amounts of colostrum. *J. Anim. Sci.*, 91, 5605-5613.
- Hansen C. F., Hales J., Amdi C., Moustsen V. A., 2019. Intrauterine growth-restricted piglets defined by their head shape have impaired survival and growth during the suckling period. *Anim. Prod. Sci.*, 59, 1056-1062.
- Huting A. M. S., Sakkas P., Wellock I., Almond K., Kyriazakis I., 2018. Once small always small? To what extent morphometric characteristics and post-weaning starter regime affect pig lifetime growth performance. *Porc. Health Manag.*, 4, 1-14.

# Effet de la supplémentation en produits à base de plantes sur la physiologie des truies et des porcelets pendant la lactation et au sevrage

Lucile HERVE (1), Hélène QUESNEL (1), Amaury GREUTER (2), Laurent HUGONIN (2) Nathalie LE FLOC'H (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 16 Le Clos, 35590 Saint-Gilles, France

(2) IDENA, 21 Rue du Moulin, 44880 Sautron, France

[lucile.herve@inrae.fr](mailto:lucile.herve@inrae.fr)

## Effect of a supplementation with plant-derived products on sow and piglet physiology during lactation and around weaning

Some plant-derived products are known for their antioxidant, anti-inflammatory or anti-bacterial properties. When provided to piglets or their dam, they may improve piglets' ability to adapt to weaning stress. The effects of a supplementation with plant-derived products on sow and piglet physiology were investigated. Sixty-four sows were assigned to a Control or Extract group. Extract sows received 25 g/d of plant extract (*Eleutherococcus senticosus*, *Uncaria tomentosa* and *Rosmarinus officinalis*) in feed from day of gestation (DG) 106 to day of lactation (DL) 28 and 20 mL of essential oils (from *Origanum vulgare* and *Eucalyptus globulus*) on DG109. Within each sow group, 2 mL of essential oils (EO, from *Origanum vulgare* and *Eucalyptus globulus*) were administered to all piglets of 1 litter out of 2 at DL3. Piglets were weaned on DL28. Blood was collected from sows on DG94, DG112 and DL26 and from 2 piglets/litter on DL25 and 5 d post-weaning to measure indicators of the metabolic, immune, inflammatory and oxidative status. Colostrum and milk were collected at farrowing and on DL6 and DL26. Extract supplementation had no effect on sow physiology except for fewer lymphocytes on DG112 and a lower free-fatty-acid concentration on DL26 ( $P < 0.05$ ). Extract supplementation reduced fat and haptoglobin concentration in milk on DL26 ( $P < 0.05$ ). On DL25, EO piglets had a lower granulocyte proportion ( $P < 0.05$ ), a greater lymphocyte proportion and a lower oxidative stress index (OSI,  $P < 0.10$ ), regardless of sow treatment. Piglet OSI, haptoglobin concentration and leukocytes number increased after weaning but were not influenced by sow or piglet supplementation. The present combination of plant-derived products could thus modify the composition of sow milk and the immune and inflammatory status of piglets before weaning.

## INTRODUCTION

Le sevrage constitue une période critique pour la santé des porcelets. Les stratégies préventives favorisant la maturité des porcelets permettraient d'améliorer leur robustesse au sevrage, à savoir leur capacité à exprimer une croissance optimale sans manifester de problème de santé quelles que soient les conditions de sevrage. Certains produits à base de plantes ayant des propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antioxydantes et immuno-modulatrices (Nehme *et al.*, 2021), nous avons fait l'hypothèse qu'apportés aux porcelets ou dans l'alimentation maternelle, ils pourraient être bénéfiques pour les porcelets au moment du sevrage par une action directe sur les porcelets ou une amélioration du statut physiologique et de la qualité nutritionnelle et immunitaire du colostrum et du lait de leur mère. L'objectif de cette étude est donc de déterminer l'effet d'un apport d'une combinaison d'extraits de plantes et d'huiles essentielles aux truies et/ou aux porcelets sur leur physiologie pendant la lactation et au sevrage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Soixante-quatre truies Landrace x Large White, correspondant à quatre bandes, ont été réparties en deux lots : Témoin et

Extrait. Les truies du lot Extrait ont reçu 25 g/j d'un mélange d'extraits d'*Eleutherococcus senticosus*, d'*Uncaria tomentosa* et de *Rosmarinus officinalis* en poudre distribué en « top-dressing » sur leur aliment du jour 106 de gestation (G106) au jour 28 de lactation (L28) et 20 mL d'un mélange d'huiles essentielles d'*Origanum vulgare* L. et d'*Eucalyptus globulus* à G109. Les truies du lot Témoin n'ont reçu aucun produit. Au sein de chaque lot de truies, tous les porcelets d'une portée sur deux ont reçu 2 mL d'un mélange d'huiles essentielles d'*Origanum vulgare* L. et d'*Eucalyptus globulus*, administré par voie orale 3 jours après leur naissance (lot HE). Les autres portées n'ont pas reçu ces huiles essentielles (lot 0). Les mélanges d'extraits de plantes et d'huiles essentielles ont été fournis par IDENA (Sautron, France). Les porcelets ont été sevrés à 28 jours d'âge.

Tous les porcelets ont été pesés à la naissance, à L6, au sevrage et à la fin des cinq semaines de période de post-sevrage (PS) afin de calculer leur GMQ. Des prises de sang ont été réalisées sur les truies avant le début de la supplémentation (G94), après l'administration des huiles essentielles (G112) et en fin de lactation (L26) et sur deux porcelets par portée avant sevrage (L25) et 5 jours après le sevrage pour le dosage d'indicateurs plasmatiques des statuts immunitaire (formule sanguine), inflammatoire (haptoglobine) et oxydant (produits d'oxydation, dROM et capacité antioxydante, BAP). Des indicateurs du statut métabolique des truies (glucose, lactate, urée, créatinine et acides gras libres) ont aussi été analysés. Du colostrum et du lait

ont été collectés sur toutes les truies dans les 2 h suivant la naissance du premier porcelet, et à L6 et L26 pour analyser la composition nutritionnelle et la concentration en haptoglobine.

Les données ont été analysées avec le logiciel R. L'effet de la supplémentation des truies sur les variables mesurées chez les truies a été analysé grâce à un modèle linéaire mixte généralisé incluant le lot (Témoin vs Extrait) comme effet fixe et la bande comme effet aléatoire. L'effet de la supplémentation des truies et/ou des porcelets sur les performances de croissance et les indicateurs sanguins mesurés chez les porcelets a été analysé grâce à un modèle linéaire mixte généralisé incluant le lot de la truie (Témoin vs Extrait), le lot du porcelet (0 vs HE) et leur interaction comme effets fixes et la bande et la truie (seulement pour l'analyse des performances de croissance des porcelets) comme effets aléatoires.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Effet de la supplémentation des truies sur leur physiologie

La supplémentation des truies avec la combinaison d'extraits de plantes et d'huiles essentielles (lot Extrait) n'a pas eu d'effet sur les indicateurs plasmatiques de leurs statuts métabolique, immunitaire, inflammatoire et oxydant, à l'exception d'une diminution du nombre de lymphocytes à G112 ( $3,8$  vs  $4,3 \times 10^3/\text{mm}^3$ ,  $P < 0,05$ ) et de la concentration en acides gras libres à L26 ( $967$  vs  $1240 \mu\text{M}$ ,  $P < 0,05$ ). La composition du colostrum et du lait à L6 ne différait pas significativement entre les deux lots ( $P > 0,10$ ; Tableau 1). Cependant, à L26, le lait des truies du lot Extrait contenait moins de lipides ( $P < 0,05$ ) et avait tendance à contenir moins de matière sèche et d'énergie brute ( $P < 0,10$ ) que le lait des truies du lot Témoin (Tableau 1). La concentration en haptoglobine était aussi plus faible dans le lait des truies du lot Extrait ( $P < 0,01$ ).

### 2.2. Effet de la supplémentation des truies et des porcelets sur la croissance et la physiologie des porcelets

Contrairement à notre hypothèse et à une précédente étude montrant les effets bénéfiques de la supplémentation des truies en extraits de plantes sur les performances et le statut oxydant des porcelets (Parraguez *et al.*, 2021), le GMQ et les indicateurs des statuts immunitaire, inflammatoire et oxydant mesurés dans notre étude étaient similaires chez les porcelets issus de mères supplémentées avec la combinaison d'extraits de plantes et d'huiles essentielles (lot Extrait) et issus de mères Témoin. Cependant, la supplémentation des porcelets en HE a amélioré leur croissance en PS : les porcelets du lot HE étaient plus lourds en fin de PS ( $25,3$  vs  $24,3$  kg,  $P < 0,05$ ) et avaient un meilleur GMQ en PS ( $431$  vs  $405$  g/j,  $P < 0,05$ ) que les porcelets du lot 0. De plus, à L25, les porcelets du lot HE avaient une plus faible proportion de granulocytes ( $23,2$  vs  $25,9\%$ ,  $P < 0,05$ ) et une tendance à avoir une plus forte proportion de lymphocytes

( $64,3$  vs  $61,8\%$ ,  $P = 0,07$ ) et un plus faible index de stress oxydant ( $\text{ISO} = \text{dROM}/\text{BAP}$ ,  $0,23$  vs  $0,25$ ,  $P = 0,06$ ) que les porcelets du lot 0, suggérant que les HE administrées aux porcelets ont modifié leurs statuts immunitaire et oxydant avant sevrage.

Comme précédemment observé (Sauerwein *et al.*, 2013), le sevrage a induit un stress, indiqué par l'augmentation du nombre de leucocytes, de la concentration en haptoglobine et de l'ISO entre L25 et 5 jours après sevrage. Cependant, les concentrations de ces indicateurs sanguins étaient similaires chez les porcelets du lot 0 et du lot HE après le sevrage.

