



Du pilotage à l'évaluation d'un système de production de fruits innovant

Pierre-Joël Sallee

► To cite this version:

Pierre-Joël Sallee. Du pilotage à l'évaluation d'un système de production de fruits innovant : Cas d'étude du dispositif expérimental agroécologique ALTO de l'INRA Gothenon (Drôme). Biodiversité et Ecologie. 2019. hal-02790402

HAL Id: hal-02790402

<https://hal.inrae.fr/hal-02790402>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ISARA

23 rue J. Baldassini

69364 LYON CEDEX 07



INRA de Gothenon

460 Chemin de Gothenon

26320 SAINT-MARCEL-LES-VALENCE

Du pilotage à l'évaluation d'un système de production de fruits innovant

**Cas d'étude du dispositif expérimental agroécologique ALTO de
l'INRA Gothenon (Drôme)**

Mémoire de Fin D'Études

Sallée Pierre-Joël
Élève Ingénieur ISARA-Lyon

Promotion 47 (2014-2019)

Date de la soutenance : 26/08/2019

Tuteur Pédagogique :
Anthony Roume

Directeur de mémoire :
Sylvaine Simon, Ingénieure de Recherche

Ce document ayant été réalisé par des Elèves-Ingénieurs de l'ISARA dans le cadre d'une convention avec INRA PACA Gotheron, toute mention, communication ou diffusion devra faire état de l'origine ISARA.

Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord à Vincent Mercier, Directeur de l'Unité Expérimentale de Recherche Intégrée de Gothéron pour m'avoir accueilli.

Je tiens également à remercier très sincèrement Sylvaine Simon, ma Maître d'apprentissage, pour son accompagnement plein d'énergie et de pédagogie tout au long de ma formation et spécialement pour mener à bien cette rédaction !

Je remercie Anthony Roume pour ses conseils lors de la rédaction.

Je remercie aussi Solène et Blandine pour leurs conseils et leur aide ainsi que l'ensemble de l'équipe SaVAGE qui a été sollicitée à plusieurs reprises dans le cadre de ce travail.

Enfin, je remercie l'ensemble du personnel de l'Unité de Gothéron pour leur accueil et leur enthousiasme.

Table des matières

1. Introduction.....	1
2. Matériel et Méthodes	9
2.1. Dispositif étudié.....	9
2.2. Le collectif et le fonctionnement interne.....	11
2.3. Formalisation du pilotage et du processus de décision.....	12
2.3.1. Synthèse des réunions d'équipe.....	12
2.3.2. Analyse des enregistrements des opérations culturales de la saison 2018	12
2.3.3. Réunions des groupes de travail et écriture de principes d'action	13
2.3.4. Synthèse et élaboration du cadre général de pilotage.....	13
2.3.5. Identification du processus général de pilotage.....	13
2.4. Structuration des données et Traçabilité.....	14
2.5. Présence et abondance du puceron vert <i>Aphis</i> spp. et des auxiliaires dans le Module 1 au cours de la saison culturale 2018 – Effet spatiaux et variétaux au sein du dispositif	16
3. Résultats.....	16
3.1. Formalisation du pilotage et du processus de décision.....	16
3.1.1. Les lignes directrices	17
3.1.2. Les principes d'actions.....	20
3.1.3. Les propositions d'actions	21
3.1.4. L'outil Interactions	21
3.1.5. Le fonctionnement du pilotage.....	22
3.2. Structuration des Données et Traçabilité	28
3.2.1. Analyse des besoins des utilisateurs liés aux spécificités du système....	28
3.2.2. Identification de l'échelle de la donnée	29
3.2.3. Identification du type de données à enregistrer	30
3.2.4. Rédaction du cahier des charges	32
3.2.5. Le modèle conceptuel de données (MCD)	32
3.2.6. Rédaction d'une notice explicative.....	39
3.2.7. Développement de la BDD	39
3.3. Présence et abondance du puceron vert et des auxiliaires sur pommier dans le Module 1 au cours de la saison culturale 2018 – Effet spatiaux et variétaux au sein du dispositif	40
3.3.1. Effets spatiaux sur l'abondance du puceron vert et des auxiliaires	40
3.3.2. Effets variétaux sur l'abondance du puceron vert et des auxiliaires	45

4. Qualité de vie au travail (QVT)	47
5. Conclusion	48
6. Bibliographie :	51

1. Introduction

A la suite de la seconde guerre mondiale, l'agriculture traditionnelle a évolué vers le modèle actuel productiviste. Cette mutation de l'agriculture s'est faite dans un cadre de mondialisation, d'industrialisation et de spécialisation entraînant une importante utilisation d'intrants de synthèse dans une optique de contrôler au mieux les facteurs de production (Tilman et al., 2001 ; Lauri et al., 2016). Il en a résulté une augmentation des rendements (Hole et al., 2005). L'arboriculture fruitière actuelle relève également de ce modèle, les vergers font partie des productions les plus dépendantes aux pesticides - 1% de la SAU française pour 21% des ventes de pesticides, (Codron et al., 2003) - et ceci pour trois raisons principales. La première s'explique par le fait que les producteurs ne peuvent pas prendre de risque ; en effet, les coûts de production par hectare sont élevés (main d'œuvre, amortissement des infrastructures) et demandent d'assurer au maximum la production. Ceci est renforcé par le fait que de faibles niveaux de population de ravageurs (existant parfois même en présence de protection) peuvent entraîner des dégâts importants, qui, pour une commercialisation en fruit frais se traduit par des pertes économiques considérables. La seconde correspond aux standards de commercialisation qui exigent des fruits zéro défaut incitant à l'utilisation importante de pesticides pour contrôler ravageurs et maladies (Simon et al., 2009 ; Ricci et al., 2011). La troisième est liée à la pérennité de l'arbre qui permet à certains bio-agresseurs de réaliser leur cycle biologique dans le verger. De ce fait la protection prend une dimension pluriannuelle entraînant, dans la majorité des cas, le recours à une protection chimique (Simon et al., 2015).

Si les surfaces cultivées en verger restent faibles, l'impact économique de la filière est important. D'un point de vue économique, le chiffre d'affaires de la production de fruits en 2013 s'élève à 3,16 milliards d'euros et le secteur fruits et légumes représente 11% en valeur de l'agriculture française. La production de pommes constitue la première production fruitière en France avec 1.74 millions de tonnes récoltées et 40 200 ha cultivés en 2013. La France est le troisième producteur européen et le cinquième exportateur mondial de pommes avec 525 400 tonnes de pommes de table exportées à 70% dans l'Union Européenne (Agreste, 2015 ; FranceAgriMer, 2012).

Un rapport cité par J.M. Aubertot en 2005 intitulé « Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires » justifie l'application du principe de précaution lié à l'utilisation des pesticides. Depuis, de nombreuses études ont démontré les effets négatifs de l'utilisation de pesticides tant au niveau de la santé humaine que de l'environnement et du fonctionnement des écosystèmes. Une étude menée sur le bassin Rhône-Méditerranée a montré que 100% des points de suivi au niveau des eaux de surface ont présenté une contamination par les pesticides au moins une fois sur la période considérée et environ 75% des points ont présenté

une dégradation significative par rapport à l'état naturel, c'est-à-dire sans contamination (Agence de l'eau, 2007). Ces études sont relayées par les médias ce qui incite le consommateur à consommer des aliments sans pesticides et dont la production impacte peu l'environnement et, parallèlement à demander une législation plus restrictive sur l'utilisation des pesticides. Une véritable demande sociétale s'est ainsi formée autour de cette problématique (INRA, 2019). De plus, la perte de biodiversité liée à l'agriculture intensive s'accompagne d'une perte de la faune auxiliaire renforçant la vulnérabilité de ces systèmes (Médiène et al., 2011).

Dans le but de diminuer l'usage des pesticides, différents leviers peuvent être mobilisés. Ils concernent par exemple les aménagements favorisant la biodiversité (abris, nichoirs) pour renforcer la prédation des ravageurs (Ricard et al., 2012). Les choix de plantation relèvent également de ces leviers avec l'utilisation de variétés résistantes ou peu sensibles. Enfin les pratiques culturales comprenant les méthodes de biocontrôle, le désherbage mécanique, l'utilisation de modèles évaluant le risque constituent d'autres leviers (Simon et al., 2011 ; Laget et al., 2015). En revanche, la combinaison de l'ensemble de ces leviers au sein d'un verger classique ne permet pas de s'affranchir des pesticides (Simon et al., 2011). Au-delà de l'efficacité et de la substitution des pesticides par des méthodes alternatives, la reconception du verger (Hill & MacRae, 1995) est nécessaire.

Le verger est un agroécosystème favorable à la diminution de l'utilisation des pesticides dans la mesure où il constitue un habitat pérenne, multi-strate et complexe potentiellement favorable au maintien des chaînes trophiques et donc des régulations naturelles des ravageurs. Ceci est notamment permis par la présence de proies nécessaires au développement et au maintien des auxiliaires. En effet, il y a davantage de résilience au sein des vergers qu'au sein des cultures annuelles du fait de la présence permanente des plantes hôtes (Simon et al., 2009 ; Simon et al., 2015).

L'agroécologie vise à intégrer un ensemble d'éléments favorables au renforcement des services écosystémiques afin notamment d'augmenter la durabilité environnementale des systèmes.

« L'agroécologie est la science qui traite des agroécosystèmes. L'intensification écologique est le processus par lequel on intensifie l'usage de fonctionnalités écologiques des agroécosystèmes afin d'obtenir une production plus abondante, n'atteignant pas l'environnement et respectant les lois de la viabilité écologique. On parle alors d'agriculture écologiquement intensive » (Griffon et al., 2017).

La diversification spatio-temporelle au sein d'une parcelle cultivée (association de cultures) et à une échelle plus large, supra-parcellaire (haies) ou même à l'échelle du paysage est

étroitement liée à l'agroécologie. Elle passe par un assemblage d'espèces au sein du système afin de favoriser la biodiversité, les interactions biotiques et les services écosystémiques qui en résultent. L'agroécologie présente plusieurs avantages : plus grande production primaire, meilleure rétention des nutriments, résilience, moins de vulnérabilité vis-à-vis des ravageurs et maladies (Malezieux et al., 2009). Les bénéfices de ces services écosystémiques sont détaillés dans les points suivants :

- **Stabilité**

La stabilité du système peut être attribuée à deux sources de biodiversité : la biodiversité intentionnelle 'Planned biodiversity', que l'on a cherché à mettre en place (haie par exemple) et la biodiversité associée 'associated diversity' qui est présente grâce à la biodiversité intentionnelle (faune auxiliaire présente dans la haie, par exemple). Elles participent à la stabilité du système au travers de différents services écosystémiques (pollinisation, décomposition de la matière organique) en offrant des habitats pour un ensemble d'organismes (arthropodes, mammifères, micro-organismes...). Selon Hobbs et Morton (1999), les interactions bénéfiques présentes dans la nature et liées à la biodiversité renforcent la stabilité et la durabilité des systèmes et remplacent les énergies externes au système. Ainsi même si la productivité n'est pas augmentée, la stabilité et la capacité d'adaptation, i.e. la résilience, sont améliorées (Malezieux et al., 2009 ; Duru et al., 2015).

- **Rendement et qualité**

La majorité des associations ont un rendement au même niveau que le rendement des composants cultivés en monoculture et une minorité des associations ont un rendement supérieur aux rendements des composants en monoculture. Des exemples ont montré que les systèmes en association permettent un gain de qualité. Les systèmes caféiers agroforestiers d'Amérique Centrale permettent ainsi un remplissage équilibré et une maturation uniforme des baies de café. Les associations céréales-légumineuses contribuent à un taux d'azote plus important dans les grains de céréales (Malezieux et al., 2009 ; Duru et al., 2015).

- **Contrôles des ravageurs et maladies**

Des leviers tels que la dilution de la ressource, les effets piège et répulsif peuvent être mobilisés dans le contrôle des ravageurs et maladies au travers des associations. La dilution de la ressource est directement liée aux associations : à la différence d'une monoculture, les ravageurs localiseront plus difficilement leur plante hôte. L'implantation de plantes pièges permet de détourner les ravageurs vers une autre plante et ainsi préserver le reste du verger. L'implantation de plantes répulsives permet l'émission de Composés Organiques Volatils (COV) défavorables à certains bio-agresseurs (Dapena et al., 2001 ; Miñarro et al., 2013).

Enfin, la fourniture de ressources (florales, proies) et d'habitat favorise l'abondance et l'activité des auxiliaires (Almohamad et al., 2007 ; Gómez-Marco et al., 2016).

- Profits économiques

Les associations ont également des bénéfices économiques de différentes natures. D'un point de vue temporel, durant les premières années non productives d'une plantation pérenne, les espaces libres peuvent être utilisés pour d'autres cultures. A l'échelle d'une année, un mélange d'espèces permettra de lisser la charge de travail. Le revenu sera composé de différentes sources ce qui participe à une meilleure stabilité de l'exploitation agricole. Enfin, les services écosystémiques étant favorisés, il en résulte de manière indirecte un bénéfice économique (Malezieux et al., 2009).

Malgré l'intérêt de renforcer ces services écosystémiques, différents auteurs s'accordent sur le fait que la diversification, la mise en place et la conduite d'associations de cultures et de plantes sont complexes. Elles sont plus difficiles à concevoir ainsi qu'à conduire parce qu'il manque encore de connaissances ainsi que de références, en raison notamment, des nombreuses interactions intervenant au sein de l'agroécosystème diversifié (entre plantes et entre plantes et autres organismes). De plus, des interactions ont également lieu entre le fonctionnement de l'agroécosystème et les pratiques (Médiène et al., 2011). Ainsi le système agroécologique doit être « piloté avec prudence afin de ne pas sortir de son cadre de viabilité » (Griffon et al., 2017). Intégrer les processus écologiques dans le pilotage demande des modalités de gestion beaucoup plus flexibles (Cardona et al., 2018).

Enfin, face à ces interactions entre services écosystémiques et pratiques, le pilotage du système demande nécessairement de prioriser les objectifs à atteindre et/ou d'envisager des compromis entre les services écosystémiques à favoriser car les conditions ne peuvent pas être optimum pour toutes les plantes dans un système diversifié (Damour et al., 2018).

En plus de ces interactions, les pratiques agroécologiques visant à mobiliser certains services écosystémiques ont des effets souvent partiels (exemple : effet barrière d'une haie sur les pucerons) par rapport à l'application d'un pesticide. Les effets sont parfois différés dans le temps (temps de croissance pour une haie, durée d'atteinte de l'équilibre). Les effets sont également situés, c'est-à-dire que le contexte pédoclimatique influence les conséquences d'une pratique et amènera des résultats différents en fonction des localisations (Navarrete et al., 2017).

Agroécologie et expérimentation :

Si l'agroécologie propose une nouvelle approche pour produire, elle questionne par ailleurs les méthodes d'expérimentation pour produire des connaissances mobilisables en production

(Cardona et al., 2018). Au-delà de l'expérimentation factorielle qui considère un ou quelques facteurs et leurs effets sur une partie du système de culture « toutes choses étant égales par ailleurs », l'agroécologie impose de considérer le système dans sa globalité. Pour cela, l'expérimentation système est nécessaire, elle vise à « tester la combinaison des techniques mises en œuvre, en considérant les interactions entre ces techniques à une échelle annuelle et pluriannuelle et leurs effets sur les différentes composantes de l'agroécosystème » (Cardona et al., 2018) et à comprendre l'intérêt de tel ou tel système, résultat d'une combinaison de facteurs, en lien avec des objectifs agronomiques, économiques et environnementaux (ex. : produire une diversité de légumes sans pesticides, destinés à la vente directe et devant être cueillis à maturité) (Deytieux et al., 2012). Enfin, si l'agroécologie questionne les méthodes de pilotage classiques des cultures, elle remet également en question les indicateurs utilisés pour l'évaluation. L'évaluation dans un contexte d'agroécologie consiste généralement en un diagnostic global du système plutôt qu'à la production de références visant à améliorer l'approche prescriptive où l'on propose des seuils d'interventions. De plus, l'évaluation de systèmes en agroécologie revêt une dimension exploratoire liée à une diversité de situations (Cardona et al., 2018). Des approches systémiques en expérimentation se développent visant à prendre en compte un ensemble de paramètres influençant la conduite du système. Cette approche est complexe notamment pour la conception de systèmes à expérimenter, leur pilotage et pour la valorisation des résultats obtenus. Elle nécessite d'intégrer des partenaires de recherche mais également du conseil et de la formation afin de bénéficier de diverses expertises (Deytieux et al., 2012). Finalement, développer une expérimentation en agroécologie constitue un défi puisqu'elle nécessite un changement de paradigme pour sortir de la logique actuelle et repenser la manière de produire, c'est-à-dire qu'elle demande de changer totalement la façon de concevoir, de piloter et d'évaluer de tels systèmes dans un but d'innover et de reconcevoir des systèmes plus durables (Altieri, 1995 ; Wezel et al., 2009 ; Doré et al., 2011).

Ce paragraphe présente le cadre dans lequel le travail a été réalisé. Ce cadre est constitué du dispositif et de la démarche dans laquelle il s'inscrit. Ce travail s'inscrit dans le cadre du Projet Z mené par l'équipe SaVAGE (Système Verger AGroEcologique) de l'INRA de Gotheron localisé à Saint-Marcel-lès-Valence (F-26320) (INRA, 2019). Ce projet consiste à reconcevoir l'espace de production de fruits pour **produire des fruits sans pesticides** et avec un très bas niveau d'intrants en **maximisant les services écosystémiques**, dans le but d'**évaluer** les performances environnementales, économiques et sociales des systèmes mis en place dans le cadre d'une approche système. Cette reconception se traduit par une diversification et une modification de l'agencement spatial et temporel des espèces cultivées et associées au sein de la parcelle. Cette démarche de **reconception** a émergé face à la très forte dépendance

des vergers actuels aux pesticides pour explorer des pistes améliorant la durabilité environnementale du verger. Pour produire sans pesticides, cette reconception a visé à maximiser le service écosystémique de régulation des bio-agresseurs via la diversification végétale. Cette démarche s'est développée dans un cadre de **co-conception** sur la période 2015-2017, en mobilisant différents acteurs (agriculteurs, chercheurs, techniciens, conseillers, enseignants) afin de prendre en compte une diversité de questionnements et de bénéficier de connaissances et de retours d'expériences variés sur des systèmes innovants et les processus à mobiliser (Penvern et al, 2018). A l'issue de cette phase de réflexion, un premier dispositif - Module 1 - a été implanté en février 2018 sur le site de Gotheron, l'objectif étant de créer un espace très diversifié, défavorable à l'arrivée et au développement des bio-agresseurs et maximisant les régulations naturelles. Il s'agit d'une expérimentation système implantée pour une durée de 15 ans. Ce dispositif participe par ailleurs au projet de recherche multi-sites Dephy EXPE Ecophyto ALTO (Systèmes en Arboriculture et Transition agroÉcologique). Ce dispositif comprend un ensemble d'espèce fruitières et non fruitières sélectionnées pour une ou plusieurs fonctions précises (production, refuge à auxiliaires, plante piège, brise-vent...) et aménagées de manière à limiter l'arrivée et le développement des ravageurs.

Dans ce contexte, le travail réalisé dans le cadre du stage de fin d'études a porté sur (i) la formalisation du pilotage de ce système très diversifié et (ii) la structuration des données acquises pour son évaluation, son pilotage et leur traçabilité. L'évaluation de l'impact des pucerons, principal ravageur en verger jeune, constitue enfin (iii) une première évaluation de la dimension « pest-suppressive » du système, c'est-à-dire de sa capacité à limiter les bio-agressions.

(i) Si l'objectif final est d'évaluer ce système très diversifié il est nécessaire dans un premier temps de formaliser son pilotage c'est-à-dire de rendre compte de comment sont prises les décisions pour piloter. Un agroécosystème diversifié étant complexe par nature, son pilotage l'est d'autant plus puisqu'il s'agit de perturber le moins possible son fonctionnement par les actions mises en œuvre (Griffon et al., 2017). Contrairement aux expérimentations système historiques mobilisant des leviers d'action alternatifs et des outils d'aide à la décision, le pilotage de ce type de système ne peut pas se faire selon des règles de décisions qui, pour une situation donnée préconisent une action précise dans une logique « SI ... ALORS ... ». Une des bases pour piloter un agroécosystème est donc d'identifier les **interactions** potentielles entre son fonctionnement et les opérations culturales. La difficulté est alors de prévoir ces interactions à une échelle temporelle plus ou moins large (saison, pluriannuelle) et également à une échelle spatiale en fonction des différents habitats présents et pour une diversité d'opérations culturales. Ces interactions, une fois identifiées doivent donc être considérées pour établir des priorités et identifier des compromis. A cela s'ajoute la nécessité

d'identifier les interactions potentielles entre les opérations culturales. Ce travail permettra de formaliser un **cadre de pilotage** et de proposer des **principes d'action**, à savoir une ligne directrice pour guider l'action ou la non-action afin de répondre à l'objectif général fixé.

- ➔ *Quelles pratiques mettre en œuvre pour produire des fruits sans pesticides dans un système diversifié et innovant visant à maximiser les régulations naturelles des ravageurs ?*
- ➔ *Comment intégrer l'ensemble des interactions entre le fonctionnement de l'écosystème et les opérations culturales ainsi qu'entre plusieurs opérations culturales dans la prise de décision ?*

(ii) L'organisation des données issues du système et la mise en place de la traçabilité ont plusieurs objectifs, le premier est d'ordre **expérimental**, en vue d'une évaluation multicritère. Le second est lié au **pilotage du système** dans une logique d'auto-apprentissage c'est-à-dire que le pilotage se fera pas à pas en tirant parti des expériences des années antérieures. Le troisième correspond à la dimension exploratoire du projet qui vise à élaborer une **démarche générique** pour la conception, le pilotage et l'évaluation de ce type de système. Et enfin le quatrième correspond à la **dissémination** des connaissances produites et de la démarche.

Concernant la première finalité, la reconception-diversification de l'espace de production de fruits constitue un véritable défi pour deux raisons principales. La première est liée à la diversité des données à enregistrer puisqu'elles peuvent être d'ordre agronomique, environnemental, économique ou social. La deuxième raison correspond à l'échelle de la donnée. Il est nécessaire d'associer à chaque type de donnée l'échelle la plus appropriée. La variable mesurée concernera dans certains cas l'ensemble du dispositif et dans d'autres cas une entité plus restreinte comme une espèce ou une variété présente dans le module. Il s'agit donc de définir l'échelle en fonction de ce que l'on veut mesurer ou évaluer. La finalité de ce premier objectif est l'évaluation multicritère, et cela pour différentes échelles (espèce, variété...) : il doit donc être possible de calculer des indicateurs comme le rendement, le temps de travail pour l'ensemble de ces échelles et pour différents pas de temps (saison culturale, période de vie du verger).

Le deuxième objectif de ce travail, est de constituer des références dans un contexte où il en existe très peu afin de partager la connaissance mais aussi afin de piloter, chemin faisant, le dispositif. Le pilotage du système étant complexe, il est nécessaire d'explicitier la prise de décision et les actions réalisées afin de les intégrer dans le décisionnel de l'année (n+1) et/ou de pouvoir les remobiliser.

Concernant le troisième objectif, l'enjeu est de tracer la prise de décision et la réflexion qui l'accompagne afin d'être en mesure de proposer une démarche générique pour la conception, le pilotage et l'évaluation de tels systèmes.

- ➔ *Quelles données acquérir pour piloter et réaliser une évaluation multicritère et pluriannuelle de ces systèmes ?*
- ➔ *Comment structurer ces données pour les réutiliser ?*
- ➔ *Comment enregistrer des données de différents formats ?*

(iii) Enfin, l'évaluation de l'efficacité du dispositif mis en place pour limiter l'installation et le développement des ravageurs est importante pour valider les choix de plantation (matériel végétal, diversité, organisation spatiale...). Lors de la conception du dispositif, différents leviers visant à limiter l'arrivée et le développement des ravageurs dans la parcelle ont été mobilisés. Tout d'abord, la forme ronde du dispositif permet d'avoir une interface avec l'extérieur plus faible qu'une forme carrée. Ceci est complété par l'effet barrière des haies périphériques. Ces deux éléments permettent de limiter l'entrée des pucerons dans la parcelle. Des variétés peu sensibles au puceron cendré ont été implantées ce qui permet de limiter l'impact et la propagation de ces pucerons dans la parcelle. L'effet « dilution de la ressource » a également été recherché en implantant les espèces fruitières en mélange. Et enfin, des haies ont été implantées visant à héberger un cortège d'auxiliaires afin de réguler les populations de puceron. Lors de la première année de plantation, seul le puceron vert *Aphis* spp., qui occasionne peu de dégâts, a été observé. Le puceron cendré *Dysaphis plantaginea*, important ravageur du pommier, effectue son vol de retour sur pommier à l'automne : en année (n-1), les arbres n'étaient pas encore plantés et il n'était donc pas possible d'analyser son infestation.

- ➔ *Observe-t-on des différences spatiales au sein du module 1 quant à l'abondance et quant à la présence de prédateurs des pucerons verts ?*
- ➔ *Quelle est l'évolution de la présence des pucerons verts dans le verger au cours de la saison culturale 2018 ?*
- ➔ *Observe-t-on des différences au niveau des colonies de pucerons en fonction des variétés de pommier présentes ?*

La figure 1 détaille le cadre dans lequel s'insère les différents volets du mémoire à partir de la boucle générale de l'expérimentation système (Debaeke et al., 2009). Le point de départ de cette boucle peut être la co-conception d'un système. Une fois le système en place, il s'agit de le piloter, le travail de fin d'étude a permis de formaliser le pilotage du module 1 ainsi que le processus de pilotage. Pour être en mesure d'évaluer le système il faut que le système soit piloté, c'est pour cela que l'évaluation constitue la troisième étape. Dans le cadre du travail de fin d'étude, seule l'évaluation de la bio-régulation du puceron vert a été réalisée. La dernière étape correspond à la dissémination des connaissances produites et de la méthode. Pour l'ensemble de ces étapes, la gestion des données est essentielle afin notamment d'interagir et de disséminer. Ce travail de structuration des données et de traçabilité a été développé dans ce travail de fin d'étude.

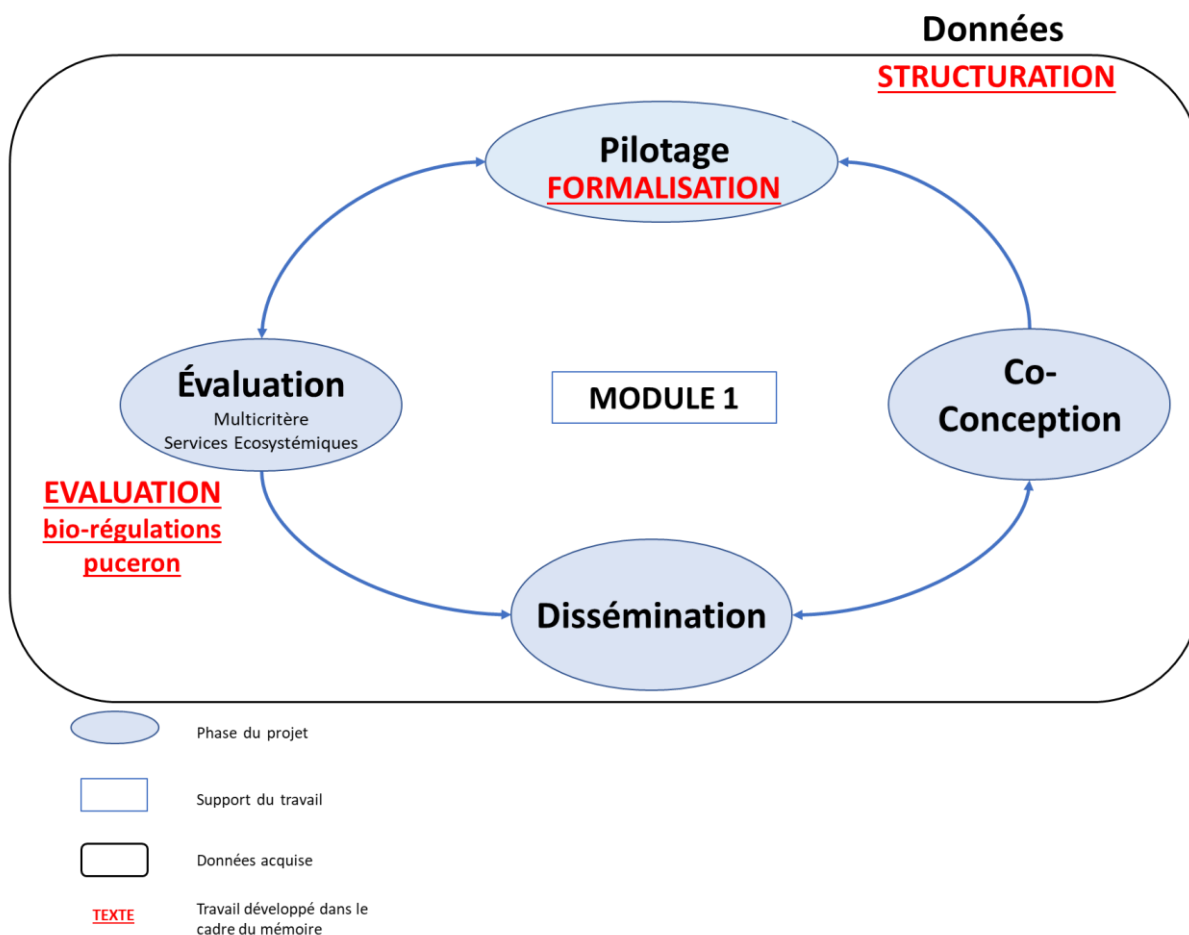


Figure 1 : Boucle générale de l'expérimentation système (d'après Debaeke et al., 2009) et volets développés dans le cadre du mémoire

2. Matériel et Méthodes

Dans cette partie sont détaillés le dispositif support et les méthodes développées dans le cadre du travail.

2.1. Dispositif étudié

Le module 1 décrit ci-dessous a été mis en place sur une zone dédiée à ce projet et dont la surface est d'environ 8ha. Sur cette zone, d'autres modules seront mis en place avec le même objectif général de produire des fruits sans pesticides mais avec des priorités différentes en ce qui concerne les services écosystémiques recherchés. Lors de la conception du module 1 le service de **régulation de l'environnement biotique** (CICES, 2012) a été recherché de manière prioritaire. La figure 2 présente le dispositif support du travail. Comme détaillé sur cette figure, un ensemble d'espèces fruitières est implanté au sein d'un même espace afin de diluer la ressource pour rendre les arbres moins accessibles aux ravageurs. En plus de cela,

les variétés utilisées sont tolérantes ou résistantes aux principaux bio-agresseurs. Toujours dans le but de rendre les arbres moins accessibles aux ravageurs, l'effet barrière a été mobilisé au travers de haies périphériques et également grâce à l'alternance de fruitiers à noyau et de fruitiers à pépins, les ravageurs des fruitiers à pépins étant sauf exception différents des ravageurs des fruitiers à noyau. Les haies ont d'autres fonctions que l'effet barrière, certaines ont été plantées avec un second objectif de brise-vent, d'autres ont été implantées dans le but d'augmenter la biodiversité en offrant de la ressource et un abri pour la faune tout au long de l'année. Dans le même but de favoriser la biodiversité, en particulier la biodiversité des auxiliaires, différents aménagements ont été mis en place, par exemple, une mare est présente au centre du module : elle permet à différentes espèces auxiliaires de prospecter (Chiroptères) ou de s'installer dans le module et ainsi d'avoir une importante action de prédation. De plus, la luzerne implantée dans le dispositif pour favoriser l'autonomie en azote des arbres a également la fonction d'abriter des auxiliaires grâce à une gestion adaptée : broyage tardif et alterné en deux temps pour conserver constamment de la ressource et un abri pour les auxiliaires. Même si la priorité a porté sur le service de régulation, l'aspect faisabilité du travail a également été pris en compte. Les arbres d'une même variété ont été implantés dans une continuité (6 spirales internes emboîtées) afin de limiter les allers-retours ou les trajets dans ce système très diversifié. Enfin, la surface du dispositif est de 1,6 ha ceci permet d'avoir un espace assez grand pour évaluer les leviers cités ci-dessus. Enfin, les trois tiers composant le module décrit par 'Sud' (TS), 'bois' (TB) et 'route' (TR), ont un environnement différencié, à proximité de TB se trouve un bois, à proximité de TR se trouve une route et à proximité de TS se trouve une parcelle cultivée (luzerne en 2019). Ces différences peuvent se traduire par des différences d'infestation ou de régulation au sein du système.

Pour les analyses qui seront réalisées il est important d'indiquer ici que la variété Akane est seulement présente sur le rang 8. Les autres variétés de pommiers (Garance, Honey-crisp, Juliet et Reine des reinettes) sont toutes présentes sur chacun des rangs 1 à 6 (cf Fig. 2). A noter que les autres variétés de pommiers ont eu une implantation différée en raison du manque de disponibilité des plants en 2017-2018.

Module 1 : un espace de production de fruits basé sur la biorégulation

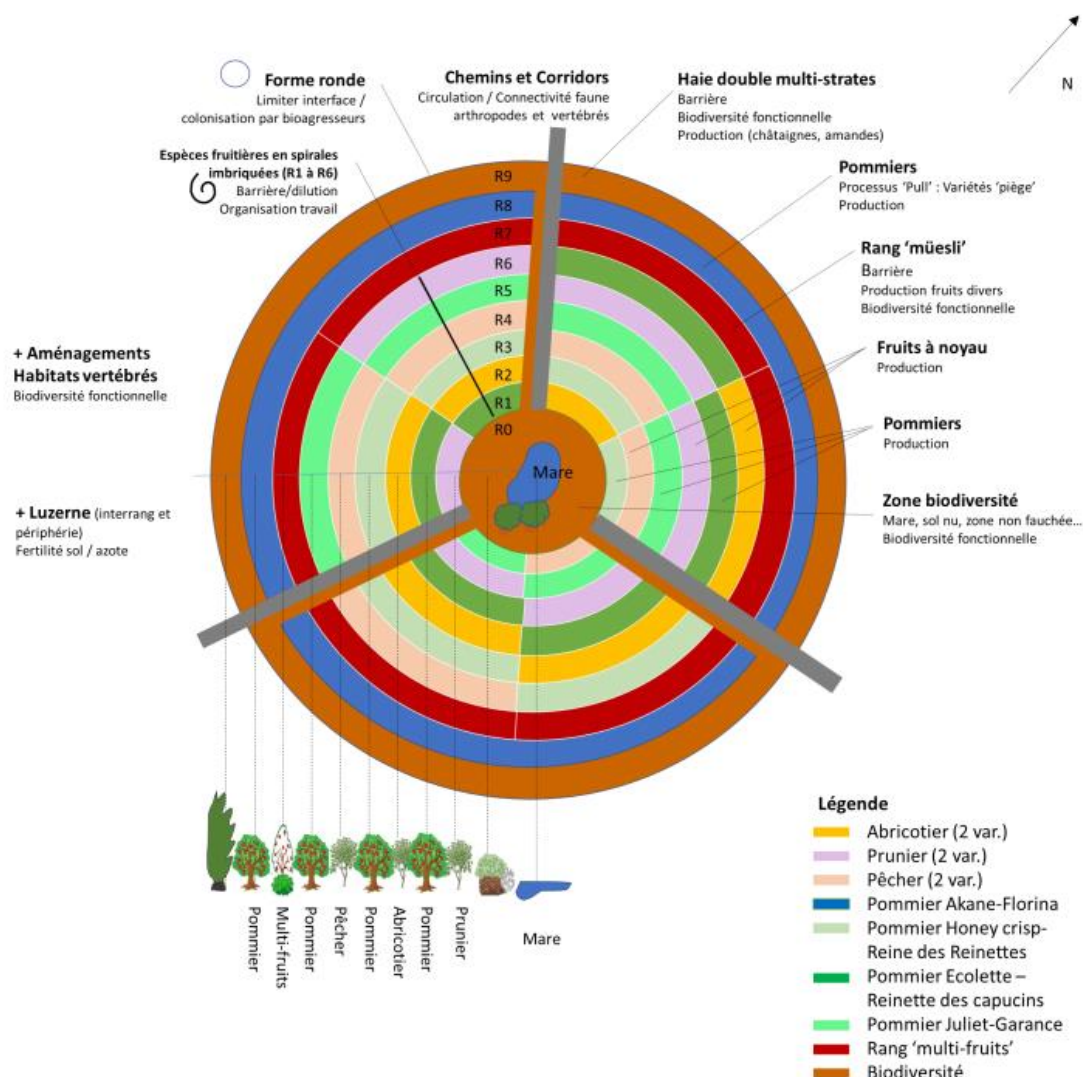


Figure 2 : Schéma du Module 1 implanté en 2018, INRA Gothenon

2.2. Le collectif et le fonctionnement interne

Ce travail, comme précisé plus haut se rattache au projet Z piloté par l'équipe SaVAGE. Cette équipe est constituée de 8 agents permanents et des agents non permanents (trois post-docs, un CDD et un apprenti en 2019). Le projet est porté par l'ensemble de l'équipe. Ingénieurs et techniciens participent donc aux prises de décisions et à l'évaluation du dispositif. Ceci relève d'un choix de mode de fonctionnement collégial mais est également lié à la reconception de l'espace de production de fruits qui demande de la réflexion, des connaissances techniques et scientifiques ainsi que des expertises diverses pour intégrer un ensemble d'aspects dans la décision. Par exemple, le broyage de l'herbe présente sur l'inter-rang se fait à la suite d'une discussion ayant intégrée des personnes compétentes sur ce type d'opération culturale mais également des personnes ayant une expertise sur la biodiversité (auxiliaires notamment)

potentiellement présente dans le couvert. De plus, les contraintes liées à l'expérimentation qui sont d'ordre organisationnel demandent d'intégrer l'ensemble du collectif dans les discussions. Afin de progresser dans des questionnements précis, des sous-groupes de travail par thématique (irrigation, fertilisation, conduite des arbres, gestion du rang et de l'inter-rang, gestion de la biodiversité, gestion des bio-agresseurs) ont été constitués au sein de l'équipe.

2.3. Formalisation du pilotage et du processus de décision

Le premier axe du travail a porté sur le pilotage du système. La démarche de reconception détaillée ci-dessus a abouti à une modification profonde du design, c'est-à-dire à l'agencement d'une diversité de plantes de production et associées et son évolution temporelle (liée à la compétition entre espèces ou à des opérations culturales) au sein du système. Il en résulte que le pilotage doit également être repensé afin de prendre en compte la complexité du système. Les règles de décisions utilisées en expérimentation système pour rendre compte de la prise de décision et piloter les systèmes expérimentés (Aubertot et al., 2005) sont mises en défaut dans ces systèmes complexes où beaucoup d'interactions et de composantes sont à considérer. Une démarche adaptée est à proposer, qui doit permettre de rendre compte de la démarche générale mobilisée et fournir des supports pour faciliter cette démarche et la partager. Différentes étapes ont permis l'analyse du processus de décision, des éléments considérés pour décider et enfin des types d'action réalisées :

2.3.1. Synthèse des réunions d'équipe

Dans le cadre de la conception et du pilotage du module 1 en 2018, des réunions d'équipe ont eu lieu environ une fois par mois et des temps de réunion plus courts ont eu lieu chaque semaine. L'ensemble des comptes-rendus de ces réunions a été synthétisé (Annexe 1) afin d'identifier les actions à réaliser, actées par le collectif ainsi que leur justification.

2.3.2. Analyse des enregistrements des opérations culturales de la saison 2018

Dans le cadre de la première saison culturale, un tableau (Annexe 2) a été constitué dans le but d'enregistrer les opérations culturales réalisées (date, opération réalisée, durée, matériel utilisé, intrant apporté...). Les données enregistrées ont été analysées afin d'identifier la décision qui a conduit à l'opération culturale. Ainsi les raisons qui amènent à telle ou telle décision ont pu être identifiées et, à partir de là, les raisons utilisées implicitement ont été explicitées.