**Tableau 1** – Composition du colostrum et du lait des truies supplémentées en produits à base de plantes (lot Extrait) ou non (lot Témoin)

	Témoin	Extrait	ESM <sup>1</sup>	P
<b>Colostrum</b>				
Matières sèches, %	27,6	26,8	0,85	0,31
Matières minérales, %	0,66	0,67	0,024	0,73
Protéines, %	16,6	16,0	0,46	0,20
Lipides, %	4,4	4,9	0,29	0,23
Lactose, %	3,7	3,7	0,45	0,87
Energie brute, kJ/g	6,6	6,4	0,18	0,41
Haptoglobine, mg/mL	1,54	1,59	0,445	0,72
<b>Lait à L6</b>				
Matières sèches, %	20,9	20,1	0,62	0,12
Matières minérales, %	0,79	0,81	0,023	0,23
Protéines, %	5,8	5,6	0,14	0,47
Lipides, %	8,3	7,5	0,32	0,11
Lactose, %	7,7	7,8	0,88	0,77
Energie brute, kJ/g	5,5	5,2	0,13	0,12
Haptoglobine, mg/mL	0,29	0,20	0,043	0,16
<b>Lait à L26</b>				
Matières sèches, %	26,8	24,5	3,43	0,07
Matières minérales, %	0,97	0,93	0,043	0,12
Protéines, %	6,9	6,4	0,46	0,12
Lipides, %	13,6	11,5	3,10	< 0,05
Lactose, %	6,3	6,7	1,30	0,29
Energie brute, kJ/g	7,6	6,8	0,09	0,06
Haptoglobine, mg/mL	0,61	0,38	0,110	< 0,01

<sup>1</sup>Ecart Standard à la moyenne. Modèle linéaire mixte généralisé incluant le lot (Témoin vs Extrait) comme effet fixe et la bande comme effet aléatoire.

## CONCLUSION

La supplémentation des truies avec la combinaison d'extraits de plantes et d'huiles essentielles a eu peu d'effet sur leur physiologie et n'a amélioré ni les performances et ni les indicateurs de l'état de santé des porcelets avant et après sevrage. Cependant, elle a modifié la composition du lait, notamment en fin de lactation. L'administration du mélange d'huiles essentielles directement aux porcelets a eu un effet bénéfique sur leur croissance en PS, potentiellement lié à l'amélioration de leur statut immunitaire et oxydant observée avant sevrage.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Nehme R., Andrés S., Pereira R.B., Ben Jemaa M., Bouhallab S., Cecilian F., López S., Zohra Rahali F., Ksouri R., Pereira D.M., Abdennebi-Najar L., 2021. Essential oils in livestock: from health to food quality. *Antioxidants*, 10, 330.
- Parraguez V.H., Sales F., Peralta O.A., De los Reyes M., Campos A., González, J., Peralta W., Cabezon C., González-Bulnes A., 2021. Maternal supplementation with herbal antioxidants during pregnancy in swine. *Antioxidants*, 10, 658.
- Sauerwein H., Schmitz S., Hiss S., 2005. The acute phase protein haptoglobin and its relation to oxidative status in piglets undergoing weaning-induced stress. *Redox Rep.*, 10, 295–302.

# Effet d'une combinaison levure vivante - paroi de levure comparé à un traitement avec l'oxyde de zinc sur la santé et les performances zootechniques de porcelets sevrés

Dorthe CARLSON (2), Niels OVE NIELSEN (2), Wouter DE BRUIN (1), Géraldine KUHN (1)

(1) Phileo by Lesaffre, 137 rue Gabriel Peri 59700 Marcq en Baroeul, France

(2) Testgris SvineRadgivningen, Birk Cebterpark 24, 7400 Herning, Danemark

g.kuhn@phileo.lesaffre.com

## Effect of a live yeast Sc47–parietal fraction combination compared to a ZnO treatment on health status and zootechnical performance of weaned piglets

To find effective alternatives to the use of ZnO, two trials were conducted in Denmark, one at an experimental unit and the other at a commercial farm. In trial 1, 3300 piglets were separated into 3 groups, one receiving a control feed (NC), one receiving a feed with ZnO (PC), and one receiving a feed supplemented with the live yeast probiotic + yeast cell wall (LY). Average daily gain (ADG), feed intake (FI) and feed conversion ratio (FCR) were measured during 3 post-weaning phases (A: D0-D14 ; B: D14 -D28; C: D28-D42) as were diarrhea scores. In trial 2, 800 piglets were separated into 2 groups, one receiving ZnO for 14 days (PC), the other the live yeast for the entire experiment and the yeast cell wall for the first 14 days (LY). In trial 1, after 14 days of trial, group PC had significantly better ADG (PC: 202, NC: 170, LY: 172 g/d;  $P < 0.001$ ) and FI (PC: 265, NC: 225, LY: 230,  $P < 0.001$ ), but there was no difference in FCR. No difference among the 3 groups was observed during phase B. A trend towards improved ADG in phase C was observed in group LY compared to those of NC and PC (LY: 776, PC: 769, NC: 738 g/d;  $P = 0.07$ ). At the end of the trial, ADG, FI and FCR did not differ significantly between groups LY and PC (476 vs. 487; 688 vs. 702; 1.46 vs. 1.46, respectively). In trial 2, at the end of the 6-weeks trial, no difference between the groups was observed (ADG, Weight); nonetheless, ADG was more linear in group LY. In conclusion, the live yeast-yeast cell wall combination over the long term is as effective as ZnO in supporting piglet health and performance.

## INTRODUCTION

Depuis la mise en place de plans nationaux et européens pour un meilleur usage des antibiotiques en élevage, les acteurs de la filière porcine ont réussi à réduire de manière significative l'usage de ces substances grâce à la mise en place de différentes mesures efficaces comme un meilleur management des élevages, une biosécurité accrue, ou des modifications dans les formules alimentaires. Néanmoins, un défi majeur reste à résoudre : trouver des solutions efficaces et rentables pour gérer certaines pathologies digestives jusqu'ici contrôlées par l'usage thérapeutique de l'oxyde de zinc (ZnO). En effet, en juin 2022, cet usage sera interdit au sein de l'union européenne. Cette contrainte oblige à poursuivre les efforts dans la recherche de solutions et dans les changements des pratiques d'élevages, notamment le management des truies et de leurs porcelets.

Ainsi, pour éviter une recrudescence des pathologies digestives, notamment après le sevrage, la mise en place précoce d'un microbiote diversifié et le développement de l'immunité sont nécessaires. L'une des stratégies disponibles est l'usage de levures vivantes et de fractions de levure sélectionnées dans les aliments des truies et des porcelets. Plusieurs publications scientifiques montrent le bénéfice des levures vivantes sur l'implantation d'un microbiote varié (Kiros *et al.*, 2019) et également dans leur soutien à la mise en place de l'immunité (Jurgens *et al.*, 1997). Enfin, grâce à leur capacité d'attachement

à certaines bactéries pathogènes (Posadas *et al.*, 2017) les levures vivantes *Saccharomyces cerevisiae* et les fractions de levure sélectionnées spécifiquement pour leur capacité d'attachement (lié à la composition de leur paroi), empêchent leur adhésion sur l'épithélium des cellules intestinales, limitant ainsi l'inflammation et l'apparition des diarrhées.

Afin de vérifier et d'évaluer ces effets sur la santé et les performances zootechniques de porcelets sevrés, 2 essais ont été réalisés au Danemark, l'un dans une station expérimentale (Testpig, SvineRadgivningen, Denmark), l'autre dans un élevage commercial.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux, aliments et paramètres mesurés

L'essai 1 incluait 3300 porcelets mâles castrés et femelles de race Danbred croisée Landrace/Yorkshire x Duroc (sexe ratio 50/50). Au sevrage ( $25 \pm 3$  j d'âge), les porcelets ont été répartis en 3 groupes identiques selon leur poids (petit, moyen, lourd ; poids moyen de 6,2 kg), le 1<sup>er</sup> groupe recevant un aliment standard (Témoin Négatif : TN), le 2<sup>nd</sup> l'aliment standard supplémenté avec 2500 mg/kg de ZnO (Témoin Positif : TP) pendant les 14 premiers jours post sevrage (période A) et le 3<sup>ème</sup> groupe (L) l'aliment standard supplémenté avec la levure vivante Actisaf® (1kg/t) (Phileo by Lesaffre, France) et des parois de Levure Safmannan® (0,5kg/t) (Phileo by Lesaffre, France)

pendant toute la durée de post-sevrage. Ils ont été suivis suivant trois périodes de durée identique (A : J0-J14 ; B : J14 - J28 et C : J28-J42) soit 43 jours au total. Le poids vif et l'ingéré alimentaire ont été mesurés à chaque période. Le GMQ et l'IC ont été calculés.

L'essai 2 incluait 800 porcelets de race Danbred sevrés à environ 25 jours d'âge au poids moyen de 6,2 kg, répartis en deux groupes identiques (16 cases/groupe, 25 porcelets/case). Le 1<sup>er</sup> groupe (TP) a reçu un aliment standard supplémenté avec 3100 ppm de ZnO uniquement pendant les 14 premiers jours post-sevrage. Le 2<sup>ème</sup> groupe (L) a reçu l'aliment standard supplémenté avec la levure vivante Actisaf® (2 kg/t) + parioli de Levure Safmannan® (0,5 kg/t) durant 14 jours post-sevrage puis l'aliment standard supplémenté avec la levure vivante (1 kg/t) pendant le reste de l'essai. La période d'essai a duré 42 jours. Les porcelets ont été pesés de manière hebdomadaire.

## 1.2. Analyses statistiques

Les performances zootechniques ont été statistiquement analysées par la procédure GLMM de R (R core TEAM, 2018). Les données ont été considérées comme significative lorsque  $P < 0,05$ .