2.3.3. Réunions des groupes de travail et écriture de principes d'action

Cinq temps d'échange ont eu lieu, avec pour objectif de faire intervenir l'ensemble de l'équipe en vue de formaliser le pilotage. Le fonctionnement de ces temps d'échange a été le suivant : (i) Une thématique d'entrée portant sur une catégorie d'opération culturale (irrigation, fertilisation, conduite des arbres, gestion du rang et de l'inter-rang et gestion des bio-agresseurs) était fixée et les personnes de l'équipe SaVAGE compétentes sur la question étaient sollicitées. (ii) En amont de la réunion, les bio-agresseurs principaux du pommier ont été identifiés et leur cycle biologique a été détaillé. Ceci a permis de constituer un tableau (Annexe 3) sous la forme d'un calendrier avec en colonnes les mois de l'année et en ligne, les types d'opérations culturales et les types de bio-agresseurs (tordeuses, pucerons...). De cette manière les périodes de l'année durant lesquelles les opérations culturales ont lieu ont été mise en évidence, en rapport avec les phases principales des cycles biologiques des principaux bio-agresseurs. Lors des réunions, ce support a permis d'identifier en quoi les opérations culturales réalisées pouvaient interférer avec les bio-agresseurs. De plus, les pratiques liées à la catégorie d'opérations culturales étaient discutées pour identifier des leviers d'action visant à limiter les bio-agresseurs. Certains de ces leviers d'actions sont issus du guide Ecophyto (Laget et al., 2015). Les comptes rendus de ces temps d'échange ont été rédigés en annexe 4.

2.3.4. Synthèse et élaboration du cadre général de pilotage

L'ensemble de ce travail a permis d'identifier les actions et leviers d'action réalisés couramment et ceux qui seraient envisageables. Les objectifs de ces actions ou leviers d'action ont pu être identifiés. Ce travail a donc permis d'identifier les différents niveaux constituant le pilotage allant de l'objectif général à l'action à réaliser. Le logiciel VUE (VUE, 2015) a été utilisé pour représenter les différents niveaux, les liens entre ces niveaux et pour faire apparaître les interactions existantes au sein de ces niveaux.

2.3.5. Identification du processus général de pilotage

Une fois le cadre général de pilotage identifié, un temps d'échange intégrant des personnes internes à l'équipe ainsi que des personnes partenaires du projet ALTO a eu lieu. Ce temps d'échange a permis d'identifier le processus général de pilotage, c'est-à-dire les étapes constituant l'échange et aboutissant à la décision.

2.4. Structuration des données et Traçabilité

Le deuxième axe de ce travail a concerné la structuration des données et la traçabilité de l'expérimentation. Cet axe comprend quatre objectifs évoqués plus haut : l'évaluation, le pilotage du système, la mise au point d'une démarche générique de conception et d'évaluation et la dissémination des connaissances produites et de la démarche. La structuration des données a demandé la conception d'une base de données (BDD). Une base de données se définit par un support informatique rassemblant une grande quantité d'information sur un sujet donné. Cette information est représentée par une ou plusieurs collections dont les éléments doivent respecter une structure précise (Encyclopedia Universalis France, 2019).

Les données produites doivent donc être organisées pour :

- produire des indicateurs et des références utilisables, chemin faisant, pour le pilotage pas à pas du dispositif
- permettre l'évaluation multicritère du dispositif
- permettre de remobiliser la décision prise à un instant t et les arguments avancés

Ce travail s'est décomposé en sept phases principales :

- Analyse des besoins des utilisateurs liés aux spécificités du système
- Identification de l'échelle de la donnée
- Identification du type de données
- Rédaction du cahier des charges
- Construction du modèle conceptuel de données (MCD)
- Retours à l'équipe et ajustements
- Rédaction d'une notice explicative du MCD

Deux étapes seront réalisées à la suite du MFE, en septembre 2019 :

- Développement de la BDD
- Rédaction d'une notice d'utilisation et explication du fonctionnement aux utilisateurs

La première phase s'est déroulée à partir d'un entretien avec une personne de l'équipe en charge du projet pour préciser le cadre de travail et les objectifs généraux, puis un temps de réflexion personnel a eu lieu afin de cerner les besoins en regard des spécificités du système. La seconde phase a été réalisée grâce à deux réunions d'équipe préparées dans le cadre de la première phase. Une première réunion d'équipe a eu lieu pour poursuivre la réflexion personnelle. Cette réflexion part du fait que puisque le système est diversifié, les indicateurs doivent être enregistrés à une échelle adaptée et il ne peut pas y avoir une échelle commune (ex : l'hectare) comme pour un agroécosystème classique. Cette réunion d'équipe a permis la

constitution d'un tableau croisé (Annexe 5) associant l'échelle la plus pertinente à chaque variable (temps de travail, quantité apportée, exportée) de chaque catégorie d'opération culturale (irrigation, fertilisation, conduite, gestion du rang et de l'inter-rang). Une deuxième réunion d'équipe a permis d'identifier et de détailler les différents types de données à structurer (Annexe 6), ceci correspond à la phase 3.

Ces deux premières étapes réalisées, le cahier des charges (phase 4) a été élaboré (Annexe 7).

A la suite de l'ensemble de ce travail, la phase de conception (phase 5) a permis d'élaborer le modèle conceptuel de données (MCD). La méthode MERISE (Méthode d'Etude et de Réalisation Informatique pour les Systèmes d'Entreprise) qui a été utilisée pour la conception de ce MCD est une méthode d'analyse, de conception et de réalisation de systèmes d'informations (Wikipédia, 2019).

Voici une définition des concepts utilisés dans la conception de ce MCD selon la méthode Merise :

- L'entité est le concept de base qui correspond à un objet matériel (un arbre) ou immatériel (un projet)
- La relation correspond au lien existant entre deux entités
- L'attribut est une donnée (numérique, textuelle) élémentaire qui permet de caractériser une entité (un arbre sera défini par une espèce, une variété, un porte-greffe, un emplacement) ou une relation
- Les cardinalités : Les cardinalités d'une association correspondent aux nombres minimal et maximal d'occurrences de l'entité d'arrivée associées aux occurrences de l'entité de départ. (Ex : Un arbre fait partie d'un seul module mais un module peut être composé de **un** à **n** arbres)
- L'identifiant est une propriété (souvent numérique) qui permet de caractériser de façon unique chaque occurrence d'un objet ou d'une relation.

La sixième phase a consisté en une consultation d'une partie de l'équipe pour présenter le travail réalisé et ajuster le MCD.

Pour finir, une notice explicative a été rédigée en annexe 8 (phase 7) afin de détailler les choix quant à la structuration des données et les domaines constituant la base de données.

2.5. Présence et abondance du puceron vert *Aphis* spp. et des auxiliaires dans le Module 1 au cours de la saison culturale 2018 – Effet spatiaux et variétaux au sein du dispositif

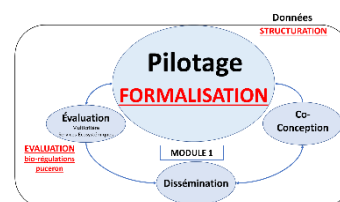
Le troisième axe du travail a porté sur l'effet des choix de plantation (matériel végétal, diversité, agencement spatial) du module 1 en se focalisant sur le puceron vert sur pommier (*Aphis* spp., complexe d'*A. pomi* et d'*A. spiraecola*) et pour la saison 2018. L'enjeu est de décrire l'arrivée et le développement de ce bio-agresseur et les éventuelles régulations se mettant en place. Ceci revient donc à tester l'hypothèse : le design mis en place permet-il de limiter l'arrivée et le développement de ce puceron ainsi que son impact ?

Les données ont été collectées d'avril à octobre 2018 selon le protocole suivant. Tous les 15 jours au printemps puis tous les mois, 2 (cas général) rameaux par arbre sélectionnés au hasard sur tous les pommiers du module 1 ont été observés. Ceci représente 260 rameaux observés par date d'observation, sauf pour les 2 premiers relevés lors du tout début de croissance (3 rameaux observés soit 390 rameaux au total) et le dernier relevé pour une croissance maximale (1 à 2 rameaux par arbre, 144 rameaux au total). L'observation consiste à recenser tous les arthropodes présents sur le rameau, catégorisés en groupes fonctionnels : pucerons (effectif estimé en classes d'abondance), fourmis, auxiliaires (nombre exact de formes actives comptabilisé – en excluant donc les pontes observées).

Des analyses descriptives ont été réalisées afin d'identifier les effets spatiaux et variétaux au cours de la saison 2018.

3. Résultats

3.1. Formalisation du pilotage et du processus de décision



Le pilotage de systèmes classiques se fait selon des RDD écrites lors de la conception du verger qui peuvent certes évoluer mais qui prévoient l'ensemble des opérations culturales à réaliser en fonction des situations probables. Ces situations sont nombreuses mais connues car la majorité des facteurs de production sont contrôlés (eau, éléments nutritifs, protection chimique). Dans un système en agroécologie, la plupart des facteurs de production ne sont pas contrôlés (hormis l'eau) mais reposent sur des processus écologiques liés à des services écosystémiques. Ainsi, l'apport et la disponibilité du sol en éléments nutritifs reposent principalement sur la fertilité du sol. De même, les régulations naturelles sont recherchées pour produire sans pesticide. Le fait de ne pas contrôler les facteurs de production implique de favoriser les services écosystémiques pour atteindre un objectif et revient donc à piloter un

écosystème. Ceci demande de prendre en compte un ensemble de paramètres (un écosystème étant complexe par nature).

Pour piloter des systèmes agroécologiques complexes, des outils sont donc proposés et correspondent à des OAR, Outils d'Aide à la Réflexion. Le premier outil constitue un cadre permettant de guider la réflexion pour prendre la décision d'agir ou non, en considérant l'ensemble des éléments à prendre en compte. Ceci garantit la conformité des actions décidées vis-à-vis de l'objectif principal 'produire des fruits sans pesticides'. Ce cadre reste évolutif, différents éléments seront ajoutés afin d'affiner le pilotage au cours du temps. Il est également ouvert et ne prétend pas recouvrir l'ensemble des possibles mais il s'applique à une majorité de situations rencontrées. La conception de cet outil a nécessité de formaliser le pilotage, c'est-à-dire d'explicitier le pourquoi d'une action (son objectif), mais aussi le comment (le processus à favoriser). Ceci est détaillé dans les paragraphes suivants. Le fait de formaliser le pilotage va donc permettre d'améliorer sa traçabilité et sa capitalisation car il sera alors possible de décrire les décisions d'action en regard des objectifs généraux. La traçabilité du pilotage a deux finalités, la première correspond à l'autoapprentissage, les éléments décrits pouvant être remobilisés. La seconde correspond à la dissémination d'une méthode générique pour le pilotage de tels systèmes.

L'analyse des réunions de pilotage et des opérations réalisées a permis d'identifier trois niveaux dans la discussion permettant d'amener à la décision finale dans l'objectif général de produire des fruits sans pesticides : **les lignes directrices, les principes d'action et les propositions d'action**. Ce travail a également permis de décrire le processus général de décision et de proposer l'intégration des outils d'aide à la réflexion.

3.1.1. Les lignes directrices

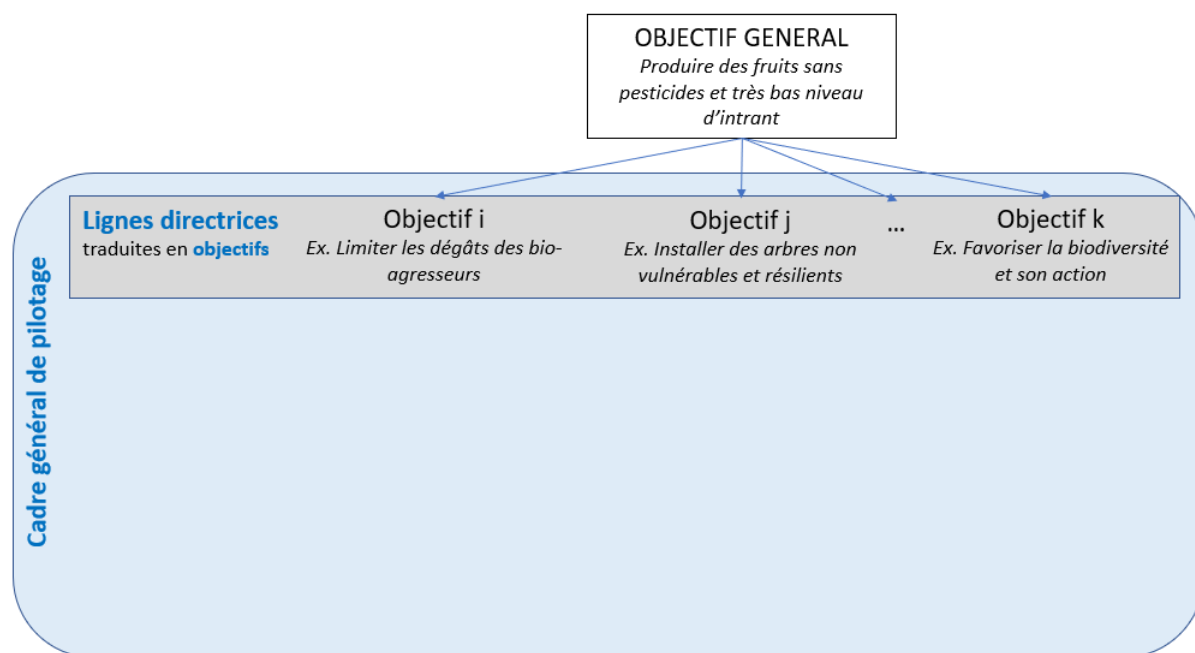


Figure 3 : Cadre général de pilotage – Les lignes directrices (extrait)

La première étape du travail a donc été l'identification des lignes directrices présentées en, partie dans la figure 3, les cinq lignes directrices identifiées sont les suivantes :

- **Limiter les dégâts de ravageurs** : Limiter leur arrivée et leur développement dans la parcelle et sur les arbres, limiter leurs impacts sur les arbres et sur les fruits.
- **Installer des arbres non vulnérables et résilients** : Avoir des arbres aptes à supporter un stress biotique ou abiotique et peu sensibles aux bio-agresseurs.
- **Favoriser la biodiversité et son action** : Avoir une diversité cultivée. Favoriser ressources et abris tout au long de l'année pour la faune dont la faune auxiliaire et favoriser son action.
- **Produire des fruits** : Obtenir des fruits de qualité avec des arbres fructifiant.
- **Gérer les ressources naturelles en lien avec la durabilité environnementale** : Limiter l'impact carbone, favoriser l'autonomie des arbres en azote et tendre vers des arbres autonomes en eau.

L'objectif général du projet Z est de produire des fruits sans pesticides. Cinq lignes directrices ont donc été identifiées et visent à atteindre cet objectif : elles renvoient à différents services écosystémiques. Les trois services écosystémiques liés aux lignes directrices sont : **Régulation de l'environnement biotique, Régulation de l'environnement physico-chimique et Nutrition. Ces lignes directrices permettent de guider l'action pour maximiser ces services écosystémiques afin d'atteindre l'objectif général.** Ces lignes directrices sont dans la pratique, traduites en objectifs à atteindre. La première ligne directrice *Installer des arbres non vulnérables et résilients* a pour but de mobiliser le service de régulation

de l'environnement physico-chimique en lien avec la fertilité du sol. Dans un premier temps, il est nécessaire que les arbres s'implantent et croissent, ce qui implique une adéquation entre les ressources hydrominérales du sol et des besoins de l'arbre. Cependant, il est nécessaire que la croissance et la nutrition des arbres permettent également de limiter le développement des bio-agresseurs. Une sur-fertilisation en azote augmentera la teneur en sucre des tissus et rendra l'arbre plus appétent pour le puceron (Rousselin et al., 2017). Enfin, les arbres doivent être résilients c'est-à-dire qu'ils doivent, dans une certaine mesure, continuer leur cycle de vie malgré un stress éventuel (abiotique ou biotique). En ceci il y a des antagonismes au sein de cette ligne directrice : croissance forte pour installer les arbres et croissance limitée pour les rendre non vulnérables. La deuxième ligne directrice *Production de fruits* a pour but de mobiliser le service de nutrition. Cette ligne directrice est liée à la précédente dans la mesure où elle nécessite des arbres installés, cependant la notion d'arbres fructifiant renvoie au processus de mise à fruits. Ce processus implique une croissance équilibrée, il y a donc un antagonisme avec l'installation des arbres qui peut dans certains cas impliquer une importante croissance végétative des arbres. La notion de fruits de qualité est en grande partie liée au service écosystémique de régulation de l'environnement biotique : il y a synergie avec la ligne directrice *Limiter les dégâts de ravageurs*. Cette dernière ligne directrice découle du service écosystémique régulation de l'environnement biotique, elle vise également à freiner la progression des bio-agresseurs dans la parcelle et sur les arbres. Limiter leurs impacts sur les arbres et sur les fruits inclut de favoriser l'action des auxiliaires et également de mettre en œuvre des pratiques adaptées. La ligne directrice *Favoriser la biodiversité et son action* inclut trois angles différents. Le premier correspond à la diversité cultivée qui est recherchée pour l'effet dilution ainsi que pour obtenir une production diversifiée intéressante du point de vue de la répartition de la charge de travail et de la résilience économique. Le second angle vise à favoriser la biodiversité d'une manière générale pour rendre le système le plus résilient possible en favorisant l'occupation d'un maximum de niches écologiques et ainsi contribuer à maintenir les fonctions attendues en cas de perturbation. Le troisième angle vise à favoriser un cortège d'auxiliaires indispensable pour réguler les ravageurs. Cette ligne directrice est donc liée à la fois au service écosystémique de régulation de l'environnement biotique et au service de nutrition via le contrôle des bio-agresseurs et la qualité des fruits.

3.1.2. Les principes d'actions

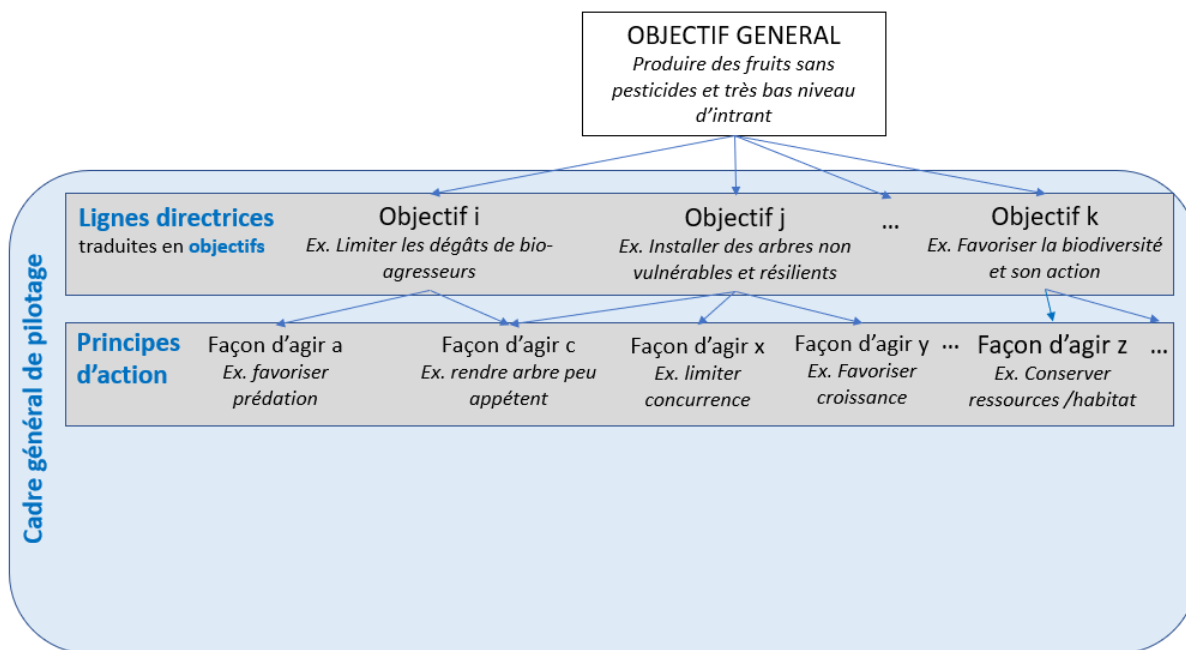


Figure 4 : Cadre général de pilotage – Les principes d'actions (extrait)

Ces lignes directrices se décomposent chacune en plusieurs principes d'action (Fig. 4). **Un principe d'action correspond à un processus mobilisé afin d'atteindre l'objectif. Le principe est une notion fondamentale qui a valeur de généralité** (Larousse, 2019) et qui dans notre cas implique une **manière d'agir** liée à l'objectif. Un objectif peut être atteint par différentes manières d'agir : ceci souligne le fait qu'il y a des synergies et des additivités entre principes d'action, mais également, potentiellement, des antagonismes. Par ailleurs, un principe d'action renvoie également à plusieurs objectifs traduisant qu'un objectif est en interaction avec différentes dimensions du fonctionnement de l'écosystème. Voici un exemple illustrant les synergies, additivités qui existent entre les principes d'action. Certains principes d'action renvoient au même objectif, dans certains cas il y aura seulement additivité, *Favoriser la prédation* et *Rendre l'arbre peu appétent* relèvent de ce cas, ils permettent tous deux d'atteindre l'objectif *Limiter les dégâts de bio-agresseurs* mais ils sont indépendants l'un de l'autre. En revanche, les principes *Limiter la concurrence* (X) et *Favoriser le croissance* (Y) sont en synergie car le résultat de X ET Y sera supérieur au résultat de X + Y.

3.1.3. Les propositions d'actions

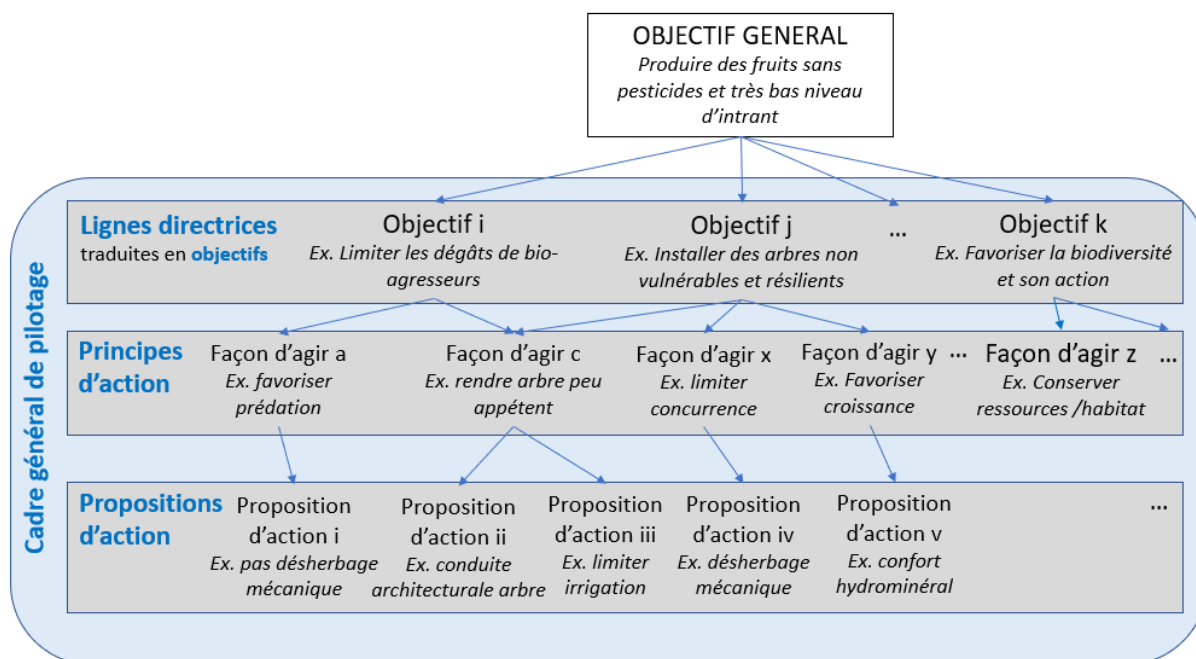


Figure 5 : Cadre général de pilotage – Les propositions d'actions (extrait)

La figure 5 présente les propositions d'actions. Les propositions d'actions correspondent à la concrétisation des principes d'actions. Là aussi, il peut y avoir des antagonismes et des synergies. Dans certains cas précis, une proposition d'action sera une Règle De Décision (RDD). Voici un exemple permettant d'illustrer la place de la proposition d'action. Le principe d'action *Rendre l'arbre peu appétant* peut être atteint de différentes manières et notamment en limitant l'irrigation. Ceci permet d'induire un stress hydrique, contrôlé par des tensiomètres, sondes permettant de mesurer la tension du sol et donc son humidité (Agrideseau, 2005) afin de limiter la présence de pousses jeunes et riches en sucre particulièrement appétentes pour le puceron (Rousselin et al., 2016). Comme évoqué au début de ce paragraphe, il y a des synergies entre les propositions d'actions, la ligne directrice *Installer des arbres non vulnérables et résilients* entraîne des principes d'action en synergie (cf 3.1.2) et les propositions d'action qui en découlent : *désherbage mécanique (iv)* et le *confort hydrominéral (v)* sont aussi en synergie. En effet (iv) ET (v) (les actions sont simultanées) permettra une meilleure croissance et installation des arbres que (iv) + (v) correspondant à une additivité (les actions ne sont pas simultanées). Il y a également des antagonismes, le confort hydrominéral n'est évidemment pas compatible avec *Limitier l'irrigation*.

3.1.4. L'outil Interactions

Ces trois niveaux : lignes directrices, principes d'action et propositions d'action forment le cadre général de pilotage. Ce cadre général de pilotage constitue un outil qui sera mobilisé au

cours des discussions. Un second outil a été mis au point, pour utiliser les principes et propositions d'actions (Fig. 6). Cet outil recense les **interactions** existantes entre **l'action à réaliser** et **le fonctionnement du système**. Plus précisément, il permet d'avoir accès aux conséquences des propositions d'actions. Ainsi, lorsqu'une proposition d'action est choisie, le collectif peut facilement identifier l'ensemble des conséquences de l'action. Par exemple, le broyage de l'inter-rang aura pour conséquence de supprimer de la ressource pour les auxiliaires, cet aspect doit être considéré avant de prendre la décision. Cet outil recense également les **interactions** existant entre **l'action à réaliser** et **les autres actions** réalisées sur le système. Dans certains cas, l'action envisagée est incompatible avec d'autres actions ou bien dépend d'une autre action. Par exemple, le désherbage mécanique du rang nécessite un arrêt de l'irrigation pendant 24 à 48h, ceci montre l'incompatibilité à un instant t entre l'irrigation et le désherbage mécanique. Toujours concernant le désherbage mécanique, un couvert haut (environ 50 cm) rendrait cette action inenvisageable, le désherbage mécanique du rang dépend donc de la gestion de l'inter-rang.



Figure 6 : L'outil Interactions (extrait)

3.1.5. Le fonctionnement du pilotage

La figure 7 présente le processus de décision pour le pilotage. Ce processus est formé de huit étapes au cours desquelles la discussion est centrale. La discussion a pour point de départ une situation observée au sein du système et qui n'est pas satisfaisante au niveau de l'objectif général « Produire des fruits sans pesticides ».

- La première étape est donc la description de la situation observée et du contexte. La situation correspond aux éléments conjoncturels qui affectent le verger à un instant t (observation d'un ravageur, état des arbres, valeur mesurée lors d'un contrôle...) tandis que le contexte correspond aux éléments structurels (disponibilité du matériel, activités à prévoir, stade de vie du verger).
- La seconde étape correspond à l'identification des menaces et opportunités liées à la présence des éléments décrits à l'étape 1. Cette étape doit amener à identifier en quoi la présence des éléments décrits constitue une menace ou une opportunité pour le système. Un élément constitue une menace pour le système si sa présence empêche ou perturbe l'atteinte de l'objectif général. A l'inverse, un élément constitue une opportunité pour le système si sa présence favorise l'atteinte de l'objectif général.

- La troisième étape est la hiérarchisation des menaces et opportunités identifiées à l'étape 2. Cette étape fait appel à l'expertise du collectif, les menaces et opportunités identifiées seront donc classées par ordre d'importance. Ceci permettra de savoir quelle menace prendre en compte prioritairement ou au contraire quelle opportunité favoriser prioritairement.
- La quatrième étape va consister à hiérarchiser les objectifs à atteindre, c'est-à-dire qu'en fonction de la hiérarchisation des menaces et opportunités réalisée à l'étape 3 le collectif va rendre un ou plusieurs objectifs prioritaires (cf 3.1.1.) ainsi qu'un ou plusieurs objectifs secondaires parmi les objectifs de pilotage. Ainsi, plusieurs objectifs seront sélectionnés grâce à cette étape. Un objectif prioritaire devra forcément être atteint alors qu'un objectif secondaire aura moins d'importance mais pourra être pris en compte dans la décision. A l'issue de cette sélection, un cadre de réflexion pour la décision est spécifié. Ce cadre est constitué des principes d'action liés aux objectifs priorisés ainsi que des propositions d'actions qui en découlent. Il n'est pas figé et pourra changer en fonction des échanges de pilotage.
- La cinquième étape va amener le collectif à se saisir de ce cadre pour sélectionner une action à réaliser. Cette action ne correspond pas à l'action finalisée, c'est-à-dire quelle ne répond pas forcément à l'ensemble des objectifs priorisés.
- Dans ce sens, l'étape 6 va permettre d'analyser l'action sélectionnée afin d'identifier ses conséquences sur l'ensemble du système. L'identification des conséquences de l'action sélectionnée se fera grâce à l'outil Interaction (Fig. 6).
- En fonction des conséquences identifiées, cette sixième étape sera suivie de l'étape 7 afin de réaliser un éventuel ajustement. L'étape 7 est donc facultative s'il n'y a pas de conséquences nécessitant un ajustement. Dans le cas où l'étape 7 est réalisée, un ajustement sera identifié et se concrétisera par une action supplémentaire à réaliser en complément de l'action sélectionnée. L'action supplémentaire permettra de nuancer ou de compenser l'action sélectionnée pour atteindre un autre objectif priorisé à l'étape 4. Cette action supplémentaire sera également analysée (de la même manière que l'action sélectionnée de l'étape 5) en réalisant à nouveau l'étape 6. Ensuite l'étape 7 se déroulera à nouveau si besoin, puis l'étape 6 et cela autant de fois que nécessaire.
- Enfin les actions identifiées au cours de ce processus seront réalisées au sein du système à l'étape 8.

Dans le cas où l'action est issue d'une règle de décision, les étapes 2, 3 et 4 n'auront pas lieu, l'observation (valeur d'une sonde par exemple) amènera alors directement à la règle de décision correspondante qui sera analysée au cours de l'étape 6 comme décrit précédemment.

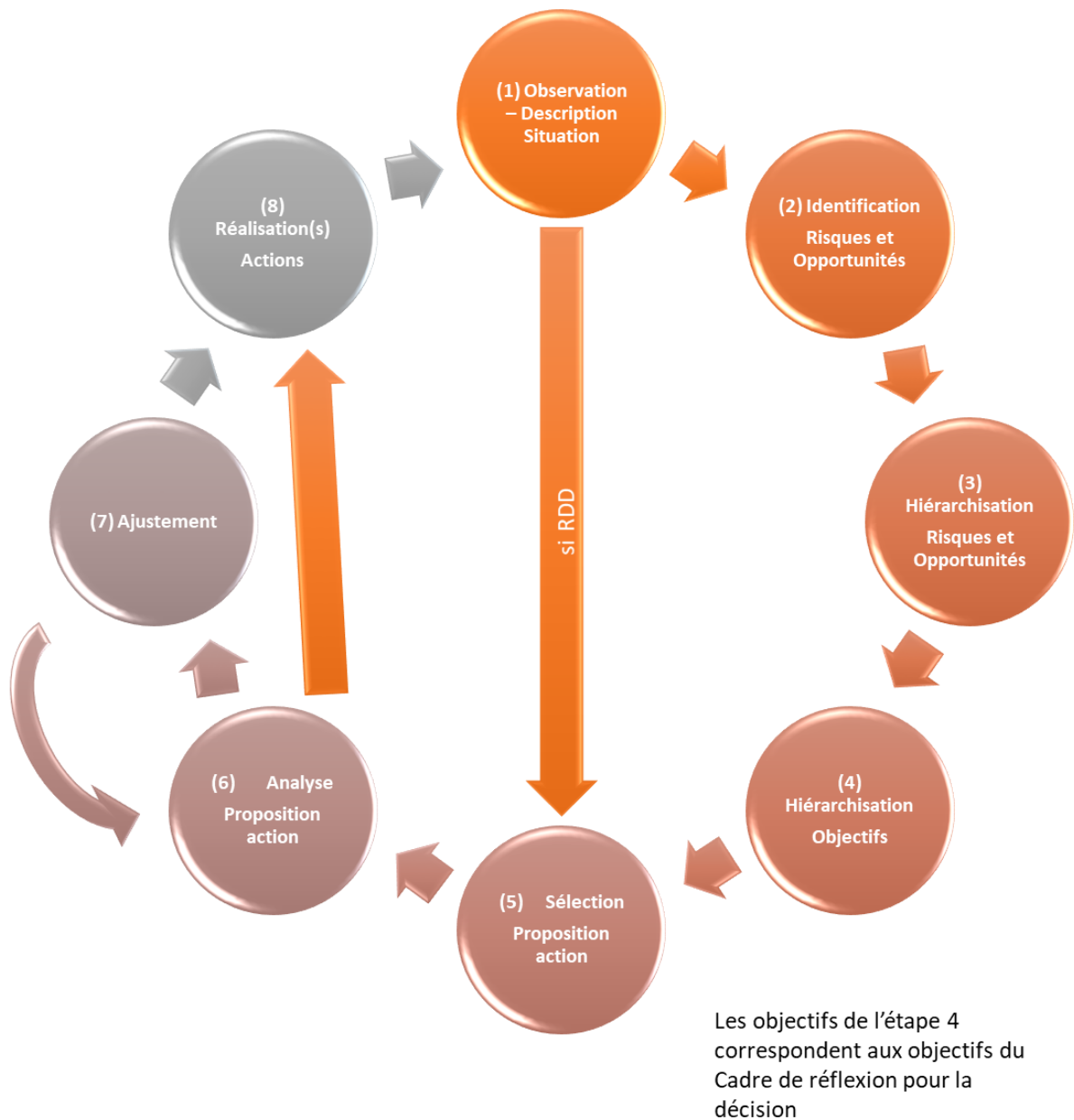


Figure 7 : Processus de décision pour le pilotage

La figure 8 présente le processus de décision pour le pilotage illustré par un exemple et intégrant les deux outils OAR : Le cadre général de pilotage et l'outil Interactions.

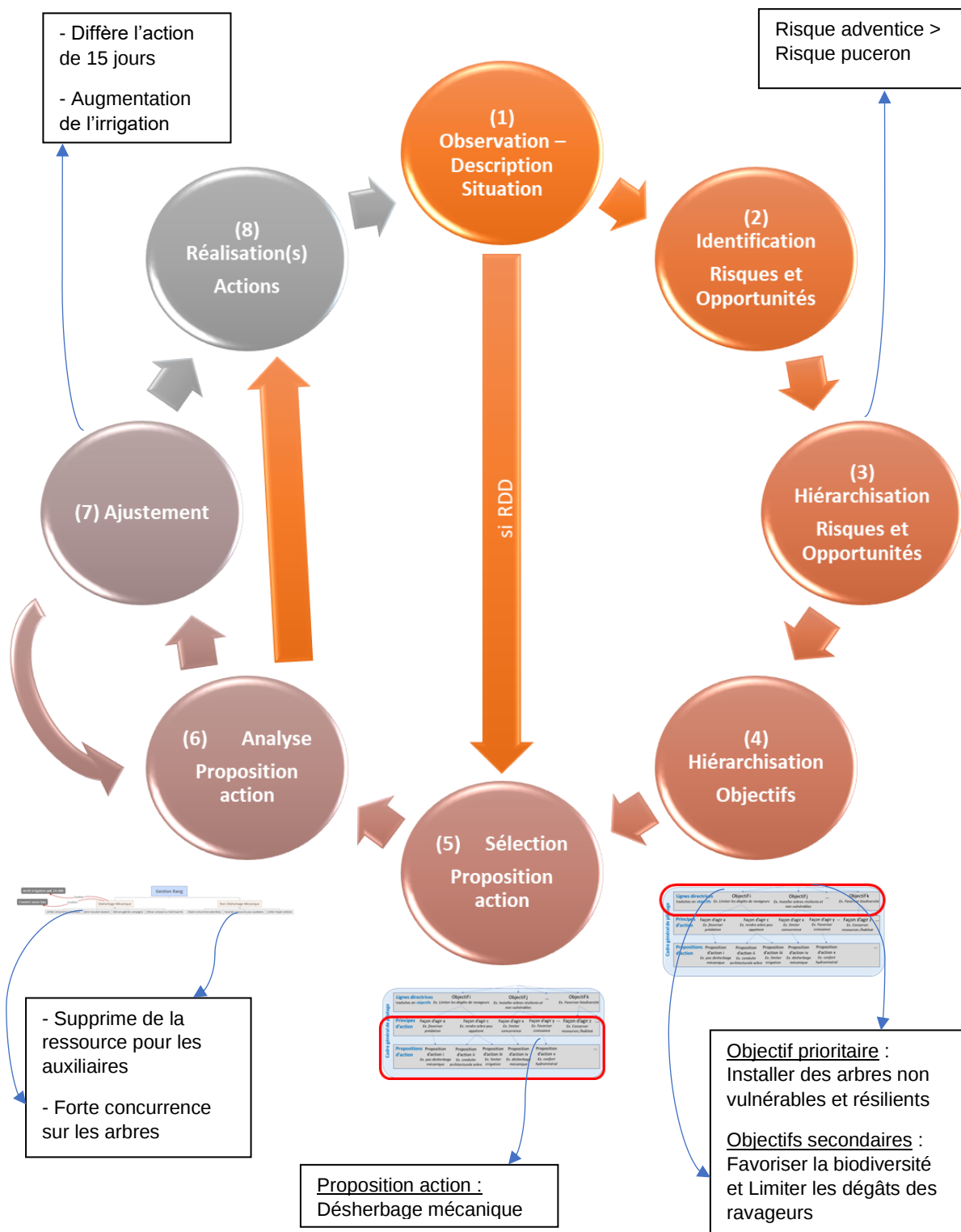


Figure 8 : Processus de décision pour le pilotage et intégration des outils OAR en lien avec l'exemple détaillé

Exemple : Mai 2018, il y a beaucoup de pucerons, beaucoup d'adventices sur le rang mais il y a beaucoup d'auxiliaires sur les adventices sur le rang. Ceci correspond à la description de la situation. Le contexte quant lui correspond à l'enjeu interannuel, à savoir que le verger est jeune ce qui implique de favoriser l'installation des arbres. Une fois la situation et le contexte décrits il convient d'identifier les menaces et opportunités liées à cette situation

pour le système. L'exemple présenté comporte deux menaces et une opportunité. Les menaces sont liées à la présence de pucerons et d'adventices qui perturbent l'installation des arbres. L'opportunité est liée à la présence d'auxiliaires pouvant limiter les populations de pucerons. L'étape 3 va permettre de hiérarchiser les menaces et opportunités. En effet, une unique action sur le système ne permettra pas nécessairement de gérer l'ensemble des menaces et il faut connaître les effets de l'action sur les différentes composantes de l'agroécosystème qui sont en interaction. Il faut donc connaître ces interactions afin de les prendre en compte. Dans l'exemple, la menace liée à la concurrence des adventices est plus importante que la menace liée à la présence de l'espèce de pucerons observée (*Aphis* spp). La présence d'auxiliaires est favorable à la gestion du puceron puisqu'il n'y a que peu de leviers d'actions autres que favoriser les auxiliaires pour gérer le puceron dans un système sans pesticides. A l'issue de cette étape, il va être possible de prioriser les objectifs à atteindre en s'appuyant sur le cadre général de pilotage. Dans le cas présenté, l'objectif *Installer des arbres non vulnérables et résilients* est prioritaire, et les objectifs *Favoriser la biodiversité* et *Limiter les dégâts des ravageurs* sont secondaires. Le cadre de réflexion pour la décision va donc être spécifié à partir de ces objectifs. Une action va être sélectionnée à l'étape 6 au sein de ce cadre. L'action sélectionnée ne permet pas à ce stade de répondre à l'ensemble des priorités. Dans l'exemple, l'action sélectionnée correspond à *désherbage mécanique* qui ne prend pas en compte la menace liée à la présence de pucerons ni l'opportunité liée à la présence des auxiliaires. Ainsi, cette action nécessite d'être ajustée, c'est le but de l'étape 7. L'action brute *désherbage mécanique* doit être discutée afin de réaliser des compromis pour l'ajuster et prendre ainsi en compte l'ensemble des éléments. Puisque le désherbage mécanique supprime la ressource pour les auxiliaires, une non-action va être choisie qui consiste à ne pas désherber dans les quinze jours suivant pour permettre la bio-régulation par les auxiliaires. Cependant, cette action va entraîner une concurrence importante durant quinze jours, une compensation va donc être choisie qui consiste à augmenter temporairement les volumes d'eau apportés. A l'étape 8, l'ensemble des actions seront réalisées à savoir : non-désherbage de mi-mai à fin mai, augmentation des apports en eau de mi-mai à fin mai et désherbage mécanique début juin.