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances des porcelets

#### 2.1.1. Essai 1 :

Après 14 jours d'essai (période A), les performances des porcelets du groupe TP ont été significativement améliorées tant sur le GMQ ( $P < 0,001$ ) que pour l'ingéré ( $P < 0,001$ ) mais il n'y a eu aucune différence sur l'IC (1,36 pour les 3 groupes ; NS). (Tableau 1)

**Tableau 1** – performances zootechniques des groupes (TN), (TP) et (L) au cours des 3 périodes

	Période	Groupes			P value
		TN	TP	L	
<b>GMQ (g/j)</b>	A	170 <sup>b</sup>	202 <sup>a</sup>	172 <sup>b</sup>	<0,001
	B	487	506	498	0,17
	C	738	769	776	0,07
	A-C	458 <sup>b</sup>	487 <sup>a</sup>	476 <sup>ab</sup>	0,008
<b>Ingéré (g/j)</b>	A	225 <sup>b</sup>	265 <sup>a</sup>	230 <sup>b</sup>	<0,001
	B	685	701	698	0,22
	C	1149	1171	1169	0,17
	A-C	671 <sup>b</sup>	702 <sup>a</sup>	688 <sup>ab</sup>	<0,001
<b>IC</b>	A	1,36	1,36	1,36	0,85
	B	1,38	1,38	1,39	0,78
	C	1,57	1,55	1,53	0,06
	A-C	1,48	1,46	1,46	0,70

Notes : <sup>a,b</sup> signifie des différences significatives entre les traitements  $P < 0,05$

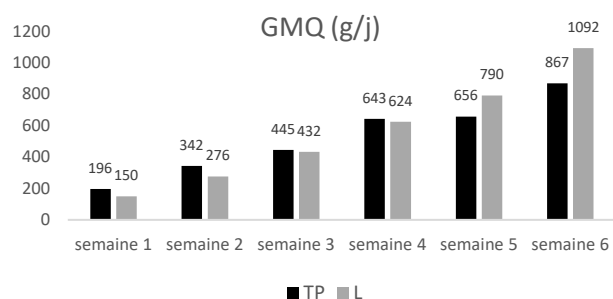
Durant la phase B, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes, tant sur le GMQ ( $P = 0,17$ ), que sur l'ingéré ( $P = 0,22$ ) et l'IC ( $P = 0,78$ )

Une tendance à l'amélioration du GMQ en phase C a été observée dans les groupes L et TP comparé au groupe TN ( $P = 0,07$ ).

Enfin au terme de l'essai, le GMQ, l'ingéré et l'IC n'étaient pas significativement différents entre les groupes L et TP (476 vs. 487 g/j ; 688 vs. 702 g/j ; 1,46 vs. 1,46 respectivement), mais significativement différent du groupe TN. (Tableau 1).

#### 2.1.2. Essai 2 :

Durant toute la période de post-sevrage, aucune différence significative n'a été observée tant sur le GMQ que sur les poids des porcelets en fin d'essai (TP : 23,2 vs. L : 23,4 kg après 35 j d'essai,  $P = 0,73$ ). Néanmoins la dynamique de croissance diffère entre les deux groupes (Figure 1) avec un GMQ qui tend à être un peu plus faible pour le lot L en début d'essai alors qu'elle est plus élevée en fin d'essai.



**Figure 1** - GMQ des porcelets durant la durée du post-sevrage.

## CONCLUSION

Pour anticiper l'interdiction du ZnO notamment en Europe, différentes alternatives telles que les solutions à base de pré et probiotiques doivent être évaluées avant leur mise en place en élevage. En diminuant la pression des agents pathogènes et en réduisant l'inflammation intestinale, la combinaison des solutions à base de levures testées dans l'essai en élevage expérimental a contribué à maintenir les performances zootechniques des animaux sur la période totale de post-sevrage au même niveau que le traitement contenant le ZnO et comparativement à un témoin négatif sans traitement. L'essai terrain (essai 2) confirme les résultats obtenus en station (essai 1), notamment en montrant des performances zootechniques similaires.

Ces deux essais ont permis de valider l'intérêt d'une combinaison de source de levures comme une solution de substitution possible au ZnO pour prévenir les diarrhées post-sevrage, solution aujourd'hui déjà disponible aux éleveurs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Posadas G.A, Broadway P.R, Justin A. Thornton J.A., Carroll J.A., Lawrence A., Corley J.R, Thompson A., Donaldson J. R., 2017. Yeast Pro- and Paraprobiotics Have the Capability to Bind Pathogenic Bacteria Associated with Animal Disease. Anim. Sci. 2017.1:60–68.
- Jurgens M. H., Rikabi R. A., and Zimmerman D. R., 1997. The effect of dietary active dry yeast supplement on performance of sows during gestation-lactation and their pigs. J. Anim. Sci., 75, 593–597.
- Kiros, TG, Luise D, Derakhshani H, Petri R, Trevisi P, D'Inca R., Auclair E., Van Kessel A.G., 2019. Effect of live yeast *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on the performance and cecum microbial profile of suckling piglets. PLoS ONE 14, e0219557.

# Impact de l'âge au sevrage sur la prévalence des diarrhées

Isabelle CORREGE (1), Nathalie QUINIOU (1), Didier GAUDRE (1), Nathalie LE FLOC'H (2)

(1) IFIP-Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex, France

(2) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

isabelle.correge@ifip.asso.fr

## Impact of age at weaning on the occurrence of diarrhea

The practice of weaning at 21 days of age has developed considerably in France. The objective of this trial was to study the impact of the age of piglets at weaning (at 21 or 28 days of age) on pig health after weaning under normal or degraded conditions of live. The study was performed in experimental facilities on two batches of 252 piglets from weaning until seven weeks after weaning. A feeding practice with a secure feed during the first 7 days of post-weaning was implemented for pigs weaned at 21 days. Mortality rate was recorded, and diarrhea was assessed by analyzing fecal scores and measuring the dry matter content of the feces. Blood was collected from 160 piglets (to analyze the complete blood count, haptoglobin, antioxidant defense and the production of reactive oxygen species). During the post-weaning period, 47% of piglets were observed to have diarrhea on at least one day, and this percentage was not significantly influenced by age at weaning. The piglets weaned at 21 days of age had a 7-day lag in the onset of diarrhea compared to those weaned at 28 days of age. Animals weaned at 21 days under normal conditions have a higher mortality rate than those weaned at 28 days but not under degraded conditions. These results should be confirmed by other studies.

## INTRODUCTION

La réglementation européenne établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs (Directive 2008/120/CE) recommande « qu'aucun porcelet ne doit être séparé de sa mère avant d'avoir atteint l'âge de 28 jours ». Pourtant, la pratique du sevrage à 21 jours d'âge s'est fortement développée en France (45 % des élevages de la base G3T de l'Ifip) pour répondre à des contraintes d'organisation et de conduite d'élevage, d'adéquation de la chaîne de bâtiments mais également à des contraintes technico-économiques (productivité des truies). L'objectif de cette étude est d'actualiser les connaissances sur l'incidence d'un sevrage des porcelets à 21 ou 28 jours d'âge sur la prévalence des diarrhées et la mortalité pendant la période de post-sevrage.

### 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Deux bandes de 252 porcelets de la station expérimentale de l'Ifip (Romillé, 35) sont suivies pendant 7 semaines après le sevrage. Pour chaque bande, deux salles identiques sont utilisées, qui diffèrent par les conditions de vie : normales ou dégradées. Dans ce dernier cas, les préfossees ne sont pas vidangées, la salle n'est pas désinfectée après le nettoyage et les cases contiennent deux porcelets de plus (10 vs 8). Quatre lots sont ainsi constitués dans un dispositif 2x2 au sein de chaque bande, avec des porcelets sevrés à 21 (S21) ou 28 jours (S28) élevés dans les conditions de vie normales ou dégradées. Afin que les porcelets S21 et S28 soient sevrés le même jour, les truies de chaque bande sont réparties en deux groupes, inséminés à 1 semaine d'intervalle. Les porcelets sont allotés au sevrage selon leur sexe et selon le poids (lourds, moyens ou légers intra lot) avant répartition entre les deux conditions de vie afin de constituer des blocs de quatre cases.

Un aliment adapté pour un sevrage à 21 jours est distribué aux porcelets du lot S21 pendant les 7 jours qui suivent le sevrage. A partir de 28 jours d'âge, la conduite est identique pour les

porcelets S21 et S28, avec un aliment 1<sup>er</sup> âge distribué pendant 14 jours puis un aliment 2<sup>ème</sup> âge distribué jusqu'à la fin du post-sevrage (respectivement à 57 et 64 jours d'âge).

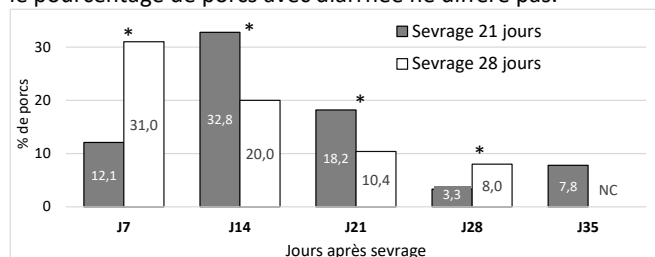
Les porcelets sont pesés individuellement à 3 semaines d'âge et/ou au sevrage (J1), puis à jeun à 14, 21, 39 jours de post-sevrage et à 46 jours pour ceux du lot S21 (stades notés J14, J21, J39 et J46). Les quantités d'aliment consommées par case sont relevées entre deux pesées (résultats non présentés). La consistance des déjections de chaque porcelet est notée (1 : moulu et segmenté ; 2 : segmenté ; 3 : bouse ; 4 : diarrhée ; 5 : diarrhée liquide) à J7, J14, J21 et J28 ainsi qu'à J35 pour ceux du lot S21. Le taux de matière sèche des fèces ( $MS_{fec}$ ) de la moitié des porcelets est mesuré aux mêmes dates. Un porcelet est classé « avec diarrhée » si son score de fèces est de 4 ou 5 et/ou la teneur en  $MS_{fec}$  est au maximum de 15 %. Des recherches d'*E. coli* sont réalisées sur 10 porcelets par traitement d'une des bandes à J7 et J14. Sur 20 porcelets par modalité d'une seule bande, du sang est prélevé à J7 et J20 (lot S28) ou J27 (S21) pour analyser la formule sanguine, l'haptoglobine, la défense anti oxydante (BAP) et la production d'espèces réactives de l'oxygène (dROM).

Les variables sanguines sont analysées avec le logiciel R (2018) (fonction lm). Les moyennes sont comparées avec un test t. Les pourcentages de mortalité et d'animaux avec diarrhée sont analysés avec le logiciel SAS (SAS Inst. Inc., v 9.4) (procédure FREQ, test exact de Fisher ou Khi deux). Les analyses sont réalisées par bande, par condition de vie et pour les deux bandes et conditions de vie.

### 2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Bien que numériquement plus élevée chez les animaux sevrés à 21 jours, la mortalité observée en post-sevrage pour la totalité de l'essai ne diffère pas significativement entre lots : 3,6 % (S21) vs 1,2 % (S28) ( $P = 0,09$ ). Cependant, cette différence est significative en conditions normales (5,3 vs 0,9 %,  $P = 0,05$ ) mais pas en conditions dégradées (2,1 vs 1,4 %).