La formalisation du processus de décision a abouti aux figures 7 et 8, il faut souligner que le fonctionnement réel amène souvent à des allers-retours entre les différentes étapes du processus. Ces aller-retours peuvent être dus à différentes raisons. La première est que les observations décrites au cours de l'étape 1 se font souvent de manière informelle, c'est-à-dire en dehors d'un suivi expérimental et leur description ne se fait pas de manière quantitative mais le plus souvent qualitativement (ex : « j'ai vu qu'il y avait **beaucoup** de campagnols à cet

endroit-là »). L'absence d'indicateur numérique a pour conséquence une forte variation de la perception de la situation entre les personnes et ceci freine souvent la prise de décision. Dans certains cas, une observation collective de l'élément décrit sera nécessaire afin se mettre d'accord avant de prendre la décision. De plus, pour une même observation, les dégâts occasionnés seront perçus de manières différentes par les personnes. En effet, la sensibilité de chacun, liée aux valeurs personnelles, entre fortement en ligne de compte lors des discussions. Un deuxième élément pouvant expliquer ces allers-retours est le manque de connaissances et de références qui pourraient favoriser la prise de décision. Souvent, les conséquences d'une observation ou d'une pratique ne sont pas connues et cela demande de faire des recherches ou de demander l'avis d'un expert afin de prendre la décision la plus pertinente possible. En revanche, l'expérience acquise par le collectif, ou par une personne en particulier peut largement aider à la prise de décision.

Une troisième raison peut expliquer ces allers-retours : au cours des échanges, toutes les étapes identifiées ne sont pas nécessairement suivies. Souvent, dans la réalité, certaines d'entre elles se font de manière implicite, voire pas du tout. Au cours de l'échange, un membre du collectif peut prendre conscience de cela et revenir sur une étape antérieure car un élément n'a pas été pris en compte. Le processus proposé aidera au bon déroulement de ces échanges puisque chaque étape du processus doit avoir un résultat. Il serait alors envisageable de demander l'écriture du résultat de chaque étape afin de se mettre d'accord sur les choix réalisés (hiérarchisation des objectifs...) pour limiter ces aller-retours.

Le cadre général de pilotage proposé correspond à une formalisation d'objectifs, de principes d'actions et d'actions envisageables qui existaient déjà, de manière implicite au sein du collectif. Cet outil constitue un support à la réflexion pour la prise de décision, en particulier dans des situations très complexes, mais ce ne peut être en aucun cas un outil remplaçant la discussion et la réflexion. En effet, chaque situation est unique parce qu'elle correspond à la combinaison d'un ensemble de facteurs et se rattache au contexte. Il y a donc une infinité de situations possibles. Ainsi, deux situations peuvent se ressembler mais en raison d'un seul élément différent, elles pourront aboutir à des actions complètement différentes.

De plus, il est important de souligner que le cadre général de pilotage proposé ne se veut pas exhaustif et qu'il est modulable : les objectifs et les principes d'actions proposés pourront évoluer et s'enrichir au fil du temps. Les propositions d'actions pourront évoluer également ; certaines pratiques seraient envisageables mais non jamais été considérées car elles ne sont pas nécessairement pertinentes aujourd'hui.

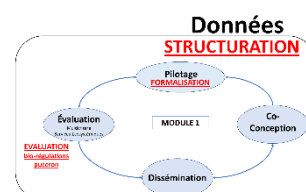
Ces deux points, à savoir l'incomplétude du cadre proposé et l'infinité de situations possibles montrent l'importance du collectif et des échanges pour traiter ces situations souvent

complexes et pour faire évoluer le cadre proposé afin de le rendre le plus pertinent possible tout au long du projet Z.

Les outils proposés ont donc pour objectif de rendre le cadre de pilotage facilement accessible afin de tenir compte d'un ensemble d'éléments dans la prise de décision pour des situations complexes. Par ailleurs, si ces outils ont été créés pour le système module 1, ils pourront être remobilisés et adaptés pour d'autres systèmes, par exemple dans le cadre du projet multi-acteurs ALTO.

Ce travail de formalisation est nécessaire afin de **tracer** le processus de décision pour le remobiliser. Ainsi il sera possible d'échanger sur la démarche avec différents publics et d'améliorer le pilotage d'année en année en tirant parti des expériences antérieures. Cette capitalisation s'appuiera sur la structuration des données et la traçabilité détaillées dans la partie 3.2 qui concernent ces aspects décisionnels au-delà d'un ensemble d'autres données.

3.2. Structuration des Données et Traçabilité



Le paragraphe suivant détaille les résultats obtenus dans le cadre de la structuration des données et de la traçabilité.

3.2.1. Analyse des besoins des utilisateurs liés aux spécificités du système

Cette partie vise à répondre à la question : Qu'attend-on de cette base de données ?

Différents aspects de ce dispositif ont dû être pris en compte dans la structuration des données, incluant le cadre de recherche-expérimentation dans lequel ce projet s'inscrit. Il s'agira tout d'abord de décrire le dispositif et les choix de plantation, qui ont été motivés par diverses connaissances ou hypothèses. Le module 1 est par ailleurs une expérimentation système, ce qui implique de suivre un ensemble d'indicateurs dans le cadre de tester l'hypothèse « le design permet de favoriser les régulations naturelles ». Dans ce même cadre, une évaluation multicritère sera réalisée et ceci implique également d'acquérir différentes variables et de suivre différents indicateurs. La base de données doit donc permettre d'enregistrer ces variables et indicateurs. Toujours lié au cadre de recherche-expérimentation, ce projet a pour but de proposer une démarche générique pour la conception, le pilotage et l'évaluation de systèmes diversifiés complexes : ceci demande donc de tracer l'ensemble des réflexions qui ont lieu dans le cadre de ce projet. Enfin, dans le cadre de ce projet, des interactions avec différents publics ont lieu avec pour but de disséminer des connaissances

incluant la démarche et la réflexion qui l'accompagne. Ces interactions devront également être tracées grâce à la base de données.

L'ensemble de ce travail a donc commencé par une réflexion portant sur les besoins détaillés ci-dessous :

- Tracer les choix de conception
- Permettre l'évaluation multicritère du système
- Tracer et permettre de remobiliser la prise de décision
- Produire des références utilisables, chemin faisant, pour le pilotage « pas à pas » du système
- Caractériser les interactions avec différents publics autour du dispositif
- Evaluer les processus visés (ex. prédation)

3.2.2. Identification de l'échelle de la donnée

Le design innovant de ce dispositif est un élément majeur qui influe fortement le format et l'enregistrement des données : une diversité d'espèces fruitières et non fruitières sont présentes selon un arrangement spatial précis et évolutif (arrachage ou plantation de certains arbres, arbustes). La réflexion est donc partie du constat que le verger étudié, de par sa diversité, ne peut pas être considéré comme un verger classique où les temps de travaux, les quantités d'intrants ou encore les rendements sont mesurés à l'hectare. Au sein du verger étudié, dans un même espace, différentes espèces fruitières et non fruitières sont présentes. Un rendement de pommes à l'hectare n'aurait donc pas de sens. Il convient alors de proposer une échelle pertinente pour chaque type d'opération culturale. Dans le cas du rendement de pomme, l'échelle pourrait être l'espèce pomme ou bien la variété concernée. L'échelle correspond donc à une surface et/ou à un ensemble d'arbres pour lequel la donnée est enregistrée. Ce travail a débuté par une phase de réflexion personnelle qui a permis d'identifier cette question et de construire un support permettant, dans le cadre d'une réflexion collective, de proposer des échelles pertinentes pour chaque type de données. Le support complété à l'issue d'une réunion avec l'équipe est en annexe 5. Lors de la réunion d'équipe, il a été décidé, par exemple, que les apports en eau seraient mesurés au binôme variétal (cf plan, Fig. 2). S'il avait été choisi de raisonner les apports à l'espèce fruitière, les variétés d'une même espèce, qu'elles soient précoces ou tardives, auraient eu les mêmes quantités d'eau au même moment alors que leurs besoins sont différents. Le temps d'installation du réseau général d'irrigation se mesure quant à lui à l'échelle du module en entier. Ainsi, différentes échelles ont été proposées, certaines correspondant à une surface (un rang par exemple) d'autres se rapportant à une espèce ou à une variété. Ces échelles regroupent en réalité des entités, par exemple l'échelle du rang regroupe l'ensemble des rangs présents, c'est-à-dire les rangs 0 à

9. Ces entités ont donc dans deuxième temps été définies, nommées et décrites. La description se fait par les arbres qui composent l'entité en question, chaque arbre étant associé à un identifiant unique. Une entité est donc composée d'un ensemble d'arbres.

3.2.3. Identification du type de données à enregistrer

L'identification du type de données s'est notamment faite dans le cadre d'une réunion d'équipe qui a sollicité l'ensemble des membres de l'équipe. Ceci a été précédé par et suivi d'une réflexion autour de quelles données enregistrer. Ce travail a été réalisé pour l'ensemble de la zone expérimentale du projet d'équipe incluant les modules à venir. Ce travail a amené à la constitution de domaines rassemblant différents types de données. Les cinq domaines identifiés correspondent à :

- La description du système et des éléments qui s'y rattachent
- Les opérations culturales et suivis expérimentaux réalisés
- Les échanges à visée de conception, d'élaboration et de pilotage des systèmes
- Les échanges à visée de d'interaction
- Les documents supports

La figure 9 propose une représentation des cinq domaines identifiés et constituant la BDD :

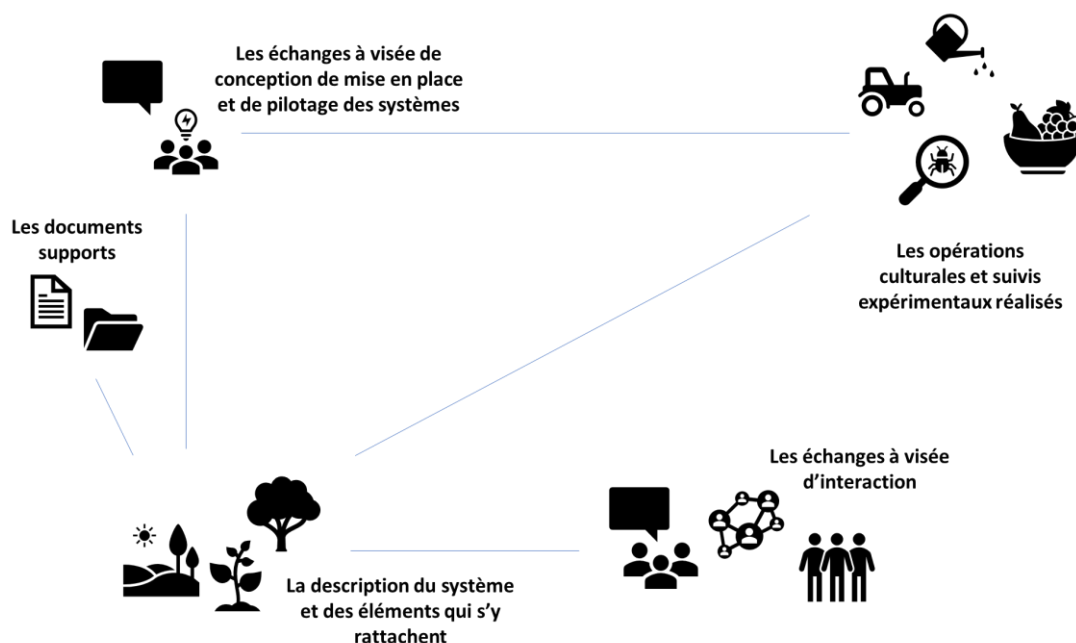


Figure 9 : Les cinq domaines constituant la BDD

3.2.3.1. Description du système et des éléments qui s'y rattachent

Ce domaine permettra de caractériser le système dans son ensemble. La zone expérimentale qui accueille les modules mis en place doit dans un premier temps être décrite (surface, topographie). Dans un second temps, les modules mis en place sont également décrits. Un module correspond à un système implanté et testé dans le cadre du projet Z. Leur description amène à décrire les objectifs spécifiques de chaque module, par exemple l'objectif du module 1 est la maximisation du service écosystémique de bio-régulation.

3.2.3.2. Les opérations et suivis expérimentaux réalisés

Ce domaine permettra d'enregistrer les données liées aux opérations culturales et suivis expérimentaux qui seront réalisés au sein du système. L'évaluation multicritère qui sera réalisée demande d'enregistrer des données de nature économique, environnementale et sociale. Pour cela, chaque opération culturale doit être décrite précisément, le temps de travail, de machinisme, les intrants apportés ou encore les récoltes (extrants) doivent être renseignés afin de pouvoir calculer par la suite des indicateurs économiques (charges, marge), mais aussi des indicateurs environnementaux complexes tels l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) du système. L'analyse de la durabilité sociale du système passera notamment par l'analyse des temps de travail et des pics d'activité au fil des saisons et des questionnaires aux opérateurs quant à leur perception du travail dans le module 1. L'enregistrement des suivis expérimentaux permettra également de réaliser une évaluation agronomique du système (ex. croissance et vigueur des arbres), mais également d'évaluer la bio-régulation des ravageurs et plus largement la capacité de ce système à avoir un effet supprimeur vis-à-vis des ravageurs.

3.2.3.3. Les échanges à visée de conception, d'élaboration et de pilotage des systèmes

Comme évoqué dans le paragraphe 3.2.1, ce projet a pour but de proposer une démarche générique pour la conception, le pilotage et l'évaluation de systèmes agroécologiques très diversifiés. La définition des objectifs, qu'ils soient généraux (cadre de conception zéro pesticides) ainsi que les choix liés à des aspects précis (choix des variétés...) ou encore le pilotage du système relèvent d'une réflexion collective qui inclut l'ensemble de l'équipe porteuse du projet au travers de réunions de conception et de gestion des systèmes, ainsi que d'autres acteurs (participants aux ateliers de co-conception, partenaires du projet...). Il convient donc d'enregistrer les décisions prises et les éléments qui ont conduit aux décisions. Ces éléments se rapportent, pour le pilotage, au contexte et à la situation de l'instant t. Ainsi la traçabilité de la prise de décision permet de capitaliser sur la démarche et contribue à proposer une méthode générique pour la conception et le pilotage de système très diversifiés et également d'améliorer d'année en année le pilotage des systèmes implantés.

3.2.3.4. Les échanges à visée de d'interaction

Le projet d'équipe s'inscrit dans une dynamique multi-acteurs, il fait donc l'objet d'interactions avec divers publics lors de visites, d'ateliers, de réunions thématiques... Ces interactions permettent de partager l'approche et des connaissances issues des systèmes expérimentés avec différents acteurs du monde agricole (enseignants, chercheurs, conseillers et agriculteurs) et également de bénéficier du retour de ces interlocuteurs et de leur expertise sur les choix réalisés. Ces temps d'interaction sont documentés et permettent d'apporter un regard extérieur, de partager des expériences et des questionnements et *in fine* de faire évoluer les systèmes.

3.2.3.5. Les documents supports

Différents documents supports sont nécessaires pour le pilotage et l'évaluation de ces systèmes. L'implantation et la gestion des modules se fait au moyen de projets financés qu'il est nécessaire de documenter. De plus, des plans sont nécessaires pour cartographier la zone expérimentale ainsi que les modules afin de réaliser les différents travaux mais aussi afin de communiquer vers différents publics. Les photos constituent également des documents support dans le but de communiquer mais leur finalité sera dans certains cas l'expérimentation, la photo permettant notamment de décrire l'évolution spatiale des systèmes ou encore de mesurer la biodiversité (pièges photo). Enfin, la mesure de l'évolution spatiale du milieu (ex. fermeture du milieu liée à la croissance des arbres) est difficile à prévoir car elle est liée aux processus de compétition qui vont se mettre en place au sein de tout système diversifié, il est donc intéressant de la documenter.

3.2.4. Rédaction du cahier des charges

Le paragraphe précédent a décrit les données à enregistrer dans la BDD, celui-ci correspond au cahier des charges de la BDD rédigé en annexe 7 qui comprend les relations entre les entités de données au travers des règles de gestion.

3.2.5. Le modèle conceptuel de données (MCD)

Cette partie propose une présentation du MCD en plusieurs étapes selon les domaines décrits dans le paragraphe 3.2.3. Les figures 10 à 14 présentent les cinq domaines et la figure 15 présente le MCD.