Le pourcentage de porcelets avec diarrhée est significativement plus faible à J7 et J28 pour les porcelets S21 que pour les porcelets S28 (Figure 1). L'inverse est observé à J14 et J21. A J35, le pourcentage de porcelets S21 avec diarrhée augmente par rapport à celui observé 7 jours plus tôt et atteint le même niveau que celui observé au même âge (J28) pour les porcelets S28. A 7 semaines d'âge, les porcelets S21 ont significativement moins de diarrhée que ceux du lot S28 (respectivement 3,3% à J28 vs 10,4% à J21,  $P = 0,05$ ), alors qu'à 5, 6 et 8 semaines d'âge le pourcentage de porcs avec diarrhée ne diffère pas.



\* différence significative au seuil de 5% (test du Khi deux, NC : non mesuré).

**Figure 1** - Pourcentages de porcelets avec diarrhée

Le pourcentage de porcelets pour lesquels au moins une diarrhée a été observée au cours des quatre stades de notations ne diffère pas selon l'âge au sevrage (Tableau 1). Ce résultat est en contradiction avec les études de Madec *et al.* (1998) et Postma *et al.* (2016) dans lesquelles la conduite alimentaire n'était pas spécifiquement adaptée pour un sevrage à 21 jours. La prévalence des diarrhées en conditions dégradées n'est pas supérieure à celle obtenue en conditions normales (Tableau 1) contrairement aux résultats obtenus lors de précédents essais (Gaudré *et al.*, 2007). Ce résultat est obtenu dans un contexte de prévalence des diarrhées élevée, même en conditions normales, avec 47 % des animaux ayant au moins une fois une diarrhée.

**Tableau 1** - Pourcentages de porcs avec au moins une diarrhée selon l'âge au sevrage

	N	S21, %	S28, %	Khi <sup>2</sup>
Total	503	47,6	47,0	ns
Conditions normales	224	58,4	50,0	ns
Conditions dégradées	279	39,3	44,6	ns

Des *E. coli* non hémolytiques et non typables sont isolés dans les 10 fèces collectées à J7 et J14 pour chacun des quatre groupes, avec isolement du facteur de virulence K85 sur respectivement trois prélèvements de porcelets S28 à J7 et quatre de porcelets S21 à J14.

A J7, les teneurs plus élevées en haptoglobine chez les porcelets S28 sont probablement liées à la plus forte prévalence de diarrhées (Tableau 2). Cependant, à 7 semaines d'âge, malgré une prévalence plus élevée de diarrhées, nous ne retrouvons pas de différence significative sur les teneurs en haptoglobine. En revanche, une proportion plus importante de granulocytes

neutrophiles est observée, indiquant une origine infectieuse des diarrhées à ce stade mais probablement à bas bruit. Les diarrhées ne se traduisent pas par de la déshydratation puisque les valeurs d'hématocrite sont significativement plus faibles chez les animaux présentant plus de diarrhées (S28 vs S21) à J7. De même, à 7 semaines d'âge, les valeurs d'hématocrite de différent plus entre les porcelets S21 et S28 même si les porcelets S28 ont plus de diarrhées. A J7, les teneurs en hémoglobine sanguine ainsi que le volume globulaire moyen sont conformes aux valeurs moyennes habituellement observées chez des porcelets autour du sevrage et n'indiquent pas de signe d'anémie.

**Tableau 2** – Moyenne des paramètres sanguins selon l'âge au sevrage (\* :  $P$ -value t-test < 0,05) (N = 40 porcelets/lot)

Paramètres	Sevrage + 7 j		7 semaines d'âge	
	S21	S28	S21	S28
BAP, $\mu\text{mol/L}$	2720	2749	2692	2621
dROM, CARRU	1127	1073	988	1003
Haptoglobine, mg/L	1,6	2,1*	1,3	1,5
Globules blancs, $10^3/\mu\text{L}$	16,9	14,9	19,2	17,2
Lymphocytes, $10^3/\mu\text{L}$	7,5	7,3	10,2	8,3*
Granulocytes neutrophiles, $10^3/\mu\text{L}$	6,8	5,5	7,0	6,9
Lymphocytes, % des globules blancs	46,2	50,4*	53,7	48,8*
Granulocytes neutrophiles, % des globules blancs	38,8	35,6	35,3	39,5*
Globules rouges, $10^6/\mu\text{L}$	6,6	6,7	5,9	6,1
Volume globulaire moyen, $\mu\text{m}^3$	60,4	57,0*	57	54,6*
Hématocrite, %	40,1	38,1*	33,5	33,4
Hémoglobine, g/dL	12,3	11,6*	9,6	9,9

## CONCLUSION

Chez les animaux sevrés à 21 jours d'âge, un décalage de 7 jours dans l'apparition des diarrhées est observé pendant le post-sevrage par rapport à ceux sevrés à 28 jours d'âge avec au final un pourcentage de porcelets ayant de la diarrhée qui ne diffère pas significativement selon l'âge au sevrage. Ce résultat nous paraît d'autant plus important qu'il est obtenu dans un contexte de prévalence élevée de diarrhée qui aurait pu être plus pénalisant pour les porcelets sevrés à 21 jours d'âge. Ce résultat tout comme ceux montrant un taux de mortalité plus élevé chez les animaux sevrés à 21 jours en conditions normales mériteraient d'être confirmés par d'autres essais. Ils seront à mettre en relation avec les performances de croissance qui feront l'objet d'une publication ultérieure.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le plan Ecoantibio. Les auteurs remercient Thierry Mener pour sa contribution dans la formulation des aliments.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gaudré D., Royer E., Ernandorena V., Granier R., Le Floc'h N., 2007. Mise au point d'un modèle d'études des alternatives à l'usage des antibiotiques à visée digestive en post-sevrage. Journées Rech. Porcine, 39, 133-138.
- Madec F., Bridoux N., Bounaix S., Jestin A., 1998. Measurement of digestive disorders in the piglet at weaning and related risk factors. Prev. Vet. Med., 5, 53-72.
- Postma M., Backhans A., Collineau L., Loesken S., Sjölund M., Belloc C., Emanuelson U., Grosse Beilage E., Okholm Nielsen E., Stärk K., Dewulf J., 2016. Evaluation of the relationship between the biosecurity status, production parameters, herd characteristics and antimicrobial usage in farrow-to-finish pig production in four EU countries. Porc. Health Manag., 2, 9.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.



# Alternative aux antibiotiques pour réduire les diarrhées de post-sevrage : interaction entre une nouvelle formulation d'oxyde de zinc et un mélange de tannins

Johana BELLON (1), Maria Rita MELLINO (2), Nicolas PRADERVAND (1), Sébastien DUBOIS (1), Agathe ROMEO (3), Olivier DESRUES (4), Giuseppe BEE (1), Catherine OLLAGNIER (1)

(1) Animal Production Systems and Animal Health, Agroscope, Posieux, Suisse

(2) Department of Agricultural Sciences, University of Sassari, Sassari, Italie

(3) Animine, Annecy, France

(4) Silvateam, San Michele Mondovì, Italie

catherine.ollagnier@agroscope.admin.ch

## Alternative to antibiotics to reduce post-weaning diarrhoea: interaction between a new formulation of ZnO and a mixture of tannins

Given the emergence of multidrug-resistant bacteria, there is an urgent need for alternative methods to antimicrobials to prevent or treat piglet Post Weaning Diarrhoea (PWD). The objective of this study was to evaluate interactions between a zinc oxide (ZnO) source formulation and a tannin mixture on performances of piglets in a model of enterotoxigenic *Escherichia coli* F4 (ETEC F4) infection. In total, 88 piglets ( $27.2 \pm 0.9$  days of age;  $7.3 \pm 1.0$  kg), genetically susceptible to ETEC F4, were randomly assigned to four groups. The TA group was fed with a feed containing 0.75% of a tannin-rich extract of chestnut and Quebracho. The nZnO group received a feed containing 150 ppm zinc from potentiated ZnO. The nZnO + TA group received a feed containing tannins and nZnO at the same doses as before. The C group received a standard feed formulated according to Swiss recommendations. Four days after weaning, piglets were infected with ETEC F4. Faecal score, weight, daily intake per pen and faecal F4 ETEC levels were analysed. Piglets that suffered severe diarrhoea for five consecutive days were treated with antibiotics to ensure their welfare. C group piglets had severe diarrhoea, and 18% had to be treated with antibiotics, compared to less than 4% in the other groups. Tannins and ZnO reduced faecal scores in the TA and nZnO + TA groups ( $P < 0.005$ ). Feed consumption in the TA and nZnO + TA groups was better than that in the C group ( $P < 0.04$ ), especially after infection. The addition of ZnO and tannins reduced the number of antibiotic treatments, but only tannins increased feed consumption and decreased diarrhea severity.

## INTRODUCTION

Avec l'émergence des bactéries multi-résistantes, il est urgent de trouver des alternatives aux antimicrobiens pour prévenir ou traiter les diarrhées de post sevrage (DPS) chez les porcelets. L'objectif de cette étude était d'évaluer les interactions entre un oxyde de zinc et un mélange de tannins sur les performances des porcelets, dans un modèle d'infection par *Escherichia coli* entérotoxigène F4 (ETEC F4).

### 1. MATERIEL ET METHODES

#### 1.1. Animaux, hébergement, alimentation et infection

Quatre-vingt-huit porcelets ( $27,2 \pm 0,9$  jours d'âge ;  $7,3 \pm 1,0$  kg de poids vif), génétiquement sensibles à la souche d'*Escherichia coli* entérotoxigène F4, (ETEC F4), ont été répartis aléatoirement en quatre groupes le jour du sevrage (jour -4). Le groupe TA a reçu un aliment contenant 0,75% d'un extrait riche en tannins (79% de tannin en matière sèche, ISO 14088) de châtaignier et de Quebracho (Silvafeed®Nutri P, Silvateam,

Italie). Le groupe nZnO a reçu un aliment contenant 150 ppm de Zinc provenant d'un oxyde de zinc potentialisé (HiZox®, Animine, France). Le groupe nZnO + TA a reçu un aliment contenant des tannins et du nZnO, selon les mêmes doses que précédemment. Le groupe C a reçu l'aliment standard. Tous les aliments avaient la même composition et ont été formulés selon les recommandations suisses pour porcelet au sevrage (Agroscope, 2005). Les animaux étaient hébergés par groupe de quatre du même traitement, dans des cases avec une aire bétonnée, un caillebotis et un nid chauffant. L'aliment était distribué une fois par jour en quantité suffisante pour garantir l'*ad libitum*.