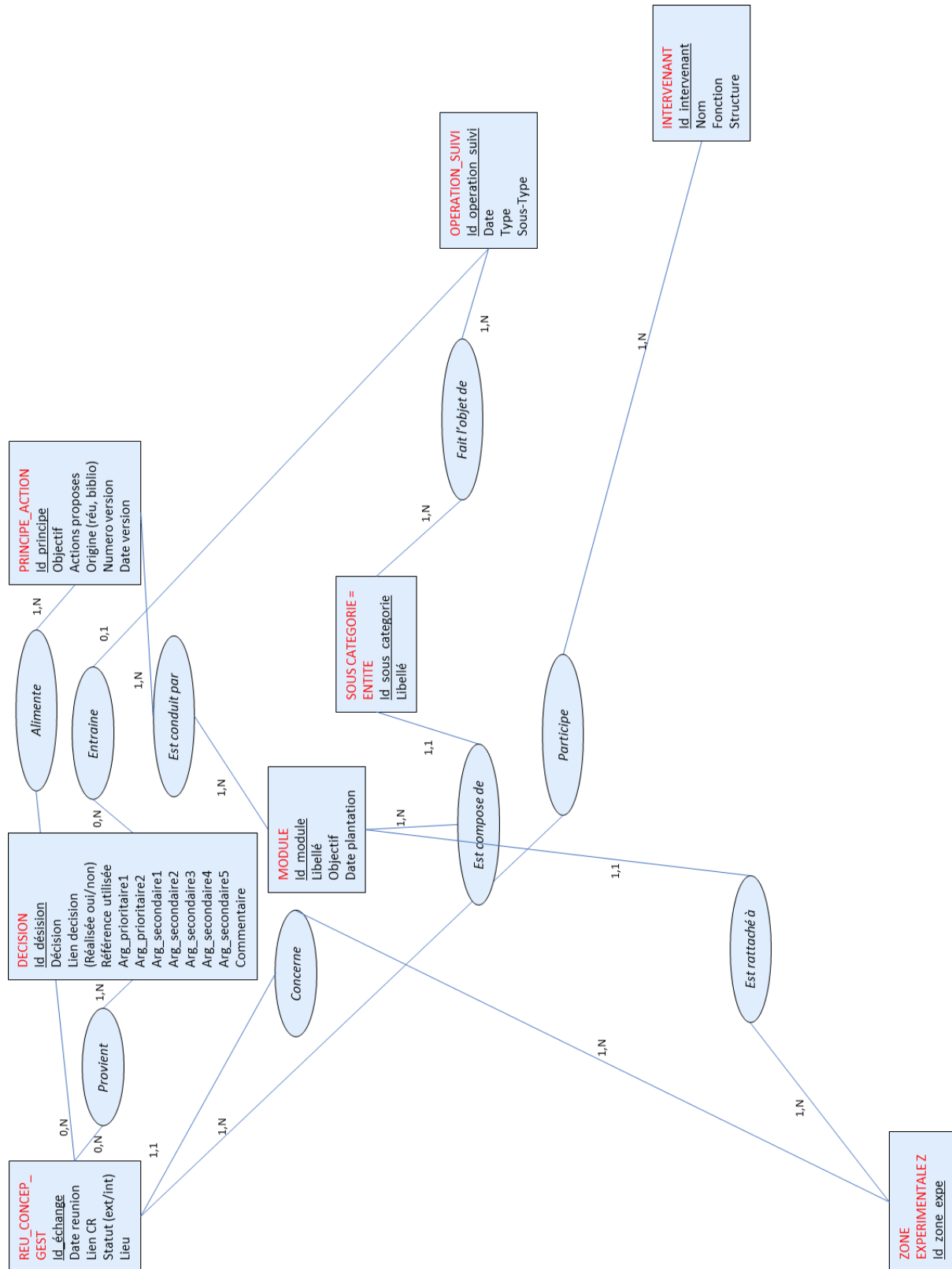


Figure 12 : Les échanges à visée de conception, d'élaboration et de pilotage des systèmes

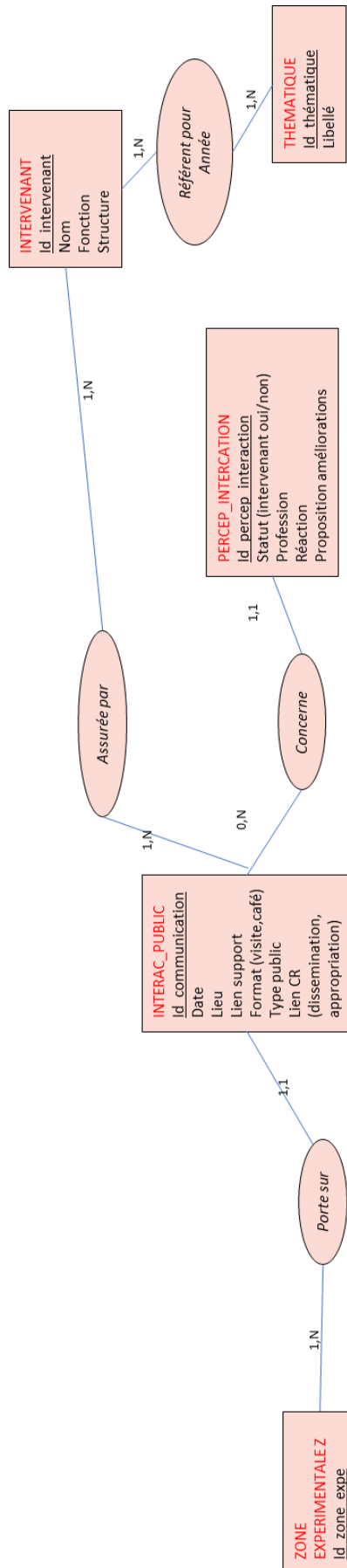


Figure 13 : Les échanges à visée d'interaction

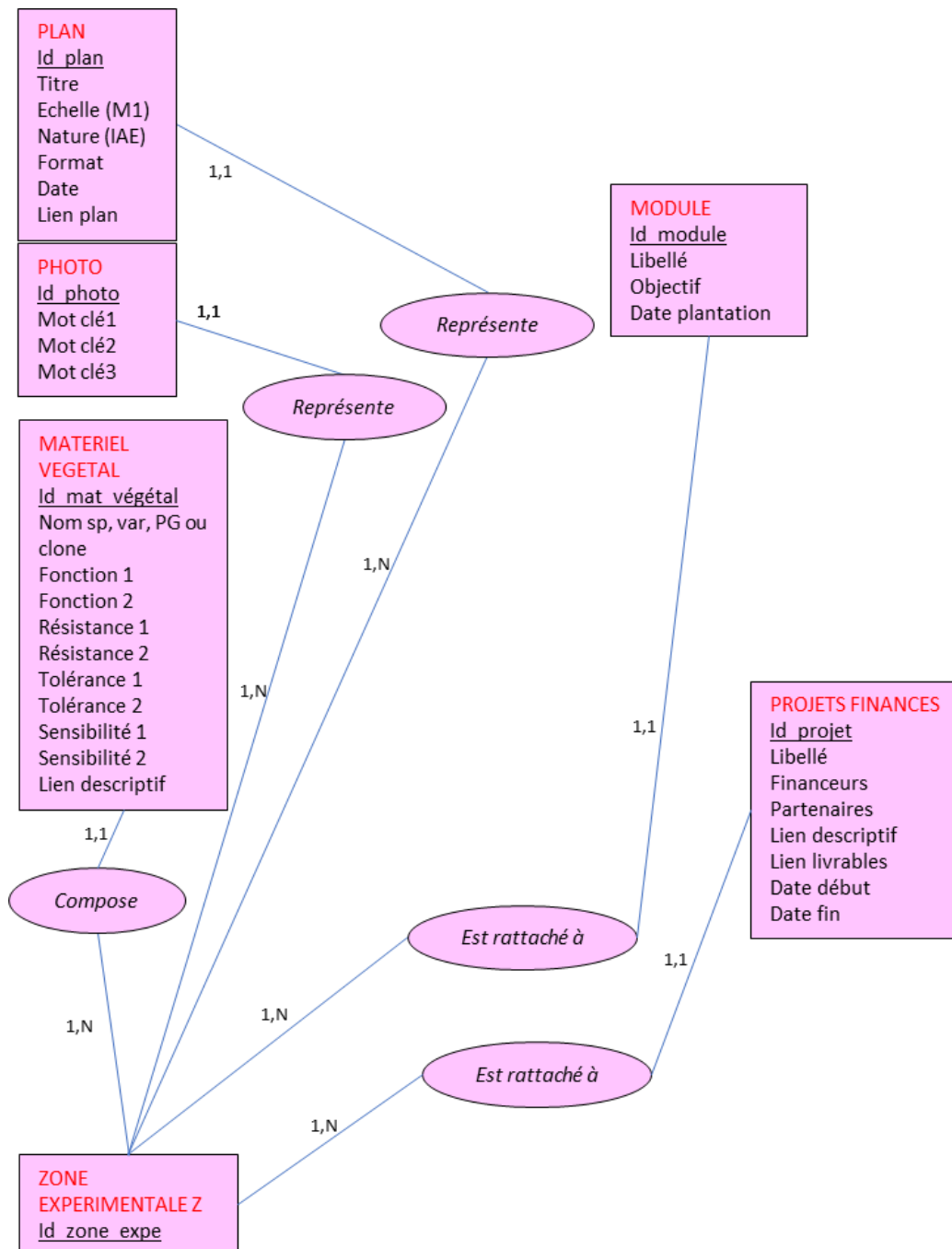


Figure 14 : Les documents support (plans, documents projet)

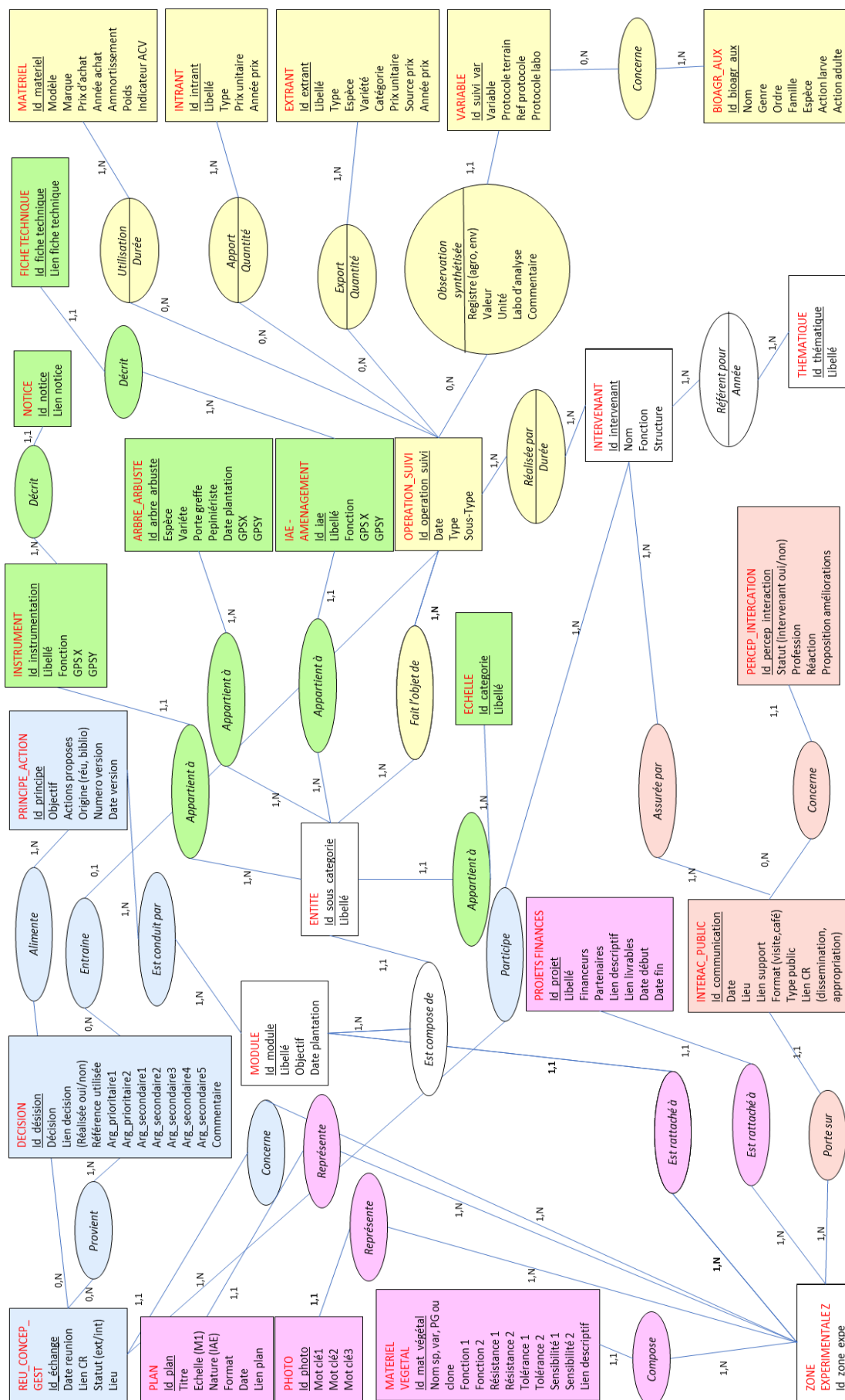


Figure 15 : Le MCD

3.2.6. Rédaction d'une notice explicative

Une notice détaillant les choix de structuration et les spécificités de chaque domaine de la BDD a été rédigée (Annexe 8). Après le développement de la base de données, une notice d'utilisation de la base de données sera jointe à cette notice explicative.

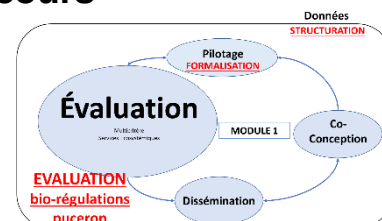
3.2.7. Développement de la BDD

Le développement de la base de données sera réalisé à la suite de ce travail de fin d'études, en septembre 2019 et se fera grâce au logiciel Access (Microsoft Access, 2019). Il comprendra la réalisation de l'interface de la base de données qui devra permettre une saisie aisée des données dont certaines seront enregistrées par l'ensemble des membres de l'équipe (opérations culturales et suivis expérimentaux).

La diversification d'un système agricole dans un cadre d'agroécologie se traduit par une complexification du système. Cette complexification impacte le pilotage du système comme décrit dans la partie 3.1 mais aussi la gestion de données diversifiées et hétérogènes tant en termes de nature (quantitative, qualitative, spatialisée) que de registre (agronomie, environnement, technique, décisionnel, design, dimension participative) ou encore de support (données numériques, texte, photos, plans, schémas conceptuels, outils...). De plus, le système implanté étant très diversifié ces données doivent être enregistrées à des échelles spatiales très différentes et en prenant en compte la dynamique temporelle. La base de données proposée permet l'enregistrement de l'ensemble de ces données diversifiées et hétérogènes et, lors de sa conception, l'évolution temporelle des systèmes a été anticipée. De fait, les données enregistrées pourront être analysées pour évaluer les systèmes de manière multicritère, exploratoire ou de manière ciblée sur une ou quelques variables. Pour cela, la saisie doit être rigoureuse et régulière afin d'obtenir des données précises tout au long du projet, d'autant plus que chaque personne du collectif pilote sera amené à enregistrer des données. Par ailleurs, les données saisies devront être facilement accessibles grâce à un large requêtage. En septembre 2019, le développement de la base de données inclura la mise au point de formulaires de saisie ainsi que la définition des requêtes. Ceci permettra ensuite d'accéder facilement à des données de qualité. L'ensemble de ce travail de structuration des données et de formalisation contribue enfin à la traçabilité de l'expérimentation, c'est-à-dire à un enregistrement complet et constant tout au long du projet, garantissant ainsi la qualité des travaux de recherche conduits.

Cette partie a permis de décrire comment structurer les données issues de l'expérimentation en cours afin notamment d'évaluer le dispositif. La partie suivante présentera une première évaluation de la dimension suppressive du module 1 au travers de l'exemple du puceron vert sur la saison 2018.

3.3. Présence et abondance du puceron vert et des auxiliaires sur pommier dans le Module 1 au cours de la saison culturale 2018 – Effet spatiaux et variétaux au sein du dispositif



Cette partie présente une première évaluation de l'effet des choix de design du dispositif sur l'infestation par le puceron vert du pommier, seul puceron recensé en 2018 ce n'est qu'une illustration décrivant les populations de pucerons et d'auxiliaires présents. Dans la mesure où il s'agit d'une première année après plantation, seules des tendances sont décrites ici, sur la base des premières observations.

3.3.1. Effets spatiaux sur l'abondance du puceron vert et des auxiliaires

Concernant les effets spatiaux sur l'abondance du puceron vert, deux entités ont été considérées : les tiers, qui composent le module et ont un environnement différencié décrit par 'Sud' (TS), 'bois' (TB) et 'route' (TR), et les rangs, avec sept rangs de pommiers (R1-R6 et R8, cf Fig.2).

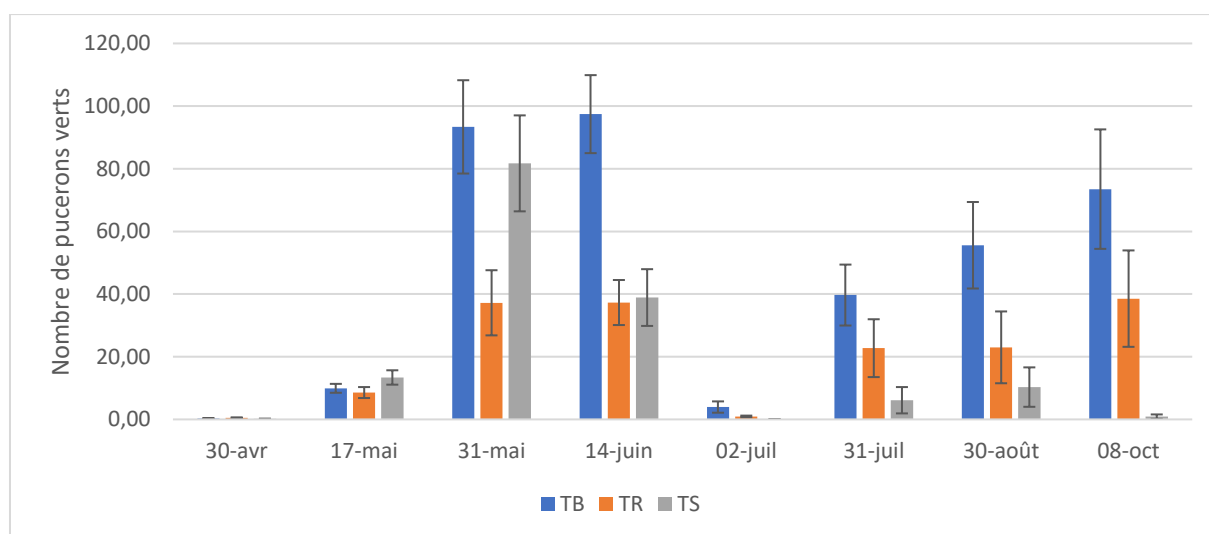


Figure 16 : Nombre moyen de pucerons verts par rameau au fil de la saison 2018 ($\pm$ erreur standard) par tiers

La figure 16 représente le nombre moyen de pucerons verts par rameau en fonction des tiers au cours de la saison 2018. Dans la quasi-totalité des cas, l'abondance des pucerons verts dans TB tend à être plus importante que l'abondance de pucerons verts dans TS et dans TR. Pour les trois dernières observations, l'abondance de pucerons verts dans TS est très faible et tend à être inférieure à celle dans TB et TR. La faible abondance de pucerons à la date du 2 juillet correspond à un état de stress hydrique élevé des arbres ayant entraîné le départ de la majorité des pucerons. Ces premières observations des effets spatiaux liés aux tiers (cf Fig. 2) confirment l'hypothèse que l'environnement extérieur du module a un effet sur les populations de pucerons à l'intérieur du module, avec un tiers bois exposé à un milieu forestier composé d'espèces hébergeant *Aphis* spp. et/ou créant un microclimat plus favorable.