Les porcelets ont été infectés avec un ETEC F4, 4 jours après sevrage avec une solution contenant  $10^{10}$  CFU de bactéries ETEC F4, administrée par voie orale à l'aide d'une capsule en gélatine. La souche ETEC infectante provenait d'un porcelet en diarrhée dans la même exploitation. Cette souche était résistante à la rifampicine et possédait les gènes suivants : fimbriae F4 (K88ac), toxine thermolabile (LT) et toxine thermostable (Stb), mises en évidence par analyse PCR.

## 1.2. Mesures et analyses

Le poids des porcelets a été mesuré aux jours, -4, 0 (= jour d'infection), 2 et 7 et des prélèvements de fèces ont été réalisés aux jours 0, 1, 2, 3 et 6. Ces prélèvements ont servi à déterminer l'excrétion en ETEC F4. Les porcelets ont ensuite été euthanasiés au jour 9 ( $\pm 1$ ). La quantité d'ETEC F4 excrétée par gramme de fèces était mesurée en comptant le nombre d'unité formant colonie par culture sur un milieu sélectif pour *E. coli* (plaques d'Eosine Methylene Blue Agar) et contenant de la rifampicine (50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ).

Le score fécal de chaque porc a été évalué régulièrement (jours -4, -1, 0, 1, 2, 3, 6 et 7) par le même observateur selon la grille d'évaluation suivante : Score 4 : diarrhée aqueuse ; Score 3 : diarrhée liquide ; Score 2 : fèces de type bouse ; Score 1 : fèces moulées. Pour des raisons de bien-être animal, les porcelets ayant un score de 4 pendant 5 jours, ou étant considérés comme faibles par le vétérinaire traitant, ont été traités par antibiotiques (sulfamide triméthoprim, Borgal<sup>®</sup>, intramusculaire, 15 mg/kg, 5 jours de traitement).

Le gain moyen quotidien (GMQ), le pourcentage de porcelets présentant de la diarrhée par jour (nombre de porcelets avec un score de 3 ou 4), la durée de la diarrhée (nombre de jours avec un score fécal de 3 ou 4) ont été calculés. Même si la consommation était mesurée par case, l'ingestion moyenne est rapportée par porcelet et par jour, car le nombre de porcelets par case n'était pas toujours le même (en raison de la mortalité dans certaines cases). L'excrétion d'ETEC F4 a été rapportée par porcelet et par jour de prélèvement.

La teneur en Zn (exprimée relativement à la matière sèche) des aliments a été mesurée par ICP-EOS selon le standard international (EN 15510:20017).

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sur R v3.4.4. Une ANOVA à un facteur (groupe [C, nZnO, TA et nZnO + TA]) ou deux facteurs (groupe expérimental et jours de mesure) a été réalisée pour analyser les variables continues (GMQ, durée de la diarrhée et pourcentage de porcelets en diarrhée par jour, ingestion journalière et excrétion en ETEC F4). Les scores fécaux

ont été comparés par une régression ordinaire à deux facteurs (groupe expérimental et jours de mesure, CLMM). Si le facteur groupe était significatif ( $P < 0,05$ ), un test Tukey modifié pour la comparaison multiple de moyennes était réalisé. La valeur P rapportée ici correspond à celle du test Tukey.

## 2. RESULTATS

Les scores fécaux étaient réduits dans les groupes TA et nZnO + TA ( $P < 0,01$ ). Quatre porcelets (18%) ont dû être traités par antibiotiques dans le groupe C parce qu'ils présentaient des diarrhées sévères ou qu'ils étaient faibles. Un porcelet (4%) a dû être traité dans le groupe nZnO ; aucun dans les groupes TA et nZnO + TA. Un porcelet a dû être euthanasié (groupe nZnO), en raison d'une pneumonie aigüe juste après infection. Les performances zootechniques des porcelets sont présentées dans le tableau 1 et la figure 1. La supplémentation en nZnO n'a pas eu d'effet sur le gain de poids des porcelets challengés, contrairement aux observations de Trevisi *et al.* (2014). Le pourcentage de porcelets en diarrhée et l'excrétion fécale en ETEC F4 n'étaient pas différents entre les groupes.

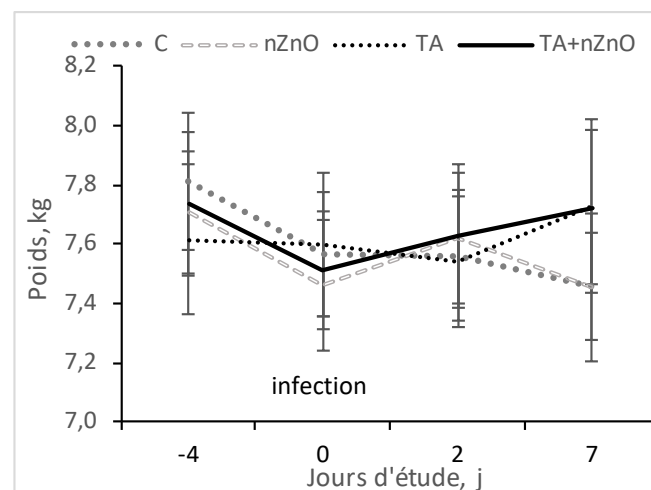


Figure 1 – Croissance des porcelets pendant l'étude

Tableau 1 – Performances zootechniques des porcelets

Paramètre	C	nZnO	TA	nZnO + TA	écart type	P
Nombre moyen de jours de diarrhée, j	5,54	4,91	4,91	4,77	1,60	0,25
Consommation moyenne, kg/j/porcelet	0,07 <sup>a*</sup>	0,07 <sup>a</sup>	0,10 <sup>b</sup>	0,09 <sup>ab</sup>	0,01	<b>0,04</b>
avant infection	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,53
après infection	0,08 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,12 <sup>b</sup>	0,12 <sup>b</sup>	0,01	<b>0,01</b>
Gain moyen quotidien, kg	-0,04	-0,04	0,01	-0,01	0,09	0,22

\*Des lettres différentes montrent une différence significative

## CONCLUSION

L'ajout d'une forme potentialisée de ZnO et de tannins a permis de réduire le nombre de traitements antibiotiques, mais il n'y a pas de preuve évidente d'une synergie entre les deux

traitements. Les tannins de châtaignier et de Quebracho ont permis de réduire la sévérité des diarrhées et d'augmenter la consommation d'aliment, sans pour autant améliorer le GMQ. Une supplémentation d'extrait de tannins à plus haute dose (2%) pourrait permettre d'améliorer les performances zootechniques, comme dans l'essai de Girard and Bee (2019).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agroscope, 2005. Apports alimentaires recommandés pour les porcs. <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/services/soutien/aliments-pour-animaux/apports-alimentaires-recommandes-porcs.html>.
- Girard M., Bee G., 2019. Invited review: Tannins as a potential alternative to antibiotics to prevent coliform diarrhea in weaned pigs. *Animal*, 14, 1-13.
- Trevisi P., Durosoy S., Gherpelli Y., Motta V., Colombo M., Bosi P., 2014. Effect of zinc oxide on growth performance and health of Escherichia coli F4-challenged susceptible weaning pigs. Proc. Conference "EAAP – 65th Annual Meeting", Copenhagen, Denmark, p. 112

# Validation d'un automate d'hématologie et établissement d'intervalles pour les paramètres hématologiques du porcelet autour du sevrage

Mily LEBLANC-MARIDOR (1), Dorothée PICQ (1), Corentin MONTFORT (1), Arnaud BUCHET (2), Blandine Lieubeau (3), Julie HERVE (3), Catherine BELLOC (1)

(1) INRAE, Oniris, BIOEPAR, 44300 Nantes, France

(2) Cooperl Innovation SAS, 22640 Plestan, France

(3) IECM USC 1383, Oniris, INRAE, 44300 Nantes, France

*mily.leblanc-maridor@oniris-nantes.fr*

## Validation of a automated hematology analyzer and establishment of hematologic intervals for piglets around weaning

The objective of this study was to (i) validate the current automated hematology analyzer ProCyte Dx (IDEXX®) and (ii) determine intervals of hematologic parameters for piglets around weaning. A total of 590 blood samples were collected from 288 non-castrated male piglets (NUCLEUS genetics) from 16 farms two days before weaning and one week after weaning, at 26 and 35 days of age, respectively. The samples were analyzed within four hours of sampling using the ProCyte Dx. In parallel, a blood smear (the gold standard manual method) was performed and read for each sample (for some samples, a micro-hematocrit was performed). Data for erythrocyte, leukocyte and thrombocyte lineages obtained with the automated analyzer were described and compared to those from the blood smears. Using Reference Value Advisor v2.1 software, we obtained reference values for swine hematologic parameters around weaning. The ProCyte Dx is validated for erythrocyte lineage and for differential leukocyte counts in five populations (monocytes, lymphocytes, neutrophil granulocytes, basophils and eosinophils). Nevertheless, analyzing a blood smear remains necessary to confirm morphological abnormalities (detected by analyzing cell-distribution graphs with the automated analyzer) and platelet count (as platelet aggregates are rarely detected by the automated analyzer). Compared to adult swine hematologic values, those for weaning piglets like for finishing piglets in literature indicate a higher leukocyte upper limit ( $32.5 \cdot 10^3/\mu\text{L}$  versus  $24 \cdot 10^3/\mu\text{L}$  for sows) and a large number of reticulocytes before weaning (up to 7.4% at 26 days) which then decreases over time (3.4% at 35 days and 1.0% in adults).

## INTRODUCTION

A l'heure actuelle, l'hématologie chez le porc reste peu utilisée sur le terrain en termes d'examen complémentaire, à la fois pour des raisons de faisabilité et d'interprétation (Thorn, 2010). Alors qu'il ne semble pas y avoir beaucoup d'impact du sexe sur les paramètres hématologiques, de la variabilité a été observée selon la race, l'âge des animaux, le stade physiologique, l'alimentation, les performances des animaux, la conduite d'élevage et la saison (Elbers *et al.*, 1992). De plus, même si des études se développent pour objectiver par exemple l'anémie des truies (Gautier *et al.*, 2019), il existe peu de validation de l'hémogramme obtenu avec des automates d'analyse hématologique et une variabilité des références apparait pour des stades physiologiques spécifiques, tels que le porcelet autour du sevrage.

L'objectif de cette étude est (i) la validation de l'automate d'analyse biochimique et hématologique courant, le ProCyte Dx (IDDEX®) et (ii) la détermination des valeurs de référence des paramètres hématologiques chez le porcelet en post-sevrage.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Population étudiée

Dans 16 élevages naisseurs-engraisseurs, deux porcelets de poids moyen ont été sélectionnés dans neuf portées provenant de truies de rangs de portée représentant la démographie standard d'un élevage de porc. Au total, des prélèvements sanguins sur 288 porcelets mâles entiers de génétique NUCLEUS ont été réalisés sur tube EDTA deux jours avant le sevrage puis une semaine après, soit à 26 et 35 jours d'âge respectivement.

### 1.2. Analyses hématologiques et échantillons retenus

Les échantillons ont été analysés le jour même à l'aide du ProCyte Dx. En parallèle, un frottis sanguin (méthode manuelle de-référence) a systématiquement été réalisé et analysé (un micro-hématocrite a été effectué sur les 100 premiers prélèvements pour validation).

Les échantillons ne répondant pas aux critères d'inclusion (absence d'identification, absence de données du ProCyteDx et/ou absence de frottis) et ceux pour lesquels les conditions

pré-analytiques n'étaient pas remplies (hémolyse marquée, caillot sanguin, cytolysé marquée) ont été exclus de l'analyse. Au total, 561 échantillons ont été retenus parmi les 576 prélèvements sanguins effectués.

### 1.3. Analyses descriptive et comparative des résultats

Les données obtenues par l'automate pour la lignée érythrocytaire, leucocytaire et thrombocytaire ont été décrites et comparées au frottis sanguin. Pour les données quantitatives continues, la concordance entre les deux méthodes a été évaluée par le calcul du coefficient de concordance de Lin et complétée par des graphiques de Bland Altman et le calcul de la droite de régression. Pour les données qualitatives, le coefficient de kappa, les taux de concordance et de discordance, la spécificité, la sensibilité, les valeurs prédictives positives et négatives ont été calculés. Quand la variabilité des valeurs d'une variable quantitative était très faible et/ou quand les valeurs étaient des valeurs entières, elles ont été regroupées en classe et considérées comme des valeurs qualitatives pour l'évaluation de la concordance entre les deux méthodes. La concordance entre les deux méthodes.

### 1.4. Etablissement de valeurs de référence

Ces données ont ensuite été analysées à l'aide du logiciel Reference Value Advisor v2.1 pour obtenir des valeurs dites de référence à ce stade physiologique. Ce logiciel, basé sur les recommandations internationales permet, à partir d'une sélection de valeurs pour un paramètre donné, d'établir une description des données (taille de l'échantillon, médiane, moyenne, écart-type), de représenter la distribution sous forme d'histogramme, de repérer les éventuelles valeurs aberrantes et de les mettre en évidence par des tests, de tester la distribution (normale, symétrique) et enfin de choisir la méthode statistique la plus adaptée pour l'établissement d'intervalles de référence (Geffré et al, 2011).

## 2. RESULTATS - DISCUSSION

### 2.1. Validation de l'automate d'hématologie ProCyte Dx

Le ProCyte Dx est validé pour la lignée érythrocytaire et pour la numération leucocytaire différentielle en cinq populations (monocytes, lymphocytes, granulocytes neutrophiles, basophiles et éosinophiles). Néanmoins, la lecture du frottis sanguin reste nécessaire pour confirmer les anomalies morphologiques (détectées par l'analyse des graphiques de distribution cellulaire rendus par l'automate) et la numération plaquettaire (agrégats plaquettaires très peu détectés par l'automate).

### 2.2. Etablissement de valeurs de référence

#### 2.2.1. Valeurs communes à 26 et 35 jours d'âge

Les deux groupes d'âge n'ont pas été distingués pour la numération des hématies (intervalles de références entre 5,4 et

7,9  $10^{12}/L$ ), pour le taux d'hématocrite (entre 28,1 et 45,7%) et pour l'hémoglobine (entre 85,1 et 136,0 g/L).

Pour la numération plaquettaire, les valeurs de référence varient entre 246,3 et 966,5  $10^3/\mu L$  pour les deux classes d'âge.

#### 2.2.2. Valeurs distinctes à 26 et 35 jours d'âge

Les groupes d'âges ont été distingués pour les paramètres suivants donnant lieu à des intervalles différents.

##### Lignée érythrocytaire :

Les valeurs de référence varient pour le volume glomérulaire moyen (VGM) entre 47,8 et 70,0 fL à 26 jours puis entre 47,0 et 66,2 fL à 35 jours ; pour la teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine (TCMH) entre 14,5 et 20,8 pg à 26 jours puis entre 13,7 et 19,2 pg à 35 jours ; pour la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (CCMH) entre 27,9 et 31,9% à 26 jours puis entre 26,7 et 31,0% à 35 jours et pour l'indice de distribution des globules rouges (IDR) entre 20,9 et 40,1% à 26 jours puis entre 21,9 et 49,2% à 35 jours

Pour la numération réticulocytaire, les valeurs de référence varient entre 23,3 et 472,6  $10^3/\mu L$  à 26 jours puis entre 8,5 et 231,4  $10^3/\mu L$  à 35 jours et elles varient entre 1,6 et 59,6 % à 26 jours puis entre 4,3 et 95,8 % à 35 jours pour la fraction des réticulocytes immatures.

##### Lignée leucocytaire :

Pour la numération leucocytaire, les valeurs de référence varient entre 6,6 et 23,5  $10^3/\mu L$  à 26 jours puis entre 8,8 et 32,5  $10^3/\mu L$  à 35 jours. Les groupes d'âges ont aussi été distingués pour les lymphocytes (numération entre 3,2 et 13,4  $10^3/\mu L$  à 26 jours puis entre 4,9 et 16,5  $10^3/\mu L$  à 35 jours), les monocytes (numération entre 0,1 et 1,7  $10^3/\mu L$  à 26 jours puis entre 0,3 et 2,2  $10^3/\mu L$  à 35 jours), les granulocytes neutrophiles (numération d entre 2,2 et 11,8  $10^3/\mu L$  à 26 jours puis entre 2,6 et 19,2  $10^3/\mu L$  à 35 jours), les granulocytes basophiles (numération entre 0,0 et 0,2  $10^3/\mu L$  à 26 jours puis entre 0,0 et 0,4  $10^3/\mu L$  à 35 jours) et les granulocytes éosinophiles (numération entre 0,0 et 0,1  $10^3/\mu L$  à 26 jours, ils restent à 0,0  $10^3/\mu L$  à 35 jours).

Comparativement aux valeurs hématologiques du porc adulte (Thorn, 2010), les résultats obtenus pour le porcelet autour du sevrage soulignent une valeur haute des leucocytes nettement supérieure (32,5  $10^3/\mu L$  contre 22,0  $10^3/\mu L$ ) et un nombre de réticulocytes très élevé avant le sevrage (jusqu'à 7,4% à 26 jours) qui diminue ensuite au cours du temps (3,4% à 35 jours et 1,0% chez l'adulte).

## CONCLUSION

Cette étude a permis de valider l'utilisation de l'automate ProCyte Dx (IDDEX®) pour déterminer les paramètres hématologiques du porcelet autour du sevrage sous réserve de confirmer des anomalies morphologiques détectées par le ProCyte Dx par un frottis.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Elbers A.R.W., Counotte G.H.M., Tielen M.J.M., 1992. Haematological and clinicochemical blood profiles in slaughter pigs. Vet. Q, 14, 57-62.
- Gautier L., Cantaloube E., Larher F., Gin T., Friocourt G., Launay F., 2019. Etude de la prévalence de l'anémie chez la truie et proposition d'une méthode d'évaluation du niveau d'anémie d'un troupeau. AFMVP 2019.
- Geffré A., Friedrichs K., Harr K., Concordet D., Trumel C. Braun J.P., 2011. Reference Value Advisor: A new freeware set of macroinstructions to calculate reference intervals with microsoft excel. Vet. Clin. Pathol., 40, 107-112.
- Thorn E.C., 2010. Chapter 109: Hematology of the pig. In: Schalm's Veterinary Hematology, 6th edition. Wiley-Blackwell, 1206p.

# Infection à *Streptococcus suis* provoquant de la mortalité aiguë chez les porcs à l'engraisement

Caroline BONCKAERT (1), Emily ROLLY (1), Charlotte BRO SSE (1), Tamara VANDERSMISSEN (1), Stefan ROELS (1),  
Ludivine TILLIERE (2), Frédéric SMEETS (2).

(1) DGZ Vlaanderen, Hagenbroeksesteenweg 167, 2500 Lier, Belgique

(2) ARSIA, Allée des Artisans 2, 5590 Ciney, Belgique

Caroline.Bonckaert@dgz.be

## ***Streptococcus suis* infection causing sudden death of fattening pigs**

During the first half of 2020, Belgian veterinarians reported the sudden death of young fattening pigs without symptoms. Whether correct or not, *Streptococcus suis* was diagnosed. The bacteria is, however, more prevalent and causes illness in the nursery. In this project, we investigated pathogens that could cause the sudden death of young fattening pigs shortly after arrival at the fattening unit. Participation consisted of sending untreated pigs from each farm for necropsy. From these pigs, samples were collected for histological and bacteriological analyses. Tissues such as, but not limited to, the spleen and brain were collected to check for sepsis caused by *S. suis*. Upon growth of the latter, serotyping was performed. Twenty pigs from twelve farms were necropsied. Diagnosis of mortality ranged from suspicion of septicemia without any bacteriological growth over a pericarditis to meningoencephalitis and pneumonia. In 11 animals, *S. suis* could be isolated from the brain: non-typeable *S. suis* (n=4) and serotype 9 *S. suis* (n=4) were found more often than serotype 4 (n=2) and serotype 7 (n=1). In 7 animals, *S. suis* was detected in tissues other than the brain. *S. suis* was found in joints (n=1), lungs (n=1), the spleen (n=4) and the pericardium/endocardium (n=1). In these organs, serotype 9 *S. suis* was detected more often (n=4) than non-typeable (n=1), serotype 2 (n=1) or serotype 4 (n=1). In 12 animals, meningitis was observed, with histological confirmation. Results confirm the presence of infections of *S. suis* as cause for the sudden death of young fattening pigs. The infection is characterized by macroscopic lesions of the brain, which are also confirmed histologically.