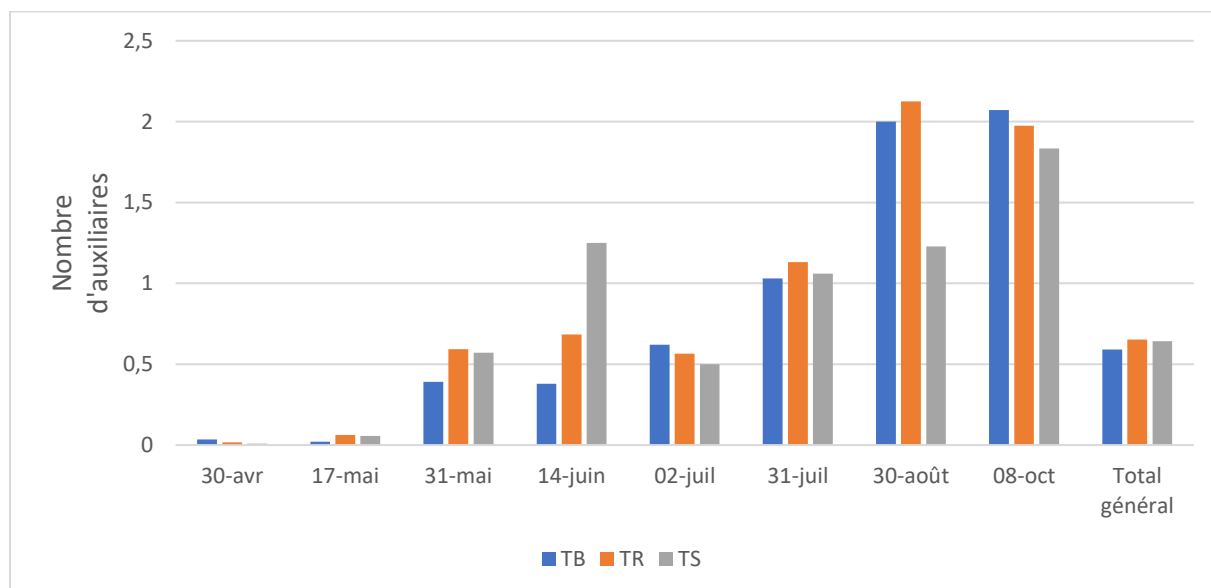


Figure 17 : Nombre moyen d'auxiliaires par rameau au fil de la saison 2018 ($\pm$ erreur standard) par tiers

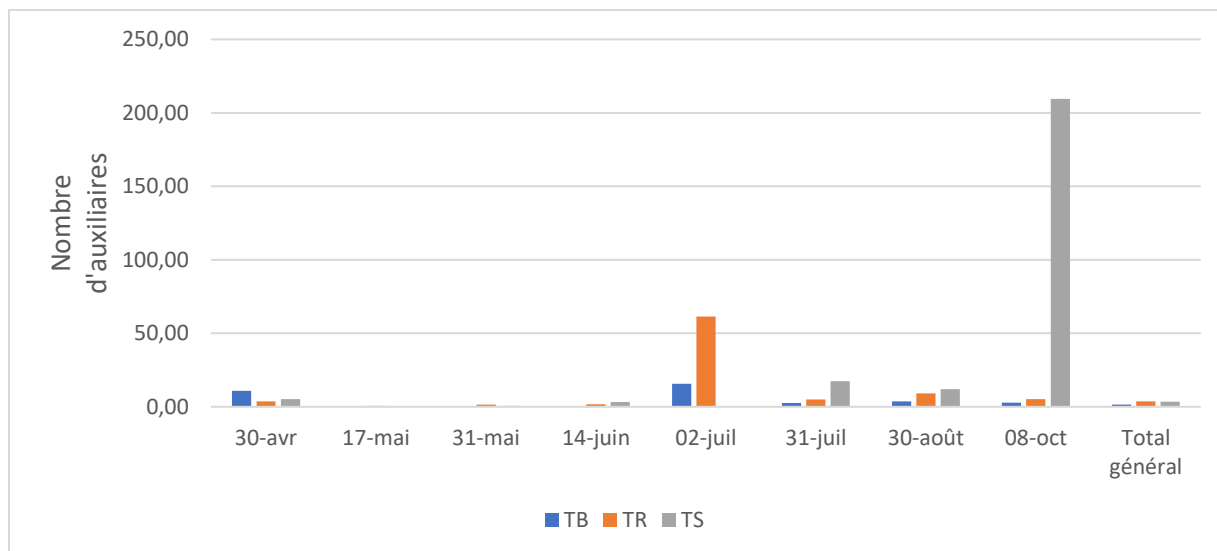


Figure 18 : Nombre moyen d'auxiliaires pour 100 pucerons verts au fil de la saison 2018 ($\pm$ erreur standard) par tiers

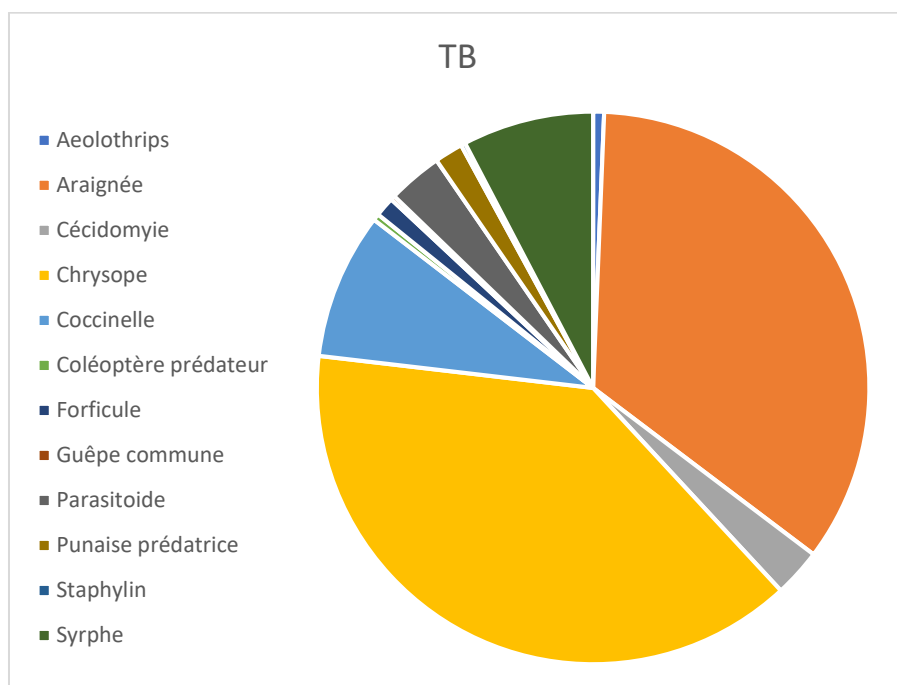


Figure 19 : Cortège d'auxiliaires dans TB (cumul relevés saison 2018)

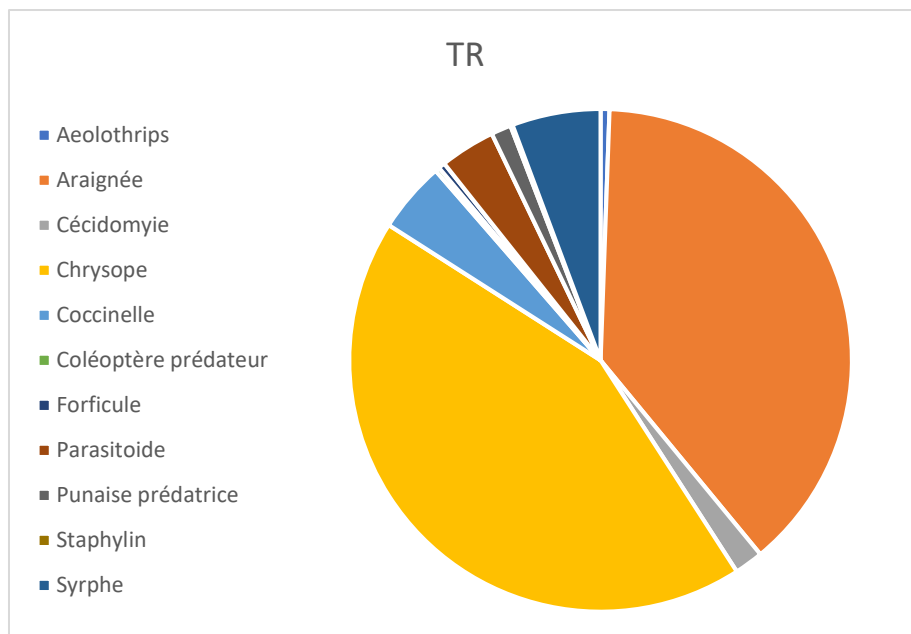


Figure 20 : Cortège d'auxiliaires dans TR (cumul relevés saison 2018)

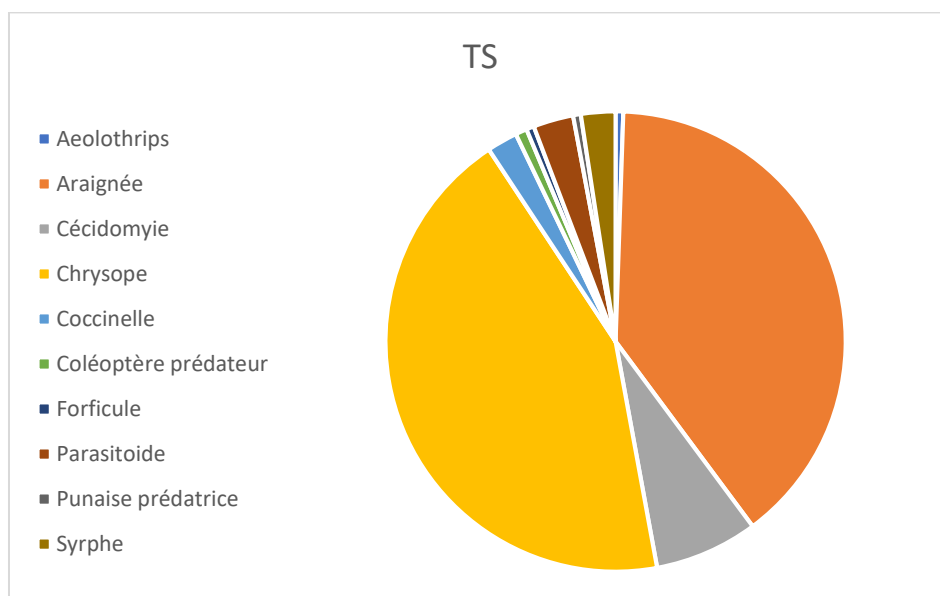


Figure 21 : Cortège d'auxiliaires dans TS (cumul relevés saison 2018)

La figure 17 représente le nombre moyen d'auxiliaires par rameau en fonction des tiers au cours de la saison 2018. L'abondance d'auxiliaires pour cent pucerons vert (cf Fig. 18) tend à être légèrement inférieure dans TB, ce qui est en cohérence avec une présence accrue de pucerons dans ce tiers (Fig. 16). A contrario, la moindre infestation relative de TS s'accompagne d'un ratio auxiliaires/pucerons qui tend à être plus élevé par rapport aux deux autres tiers (Fig. 18). L'efficacité des auxiliaires pour limiter les populations de pucerons verts reste à valider mais ces premières observations appuient cette hypothèse. En revanche les cortèges d'auxiliaires des trois tiers (cf Fig. 19, 20 et 21) ne permettent pas d'appuyer cette

hypothèse puisque les proportions d'aphidiphages (coccinelles, cécidomyies prédatrices et syrphes) sont sensiblement les mêmes alors que les populations de pucerons sont différentes. Par ailleurs, la moindre présence d'auxiliaires à proximité d'un bois, (cf Fig. 17) habitat semi-naturel, est en contradiction avec le principe général de biodiversité entomologique accrue corrélativement à la biodiversité végétale. Enfin, une dispersion intra-parcellaire sous l'effet d'autres facteurs (différentiel de croissance des arbres par exemple) n'est pas à exclure, d'autant que la disposition en spirale des pommiers hors rang R8 s'accompagne de la prépondérance de certaines variétés dans certains tiers. Ces observations seront bien sûr à confirmer à partir des données des années suivantes.

Pour les effets spatiaux liés aux sept rangs de pommier, l'hypothèse repose sur l'effet barrière recherché dans ce module, les rang périphériques (haies et R8) étant supposés limiter ou retarder l'arrivée des pucerons dans le centre du module (R1-R6). Il est donc attendu que les rangs périphériques soient plus infestés que les rangs internes.

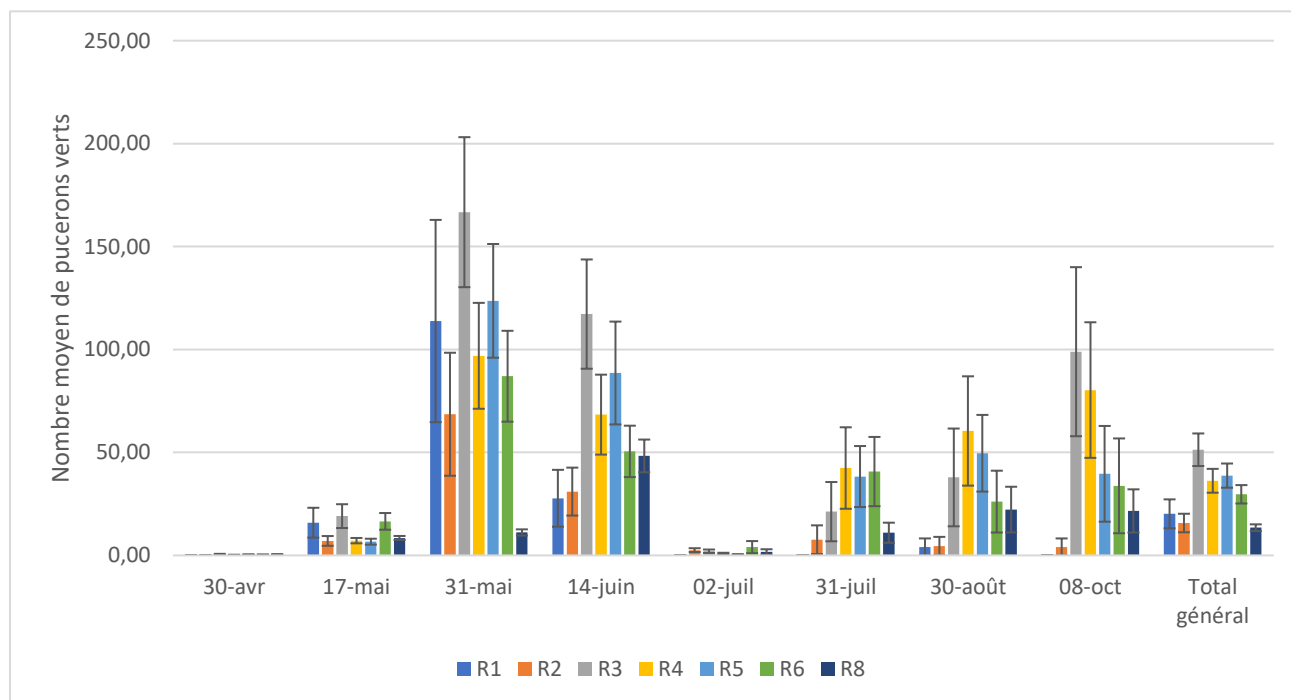


Figure 22 : Nombre moyen de pucerons verts au fil de la saison 2018 ($\pm$ erreur standard) par rang

La figure 22 représente le nombre moyen de pucerons verts par rameau en fonction des rangs au cours de la saison 2018. A la différence de ce que l'hypothèse envisageait, c'est-à-dire un nombre moyen plus important dans le rang 8 que dans les autres rangs, les rangs 4 et 5, à certaines dates, tendent à être plus infestés que le rang 8. En revanche, les rangs 1 et 2 tendent à être globalement moins infestés.

Les pucerons des arbres fruitiers sont dans la plupart des cas dioéciques, avec migration du fruitier vers l'(les) hôte(s) secondaire(s) et retour ; le puceron vert n'a pas de phase de cycle

obligatoire sur un hôte secondaire mais peut migrer en cours de saison de l'environnement vers le pommier et réciproquement, ou entre pommiers (Hullé et al., 1998). Les choix de design du module 1 ciblaient principalement le vol de retour sur pommier à l'automne des pucerons fruitiers migrants. Cet effet ne pourra donc être évalué qu'à partir de 2019 et suivantes ; l'effet barrière attendu pourrait par exemple être plus important pour le puceron cendré dans la mesure où il ne réalise pas de dispersion intra-parcellaire à partir du pommier et que le rang R8 comporte la variété Florina, attractive pour le puceron cendré lors de son vol de retour (Rat-Morris, 1994). Cette variété pourrait renforcer l'effet barrière en agissant comme une variété piège, sans préjudice pour la production dans la mesure où elle est peu sensible au puceron cendré lors de son développement au printemps suivant.

3.3.2. Effets variétaux sur l'abondance du puceron vert et des auxiliaires

Les effets variétaux sur l'abondance des pucerons verts ont été analysés pour la saison 2018. Il est important de rappeler que la variété Akane est seulement présente sur le rang 8. Les autres variétés de pommiers (Garance, Honey-crisp, Juliet et Reine des reinettes) sont toutes présentes sur chacun des rangs 1 à 6 (cf Fig. 2). A noter que les autres variétés de pommiers

ont eu une implantation différée en raison du manque de disponibilité des plants en 2017-2018.

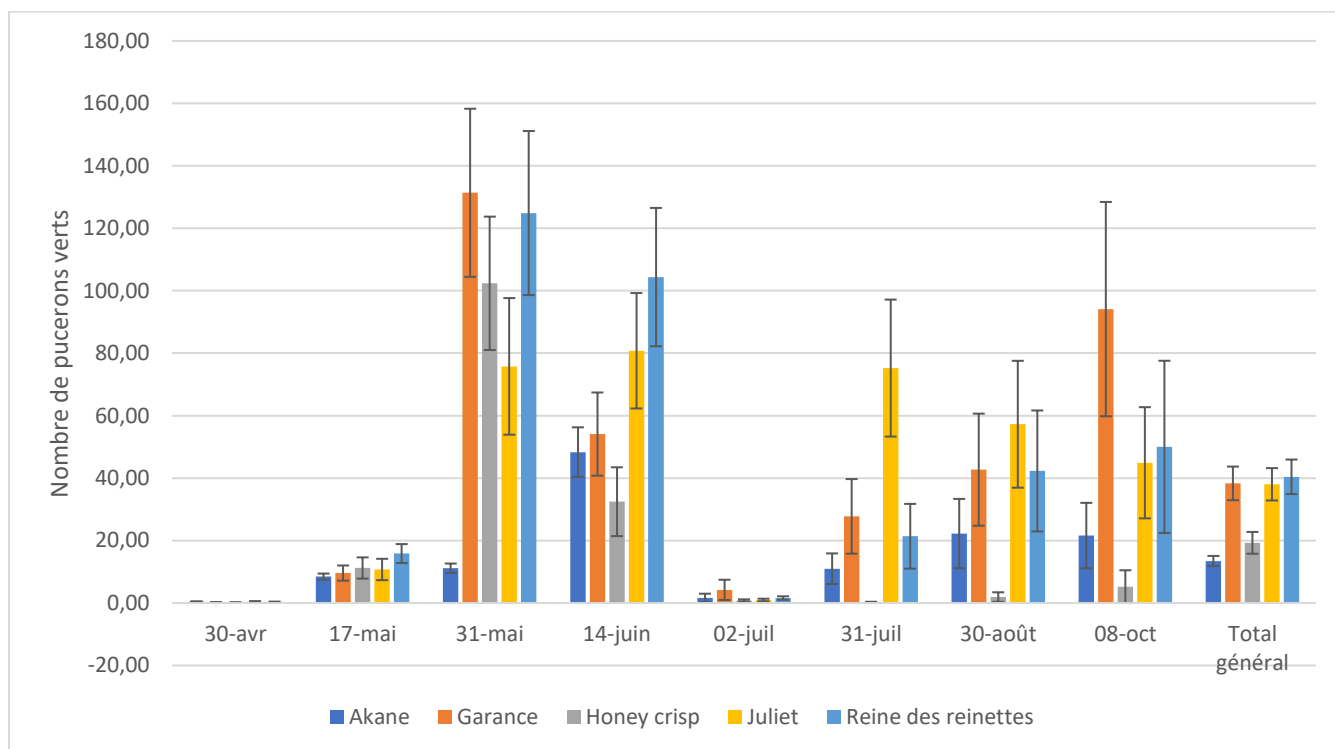


Figure 23 : Nombre moyen de pucerons verts par rameau au fil de la saison 2018 ($\pm$ erreur standard) par variété

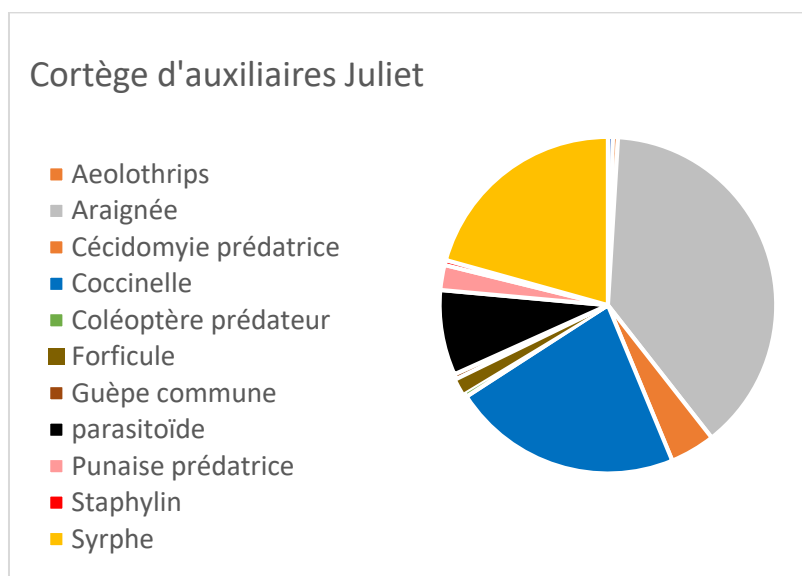


Figure 24 : Cortège d'auxiliaires sur la variété Juliet (cumul relevés saison 2018)

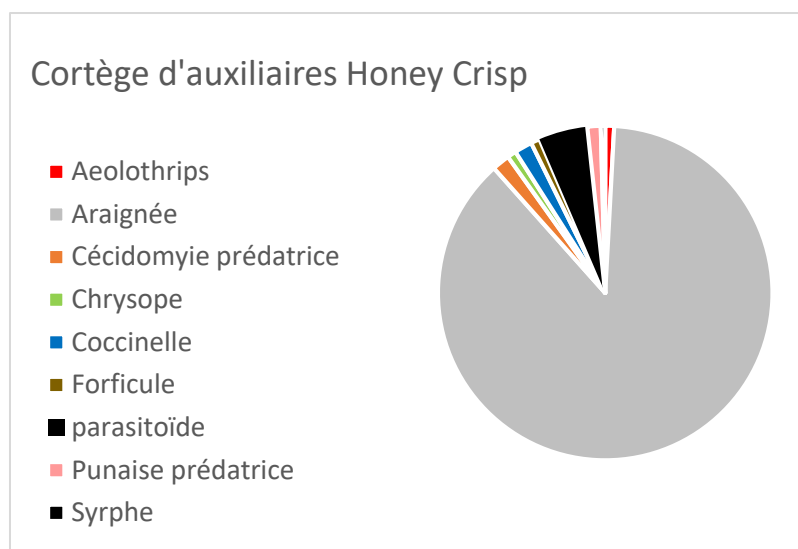


Figure 25 : Cortège d'auxiliaires sur la variété Honey Crisp (cumul relevés saison 2018)

La figure 23 montre que les variétés Akane et Honey crisp tendent à être moins infestées que les autres variétés. Ceci permet notamment d'expliquer le fait que R8 était moins infestée que les autres rangs (cf 3.3.1). L'exemple de la variété Juliet est intéressant : cette variété, particulièrement infestée, présente une abondance d'auxiliaires qui tend à être plus importante que les autres variétés notamment en fin d'été (30 août, données non présentées). Le cortège d'auxiliaires présents sur cette variété (cf Fig. 24) est également intéressant : la proportion d'aphidiphages est d'environ 47,5% tandis que le cortège d'auxiliaires présent sur la variété Honey crisp (cf Fig. 25), très peu infestée, comporte seulement 3,8% d'aphidiphages et 87,6% d'araignées, prédateurs généralistes. Ces résultats attestent de l'existence de cortèges de prédateurs différents, liés à l'abondance de proies, voire d'autres facteurs tels la proximité de ressources ou la variété de pommier dont la pilosité des feuilles est plus ou moins favorable à certains groupes d'arthropodes.