## **INTRODUCTION**

Au cours du premier semestre 2020, les vétérinaires ont signalé régulièrement des problèmes de mortalité subite chez les porcs, pendant le premier mois après leur entrée en engraisement. Dans la plupart des cas, aucun signe clinique ou aucune lésion n'a été observée mais parfois des symptômes nerveux étaient présents. Les vétérinaires suspectent une infection de *Streptococcus suis* et traitent les animaux avec l'amoxicilline. Bien que *S. suis* puisse survenir chez les porcs de tout âge, des symptômes cliniques tels que méningite, septicémie ou mortalité aiguë sont principalement observés chez les porcelets sevrés. L'objectif de cette étude était d'identifier les causes infectieuses majeures d'origine bactérienne dans des élevages présentant des problèmes de mortalité aiguë chez les porcs à l'engraisement.

## **1. MATERIEL ET METHODES**

### **1.1. Elevages et participants**

Cette étude a été réalisée dans le cadre du Veepeiler Varken. Celui-ci a été créé, à l'initiative de la DGZ, pour soutenir le secteur porcin en Belgique. Il fédère la DGZ, l'ARSIA, la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Gand et la clinique

porcine de la FMV de l'Université de Liège. Pour être inclus dans cette étude, les élevages devaient présenter des mortalités aiguës en engraisement. Un maximum trois porcs à l'engraisement non traités avec des antibiotiques (cas typiques) étaient envoyés à la DGZ pour une autopsie.

### **1.2. Autopsie et diagnostic étiologique**

En complément de l'autopsie, un examen histopathologique et des analyses bactériologiques ont été réalisés avec une attention particulière portée au cerveau et à la rate afin d'exclure ou de confirmer la présence de *S. suis*. Le sérotypage par méthode d'agglutination a été effectué à chaque fois que *S. suis* était isolé, permettant de distinguer les sérotypes 1, 2, 3, 4, 7, 8 et 9. Les souches pour lesquelles on ne pouvaient pas distinguer l'un de ces sérotypes ont été qualifiées de non typable. Des analyses (PCR, culture) ont également été menées pour rechercher la cause de mortalité aiguë (infections à *Actinobacillus pleuropneumoniae*, *Clostridium*, ...).

### **1.3. Examen histopathologique**

Des échantillons de cerveau et cervelet sont prélevés durant l'autopsie et fixés au formol (4%). Les tissus fixés en formol ont été inclus en paraffine. Des sections de 5 µm ont été réalisées, mises sur des lames et séchées durant la nuit à 40 °C. Ces lames

ont ensuite été colorées avec de l'hématoxyline-éosine (HE) et examinées par des vétérinaires pathologistes.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Participants et résultats de l'autopsie

Au total, 20 porcs à l'engraissement ont été autopsiés. Ils étaient issus de 12 élevages différents, répartis dans toute la Flandre. L'ensemble des lésions macroscopiques qui ont été observées seules, ou en association, étaient un tableau d'allure septicémique, une péricardite, une endocardite, une méningo-encéphalite et une pneumonie. L'atteinte lésionnelle des différents systèmes étaient variables selon les cadavres : système respiratoire (n = 6), système nerveux (n = 14), circulatoire (n = 6) et système articulaire (n = 1).

### 2.2. Bactériologie

La culture aérobie (gélose au sang et gélose CNA) associée au Maldi-tof a permis d'isoler *S. suis* sur le cerveau de onze des 20 animaux. Les souches ont été typées. Les sérotypes les plus couramment isolées étaient le sérotype 9 (n = 4) et un sérotype non typable (n = 4), les sérotypes 4 (n = 2) et 7 (n = 1) ont également été trouvés (Figure 1). Sur sept cadavres, *S. suis* a été isolé sur d'autres organes (articulation, poumon, rate, cœur) que le cerveau. Chez ces cadavres le sérotype 9 était le plus fréquent (n=4), suivi du sérotype non typables (n = 1), du sérotype 2 (n = 1) et du sérotype 4 (n = 1) (Figure 1). En plus de *S. suis*, *S. dysgalactiae* spp *equisimilis* a été isolé du cerveau (n = 3), de la rate (n = 2), du péricarde (n = 2) et de l'endocarde (n= 2).

### 2.3. Histopathologie

L'examen histopathologique a mis en évidence une méningite dans 12 cas sur 20. Les lésions inflammatoires variaient d'une méningo-encéphalite fibrinopurulente (n = 5) à une méningo-encéphalite à éosinophiles légère (n = 1). Chez les animaux atteints de méningite, les sérotypes les plus fréquents étaient le sérotype 9 (n = 2), le sérotype 4 (n = 1) et le non typage (n = 1). Dans six des huit cas où aucune méningite n'a été observée histologiquement, aucun *S. suis* n'a été isolé sur le cerveau. Chez les deux autres animaux, un *S. suis* non typable a été isolé (Tableau 1).

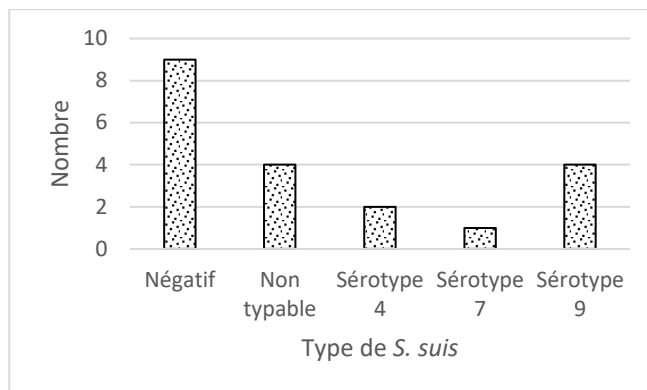


Figure 1 – Nombre d'isolations de *S. suis* sur le cerveau des porcs autopsiés et typage.

Tableau 1 - Comparaison entre les lésions histopathologiques observées et les *S. suis* isolés sur les cerveaux chez les porcs à l'engraissement.

Lésions microscopiques	négatif	SS NT	SS 4	SS 7	SS 9
Absent	6	2			
Méningo-encéphalite à éosinophiles restreinte					1
Méningite fibrinosupplicative				1	1
Méningo-encéphalite fibrinosupplicative	1	1	1		2
Méningo-encéphalite mixte	1	1			
Méningo-encéphalite à éosinophiles légère	1				
Méningo-encéphalite supplicative			1		

## CONCLUSION

Les observations du système nerveux central tant macroscopiques que microscopiques associées à un examen bactériologique confirment que l'infection à *S. suis* chez les porcs à l'engraissement est, dans cette étude, la principale cause de mortalité aiguë après l'entrée en engraissement.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce au soutien du Veepeiler Varken.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Gottschalk M., 2012. Streptococcus. Disease of Swine. 11th edition, Hoboken, NJ 07030, USA, 841-855
- DGZ. Rapports d'autopsie annuels de DGZ : [https://www.dgz.be/sites/default/files/Activiteitenverslag\\_autopsie\\_varkens\\_2018\\_0.pdf](https://www.dgz.be/sites/default/files/Activiteitenverslag_autopsie_varkens_2018_0.pdf)

# Description du premier cas d'identification d'un nouveau circovirus porcin, le PCV3, en France

Maud CONTRANT (1), Cecilia BERNARD (1), Lionel BIGAULT (1), Christelle FABLET (2), Valérie NORMAND (3), Nicolas ROSE (2), Yannick BLANCHARD (1)

(1) ANSES, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, Unité Génétique Virale et Biosécurité, B.P.53, 22440 Ploufragan, France.

(2) ANSES, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, Unité Epidémiologie, Santé et Bien-Etre, B.P.53, 22440 Ploufragan, France.

(3) Porc.Spective, rue Montgolfier, 56920 Noyal Pontivy, France

maud.contrant@anses.fr

Avec la collaboration de Joaquim Ségalès Coma et Viviane Saporiti

## Description of the identified case of a new porcine circovirus, PCV3, in France

Porcine circovirus 3 (PCV3) was first identified by meta-genomics in the United States in 2015 on a farm that had recorded an increase in the mortality rate, a decrease in sow reproduction and clinical signs compatible with nephropathy dermatitis syndrome. Epidemiologically, PCV3 has gradually spread to several countries, including some in Europe, and is currently widely distributed in pigs and wild boars throughout the world. In 2019, a PCV3 infection was identified for the first time in France during suspected atypical circovirose on a farm with post-weaning growth retardation and withering at the beginning of fattening. Histological examinations performed on 3 animals with typical clinical signs showed lymphoid depletion, lympho-histiocytic infiltration and the presence of syncytial cells that are typical lesions of circovirose. Immuno-histochemical examination with an anti-CAP PCV2 antibody was found to be positive, but detection of the PCV2 viral genome by qPCR was negative. Qualitative and quantitative PCR of the PCV3 genome carried out on samples from fattening pigs showing signs of atypical circovirose were found to be positive. SANGER sequencing of PCR products confirmed the presence of the PCV3 viral genome in these pigs. These results show for the first time the detection of PCV3 in the French pig herd associated with clinical manifestations of circovirose. Research is currently underway to evaluate the real involvement of PCV3 in the various syndromes associated with its presence.

## INTRODUCTION

Le circovirus porcin de type 3 (PCV3) appartient à la famille des *circoviridae* et au genre des *circovirus*. Il s'agit du quatrième membre des circovirus capable d'infecter le porc, en plus du PCV1 (Tischer *et al.*, 1974), considéré comme non pathogène pour le porc, du PCV2, associé à un ensemble de maladies porcines dont la maladie de l'amaigrissement du porcelet (MAP), avec un impact économique très important pour l'industrie porcine (Allan and Ellis, 2000), et enfin le PCV4, identifié en Chine en 2019 (Zhang *et al.*, 2020).

Le PCV3, identifié en 2014 (Palinsky *et al.*, 2017 ; Phan *et al.*, 2016), est capable d'infecter les porcs de tous âges, certains animaux montrant même une infection persistante, et les signes cliniques associés sont très variés : troubles respiratoires, reproductifs, gastro-intestinaux et neurologiques, ainsi que le syndrome de dermatite et de néphropathie porcine (PDNS). Ce virus est également identifié chez des animaux en bonne santé (Opriessnig *et al.* 2020). Le PCV3 est donc associé à une variété de symptômes comparables à ceux du PCV2, un pathogène majeur du porc. Un premier cas d'infection au PCV3 a été identifié en France en 2019 lors d'une suspicion de circovirose atypique dans un élevage avec un contexte évocateur de la MAP montrant une faible croissance chez les porcs en post-sevrage et un dépérissement en début d'engraissement chez 5 à 10% des animaux suivant les bandes.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Description de l'élevage

L'élevage est de type naisseur-engraisseur avec 130 truies. Il est conduit en 5 bandes avec un intervalle de 4 semaines entre chaque bande et un sevrage des porcelets à 3 semaines de vie. Les reproducteurs sont vaccinés contre les virus influenza A (H3N2, H1N1, H1N2), le parvovirus, le virus du SDRP de génotype 1, *Erysipolathrix rhusiopathiae*, et *Actinobacillus pleuropneumoniae* (autovaccin, Biovar 1 serovars 2 et 7). En plus, les cochettes en quarantaine sont vaccinées contre le PCV2 et *M. hyopneumoniae*. Avant l'apparition des signes cliniques de circovirose atypique, les porcelets étaient vaccinés contre *M. hyopneumoniae* au sevrage et contre *Lawsonia intracellularis* à 7 semaines de vie. En 2019, les performances de croissance sont suboptimales et des signes de dépérissement sont observés sur certains porcs après sevrage. En engraissement, des porcs « blancs » sont notés et certains animaux souffrent de diarrhée.

### 1.2. Porc et prélèvements

#### Contexte de la suspicion de circovirose

Dans un premier temps, 3 porcs de 12 semaines de vie présentant des signes de dépérissement, de pâleur et de

diarrhée (pour le porc n°2) sont euthanasiés. Des prélèvements d'amygdale, d'iléon, de nœuds lymphatiques trachéo-bronchique, méésentérique, inguinal et rétropharyngien sont prélevés pour la recherche de lésions histologiques. Pour les 3 porcs, l'analyse histologique révèle une déplétion lymphoïde au niveau des nœuds lymphatiques, des amygdales et des plaques de Peyer avec de rares cellules syncytiales. Ces lésions étant imputables au PCV2, les recherches de ce virus par un examen immunohistochimique (IHC) avec un anticorps anti-CAP PCV2 s'avèrent positives sur les nœuds lymphatiques testés de chaque porc, alors que les recherches du génome viral du PCV2 par qPCR à Labocea-Ploufragan puis au laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort s'avèrent négatives.

#### **Choix des porcs et des prélèvements**

Pour investiguer la raison de ce résultat non concordant entre la qPCR et l'IHC, 3 autres porcs présentant des signes cliniques compatibles avec une circovirose (pâleur, dépérissement) font l'objet de nouvelles investigations afin de vérifier la présence de lésions histologiques compatibles avec une circovirose, la présence du PCV2 (IHC et qPCR) et du PCV3 (qPCR) sur les amygdales, nœuds lymphatiques trachéo-bronchique, méésentérique, inguinal, rétropharyngien et iléon.

Aussi, des sérums de 60 porcs d'âges variés en ciblant des bandes ayant été malades (7; 11; 15 et 19 semaines, 15 porcs/gamme d'âge), de 30 porcelets en maternité et de 10 cochettes en quarantaine (à leur arrivée) ont été prélevés afin de réaliser un suivi de l'infection dans l'élevage par qPCR PCV3. Les animaux ayant de la clinique compatible avec une circovirose ont été privilégiés pour les prélèvements, sinon les porcs ont été sélectionnés sans critère spécifique.

#### **1.3. Immunohistochimie (IHC) et Hybridation in situ (HIS)**

Des anticorps polyclonal PCV2 (lapin) et anticorps secondaire anti-lapin et -souris ont été utilisées et le système Envision g|2 doublestain system, rabbit/mouse<sup>®</sup> (DAKO) – Labocea Ploufragan a permis la révélation.

Les HIS PCV3 ont été réalisés grâce au système RNAscope<sup>®</sup> 2.5 HD Reagent Kit-RED (Advanced Cell Diagnostics, Newark, CA, USA), avec la sonde PCV3 (catalogue No. 491021).

#### **1.4. Détection génomique du PCV3 et séquençage SANGER**

Les prélèvements des 3 porcs ont été broyés et l'ADN extrait à l'aide de colonnes QiaAmp DNA mini kit, puis le génome ADN a servi de matrice pour une amplification de la région de la réplicase (500 nucléotides) et un séquençage SANFER (Franzo *et al.*, 2018). Un outil de diagnostic de type PCR quantitative ciblant une partie du gène de la REP avec des amorces modifiées d'après (Franzo *et al.*, 2018), CGGCGGGAAATCTGACTGAA et TACCCAACCCCATCACCCC (sens et antisens), plus sensible que la PCR qualitative, a été mis en place à l'ANSES de Ploufragan-Plouzané-Niort (pente : 3.38, R2 : 0.994 et efficacité : 97.58%, seuil de détection à 10 copies).

## **2. RESULTATS**

Pour les 3 porcs, l'analyse histologique révèle une déplétion lymphoïde au niveau des nœuds lymphatiques, des amygdales et des plaques de Peyer avec de rares cellules syncytiales. Ces lésions étant imputables au PCV2, les recherches de ce virus par un examen immunohistochimique (IHC) avec un anticorps anti-CAP PCV2 s'avèrent positives sur les ganglions testés de chaque porc. Cependant, les recherches du génome viral du PCV2 par qPCR à Labocea-Ploufragan puis dans le laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort s'avèrent négatives sur tous les organes testés (en dessous du seuil de détection).

Les tests PCR qualitative PCV3 se sont avérés positifs dans tous les prélèvements testés chez 2 des 3 porcs. Un séquençage SANGER de la région de la REP a ensuite été réalisé afin de confirmer la présence du génome viral du PCV3 chez les deux porcs positifs. Tous les différents prélèvements ont été testés avec la technique de PCR quantitative et montrent une infection au PCV3 (de 2,20E+05 à 6,62E+08 nombre de copies de génome viral/g d'organe). Les nœuds lymphatiques inguinaux et rétropharyngiens s'avèrent être les prélèvements avec une charge virale la plus importante. Afin d'approfondir la caractérisation de l'infection au PCV3 des tests d'hybridation in situ (HIS) anti-CAP PCV3 ont été réalisés par le Dr. Joaquim Ségalès sur les prélèvements des 2 porcs positifs au PCV3 par PCR. Les HIS se sont révélées positives sur de nombreux organes dans 3 des 6 prélèvements de chacun des deux porcs.

Les échantillons de sérum prélevés sur 100 animaux ont montré la présence de génome viral chez 7/60 porcs en croissance (de 7,50E+03 à 4,93E+04 copies de génome/mL). La présence du génome viral n'a pas été détectée sur les 10 cochettes et les 30 porcelets en maternité.

## **CONCLUSION**

Ces résultats montrent pour la première fois la détection du PCV3 dans un élevage de porcs Français avec une clinique évocatrice de la MAP. Seulement 2 des 3 porcs sont positifs vis-à-vis du PCV3 malgré les signes cliniques observés. Des animaux sans signe clinique sont également infectés, avec des charges virales faibles dans le sérum. Une surveillance événementielle du PCV3 à la faveur de suspicions de circovirose, en complément des recherches PCV2 a été initiée. Un test ELISA est en cours de développement afin de pouvoir effectuer des analyses rétrospectives d'infection vis-à-vis du PCV3 dans nos sérothèques; le PCV3 a été détecté aux USA dans des échantillons datant de 1990 (Franzo *et al.*, 2018).

## **REMERCIEMENT**

Nous remercions Joaquim Ségalès Coma et Viviane Saporiti pour la réalisation des HIS anti-CAP PCV3.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Tischer I., R. Rasch, Tochtermann G., 1974. Characterization of papovavirus-and picornavirus-like particles in permanent pig kidney cell line, Zentralbl. Bakteriol. Orig. A 226, 153-167
- Allan G.M., Ellis J.A., 2000. Porcine circoviruses: a review. J.Vet.Diagn.Invest, 12, 3–14
- Zhang H.H., Hu W.Q., Li J.Y., Liu T.N., Zhou J.Y., Opriessnig T., Xiao C.T., 2020. Novel circovirus species identified in farmed pigs designated as Porcine circovirus 4, Hunan province China. Transbound Emerg Dis. 67,1057-1061
- Palinski R., Pineyro P., Shang P., Yuan F., Guo R., Fang Y., Byers E., Hause B.M., 2017. A Novel Porcine Circovirus Distantly Related to Known Circoviruses Is Associated with Porcine Dermatitis and Nephropathy Syndrome and Reproductive Failure J. Virol. 91,e01879
- Phan T.G., Giannitti F., Rossow S., Marthaler D., Knutson T.P., Li L., Deng X., Resende T., Vannucci F., Delwart E., 2016. Detection of a novel circovirus PCV3 in pigs with cardiac and multi-systemic inflammation Virol. J., 13, 184
- Opriessnig T., Karuppanan A.K., Castro A.M.M.G., Xiao C.T., 2020. Porcine circoviruses: current status, knowledge gaps and challenges, Virus Res., 286, 198044,
- Franzo G., Legnardi M., Centelleghè C., Tucciarone C.M., Cecchinato M., Cortey M., Segalés J., Drigo M., 2018. Development and validation of direct PCR and quantitative PCR assays for the rapid, sensitive, and economical detection of porcine circovirus 3. J Vet Diagn Invest., 30, 538-544





[www.journees-recherche-porcine.com](http://www.journees-recherche-porcine.com)

Édité par l'IFIP - Institut du porc  
5 rue Lespagnol, 75020 Paris  
[www.ifip.asso.fr](http://www.ifip.asso.fr)