L'analyse ci-dessus présente de nombreuses limites liées au manque de recul étant donné que seules les données de la première saison après la plantation ont été utilisées. De plus, les effets barrière, dilution, piège ne peuvent pas être observés car les arbres sont encore très jeunes et certaines variétés n'étaient pas encore plantées en 2018. Malgré cela, il ressort des effets variétaux importants, qui ont une conséquence directe sur le cortège d'auxiliaires.

4. Qualité de vie au travail (QVT)

Ce paragraphe détaille la compétence choisie dans le cadre de la réflexion concernant la qualité de vie au travail et développée au cours du travail de fin d'études. La compétence

choisie est la suivante : Impliquer les salariés concernés dans l'organisation future du travail. Elle relève de l'aptitude : Intégrer les composantes humaines, organisationnelles et sociales des situations de travail dans la conception matérielle et technique des systèmes de travail. Cette compétence a été développée dans le cadre de la structuration des données et de la formalisation du pilotage. En effet, concernant la structuration des données, le collectif a été sollicité pour analyser les besoins liés aux spécificités du système ainsi que pour identifier le type de données à enregistrer. Cela s'est réalisé au moyen de deux réunions d'équipe et lors de ces réunions d'équipe, les membres du collectif ont pu échanger au regard de leurs activités régulières. De même, dans le cadre de la formalisation du pilotage, après une phase de travail personnel, l'équipe a été sollicitée pour participer à cinq temps d'échange par groupes de deux à quatre personnes compétents sur la thématique en question. D'une manière générale, l'ensemble des membres de l'équipe sont impliqués dans les phases de réflexion au travers notamment des réunions d'équipe, ces temps d'échange sont venus renforcer cette dynamique. Ces temps d'échange ont permis de faire appel aux connaissances et compétences de l'ensemble du collectif. Les conséquences de cette implication sont de deux ordres. Le premier relève de la qualité du travail réalisé : s'entourer d'une diversité de connaissances, d'expériences et de compétences a permis de mener à bien ce travail. Le second correspond à l'appropriation du travail réalisé par les membres de l'équipe. Ainsi l'équipe pourra utiliser les outils et le cadre conceptuel proposés car elle aura été impliquée depuis le début dans la démarche. Elle pourra également faire évoluer ces outils pour les rendre plus pertinents tout au long du projet Z et pour les adapter aux systèmes qui seront mis en place par la suite. Ainsi, le pilotage et l'évaluation des dispositifs sera être facilitée. Intégrer le collectif dans la réflexion a donc deux bénéfices principaux : s'entourer des compétences existantes et impliquer les personnes du collectif pour les rendre actrices du projet. Rendre les personnes actrices contribue à donner un sens à leur travail quotidien.

5. Conclusion

L'expérimentation en agroécologie implique de nouveaux systèmes de cultures et également de nouvelles manières de les piloter et d'expérimenter. L'expérimentation en agroécologie constitue donc un réel changement de paradigme. Le projet Z de Gothéron a servi de support pour une analyse de l'approche de conception – expérimentation (pilotage) – évaluation dans ce cadre d'agroécologie.

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire propose des outils et un cadre conceptuel pour aider le collectif à piloter et à évaluer un système de production de fruits diversifié et complexe afin de produire de la connaissance pour la transition agroécologique et de partager une

démarche pour la conception et l'évaluation de ce type de systèmes. Ces outils permettront au collectif d'identifier facilement les services écosystémiques à favoriser dans un contexte donné, les processus écologiques supportant ces services et enfin les pratiques associées pertinentes à mettre en œuvre. De plus, les nombreuses interactions intervenant au sein du système pourront être prises en compte. Les échanges au sein du collectif restent indispensables et permettront de mettre à l'épreuve ces outils et de les améliorer tout au long du projet. Le cadre conceptuel proposé a permis de décrire précisément les échanges tels qu'ils se déroulent, et pourra être remobilisé pour aider à la prise de décision lors de situations complexes. La base de données mise en place dans le cadre de la structuration des données contribuera à garantir le formatage des données, leur exhaustivité et leur utilisation : ceci est indispensable non seulement pour évaluer le dispositif et améliorer son pilotage mais aussi pour disséminer une démarche et la connaissance produite. La première analyse descriptive de la dynamique saisonnière du puceron vert et des auxiliaires associés sera enfin à poursuivre et compléter par des analyses statistiques portant sur une période plus longue et d'autres bio-agresseurs, afin de caractériser le potentiel de bio-régulation de l'espace de production de fruits expérimenté.

L'ensemble de ce travail met en évidence la complexité de l'agroécologie et cette complexité est présente à la fois au niveau du système en lui-même, de son pilotage et de son évaluation. L'accompagnement de porteurs de projets pour développer l'agroécologie dans les exploitations agricoles doit prendre en compte toute cette complexité. Cet accompagnement doit notamment amener les porteurs de projet à s'approprier une démarche et à saisir cette complexité et y faire face en vue de concevoir des systèmes innovants, adaptés à leur milieu dans un contexte changeant. Le développement de l'agroécologie questionne donc le développement agricole et sa capacité à transmettre une démarche et des ressources pour l'alimenter, sans proposer de solution 'clé en main'. En effet, multidisciplinarité et expertises diverses sont indispensables pour accompagner des collectifs agricoles dans la transition agroécologique. Ce développement requestionne également la recherche et l'expérimentation, ainsi que le type de connaissances nécessaires pour la transition agroécologique et la façon de produire et disséminer ces connaissances : Quels sont les acteurs à mobiliser ? Comment intégrer des connaissances de nature différente pour concevoir et piloter des systèmes en rupture ? Comment rendre compte de la démarche et produire des résultats dans un système incertain ?

Ce travail de fin d'études a enfin été guidé par plusieurs valeurs constituant la Charte d'Ethique de l'Ingénieur et détaillées dans ce paragraphe. Tout d'abord, l'ingénieur doit être un citoyen responsable au sein de la société, c'est-à-dire que son travail au quotidien doit participer aux causes communes. Le travail réalisé au cours de ces six mois de stage a porté sur un système en agroécologie dans le but, notamment, de permettre l'évaluation de sa durabilité environnementale, économique et sociale. La thématique développée dans ce travail correspond donc pleinement aux questions actuelles puisque la question de la durabilité des systèmes agricoles est au cœur des débats. L'ingénieur, en plus de son devoir envers la société, possède des compétences qui doivent lui permettre de réaliser au mieux son travail quotidien. Il doit notamment être méthodique dans sa démarche. Le travail réalisé pour mettre au point les outils détaillés dans le mémoire ou réaliser un suivi entomologique selon un protocole relève entièrement de cette valeur. En effet, que ce soit le travail de structuration des données, celui de formalisation du pilotage ou la réalisation d'observations sur le terrain qui seront ensuite saisies et analysées, une attitude méthodique et rigoureuse a été indispensable. Ceci a notamment permis de mettre au point des outils pour un système complexe en prenant en compte les besoins du collectif et d'être prospectif en anticipant leur évolution. Ces compétences ont été pleinement utilisées, mais il est nécessaire d'avoir conscience de leurs limites. Cela suppose de savoir faire appel à ses partenaires professionnels au bon moment. Cette attitude a également guidé le travail réalisé afin d'obtenir le conseil de personnes expérimentées et compétentes. En plus de faire appel aux compétences de ses partenaires professionnels, les échanges ont permis d'obtenir un regard extérieur et critique souvent bienvenu et d'ouvrir sur des dimensions ou perspectives parfois non envisagées. Pour finir, ce travail complexe a été l'occasion de faire preuve d'autonomie et de persévérance pour s'emparer d'un sujet vaste, le délimiter et répondre aux questions qui se posaient.

6. Bibliographie :

ALMOHAMAD Raki, VERHEGGEN François J., FRANCIS Frédéric, HAUBRUGE Eric. Predatory hoverflies select their oviposition site according to aphid host plant and aphid species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, [en ligne]. 2007, Vol. 125, n° 1, pp. 13-21. Disponible sur : 10.1111/j.1570-7458.2007.00596.x ISSN 1570-7458.

ALTIERI Miguel. *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. . S.l. : s.n., 2018, 1 p.

BERGERON Daniel. MIEUX IRRIGUER AVEC LES TENSIONNÈTRES. pp. 7.

CARDONA Aurélie, LEFÈVRE Amélie, SIMON Sylvaine. Les stations expérimentales comme lieux de production des savoirs agronomiques semi-confinés. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2018, Vol. Vol. 12, N°2, n° 2, pp. 139-170.

CODRON jean-marie, HABIB R, JACQUET Florence, SAUPHANOR B. Bilan et perspectives environnementales de la filière arboriculture fruitière. *Agriculture, Territoire, Environnement dans les Politiques Européennes*, 2003, pp. 31-67.

DAMOUR Gaëlle, L. NAVAS Marie, GARNIER Eric. A revised trait-based framework for agroecosystems including decision rules. *Journal of Applied Ecology*, [en ligne]. 2017, Vol. 55. Disponible sur : 10.1111/1365-2664.12986

DAPENA Enrique, MIÑARRO Marcos, BLÁZQUEZ M.D. Evaluation of the resistance to the rosy apple aphid using a genetic marker. S.l. : s.n., 1 octobre 2009,

DEBAEKE Philippe, MUNIER-JOLAIN Nicolas, BERTRAND Michel, GUICHARD Laurence, NOLOT VINCENT FALOYA Jean-Marie, SAULAS Patrick. Iterative Design and Evaluation of Rule-Based Cropping Systems: Methodology and Case Studies - A Review. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2008050>, [en ligne]. 2009, Vol. 29. Disponible sur : 10.1007/978-90-481-2666-8_43

DEYTIEUX Violaine, VIVIER C, MINETTE Sebastien, MARIE NOLOT Jean, PIAUD S,

SCHAUB A, LANDE Nathalie, PETIT Marie-Sophie, REAU Raymond, FOURRIÉ L, FONTAINE Laurence. Expérimentation de systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. 2012,

DORÉ Thierry, MAKOWSKI David, MALÉZIEUX Eric, MUNIER-JOLAIN Nathalie, TCHAMITCHIAN Agroecosystem management Marc, TITTONELL P.A. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, [en ligne]. 2011, Vol. 34, pp. 197-210. Disponible sur : [10.1016/j.eja.2011.02.006](https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006)

DURU Michel, THEROND Olivier, MARTIN Guillaume, MARTIN-CLOUAIRE Roger, MAGNE Marie-Angéline, JUSTES Eric, JOURNET Etienne-Pascal, AUBERTOT Jean-Noël, SAVARY Serge, BERGEZ Jacques-Eric, SARTHOU Jean-Pierre. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, [en ligne]. 2015, Vol. 35. Disponible sur : [10.1007/s13593-015-0306-1](https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1)

EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE Inra – Cemagref. Pesticides, agriculture et environnement. . [en ligne]. S.l. : Editions Quæ, 2011, Disponible sur : <http://www.cairn.info/pesticides-agriculture-et-environnement--9782759209354.htm> [Consulté le 12 août 2019]. ISBN 978-2-7592-0935-4.

GÓMEZ-MARCO Francesc, TENA Alejandro, JACAS J, URBANEJA Alberto. Early arrival of predators controls *Aphis spiraecola* colonies in citrus clementines. *J Pest Sci*, [en ligne]. 2015, pp. 1-11. Disponible sur : [10.1007/s10340-015-0668-9](https://doi.org/10.1007/s10340-015-0668-9)

GRIFFON Michel. Éléments théoriques en agroécologie : l'intensivité écologique. *OCL*, [en ligne]. 2017, Vol. 24, n° 3, pp. D302. Disponible sur : [10.1051/ocl/2017016](https://doi.org/10.1051/ocl/2017016) ISSN 2272-6977, 2257-6614.

HILL Stuart, MACRAE Roderick. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture - J SUSTAINABLE AGR*, [en ligne]. 1996, Vol. 7, pp. 81-87. Disponible sur : [10.1300/J064v07n01_07](https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07)

HOBBS R. J., MORTON S. R. Moving from descriptive to predictive ecology. *Agroforestry Systems*, [en ligne]. 1999, Vol. 45, n° 1, pp. 43-55. Disponible sur :

HOLE David, PERKINS A.J., WILSON Jeremy, ALEXANDER I.H., GRICE Phil, EVANS A.D. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, [en ligne]. 2005, Vol. 122, pp. 113-130. Disponible sur : 10.1016/j.biocon.2004.07.018

HULLE Maurice, TURPEAU Evelyne, LECLANT François, RAHN Marie-Jeanne. Les pucerons des arbres fruitiers. INRA, ACTA, 1998, 80p.

INRA. Développer les alternatives aux pesticides, l'affaire de tous. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/Resultats-innovation-transfert/Tous-les-dossiers/Les-rencontres-du-SIA-2019/Developper-les-alternatives-aux-pesticides> [Consulté le 12 août 2019].

LAGET Eva, GUADAGNINI Marine, PLÉNET Daniel, SIMON Sylvaine, ASSIE Gérard, BILLOTTE Bruno, BORIOLO Pascal, BOURGUOIN B., FRATANTUONO Marc, GUÉRIN Anne, HUCBOURG Bruno, LEMARQUAND Arnaud, LOQUET Bruno, MERCADAL Marion, PARVEAUD Claude Eric, RAMADE Leyla, RAMES Marie Hélène, RICAUD Vincent, ROUSSELOU Claude, SAGNES Jean-Louis, ZAVAGLI Franziska. Guide Ecophyto Fruits - Guide pour la conception de systèmes de production fruitière économes en produits phytopharmaceutiques. Guide Ecophyto Fruits - Guide pour la conception de systèmes de production fruitière économes en produits phytopharmaceutiques, GIS Fruits et Ministère de l'Agriculture(2015), 2015,

LAROUSSE Éditions. Définitions : principe - Dictionnaire de français Larousse. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/principe/63971> [Consulté le 13 août 2019].

LAURI P. E., SIMON Sylvaine, NAVARRETE M. Cayetano, PARROT Laurent René, NORMAND Frédéric, LESUEUR-JANNOYER Magalie, DEGUINE J. P. Interdisciplinarity and multiagent interactions for innovations in horticulture - paradigms beyond the words. S.l. : s.n., 2016,

MALÉZIEUX Eric, CROZAT Y, DUPRAZ Christian, LAURANS Marilyne, MAKOWSKI David, OZIER-LAFONTAINE Harry, RAPIDEL Bruno, DE TOURDONNET Stéphane, VALANTIN-MORISON Muriel. Mixing Plant Species in Cropping Systems: Concepts, Tools and Models: A Review. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2007057>, [en ligne]. 2009, Vol. 29. Disponible sur : 10.1051/agro:2007057

MÉDIÈNE Safia, VALANTIN-MORISON Muriel, SARTHOU Jean-Pierre, DE TOURDONNET Stéphane, GOSME Marie, BERTRAND Michel, ROGER-ESTRADE Jean, AUBERTOT Jean-Noël, RUSCH Adrien, MOTISI Natacha, PELOSI Céline, DORÉ Thierry. Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, [en ligne]. 2011, Vol. 31, n° 3, pp. 491-514. Disponible sur : [10.1007/s13593-011-0009-1](https://doi.org/10.1007/s13593-011-0009-1) ISSN 1773-0155.

MIÑARRO Marcos, PRIDA Eduardo. Hedgerows surrounding organic apple orchards in north-west Spain: Potential to conserve beneficial insects. *Agricultural and Forest Entomology*, [en ligne]. 2013, Vol. 15. Disponible sur : [10.1111/afe.12025](https://doi.org/10.1111/afe.12025)

MORRIS Elizabeth Rat-Morris. Analyse des relations entre *dysaphis plantaginea* pass. (insecte homoptere) et sa plante hôte *malus x domestica* borkh. : étude de la résistance du cultivar florina. S.l. : s.n., 1994,

NAVARRETE Mireille, LEFEVRE Amélie, DUFILS Arnaud, PARES Laure, PERRIN Benjamin. Concevoir et évaluer avec les acteurs des systèmes de culture adaptés à leurs cadres de contraintes et d'objectifs en production maraîchère sous abri. Mise en pratique et enseignements dans les projets GeDuNem et 4SYSLEG. *Innovations Agronomiques*, 2017, Vol. 61, pp. 33-49.

RICARD Jean-Michel, GARCIN Alain, JAY Michel, MANDARIN Jean-François. Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière. CTIFL, 2012, 472p. ISBN 9782879113258

RICCI Pierre, BUI Sybille, LAMINE Claire. Repenser la protection des cultures. *Innovations et transitions*. QUAE, Educagri, 2011, 250p. ISBN

ROUSSELIN Aurélie. Contribution des pratiques culturales (irrigation et fertilisation azotée) à la gestion des populations de pucerons en verger fruitier: Cas des systèmes pêcher - puceron vert du pêcher (*Prunus persica* - *Myzus persicae*) et pommier - puceron cendré (*Malus domestica* - *Dysaphis plantaginea*).pp. 144.

ROUSSELIN Aurélie, SAUGE Marie-Helene, JORDAN Marie Odile. Dispositif de de caractérisatioon simultanée de l'abondance de pucerons et de la croissance végétative d'arbres fruitiers. *Cahier des Techniques de l'INRA*, 2017, n° 90, pp. 1-6.

SIMON Sylvaine, BOUVIER Jean-Charles, DEBRAS Jean-François, SAUPHANOR Benoît. Biodiversity and Pest Management in Orchard Systems. *Agronomy for Sustainable Development*, [en ligne]. 2010, Vol. 30, pp. 139-152. Disponible sur : 10.1051/agro/2009013

SIMON Sylvaine, BRUN Laurent, GUINAUDEAU Johanny, SAUPHANOR Benoît. Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agronomy for Sustainable Development*, [en ligne]. 2011, Vol. 31, pp. 541-555. Disponible sur : 10.1007/s13593-011-0003-7

SIMON Sylvaine, MARLIAC Gaëlle, CAPOWIEZ Yvan. Quelles pratiques agroécologiques pour contrôler les bioagresseurs dans un système pérenne, le verger de pommiers? *Innovations Agronomiques*, 2015, Vol. 43, pp. 29-40.

TILMAN David, FARGIONE Joe, WOLFF Brian, D'ANTONIO Carla, DOBSON Andy, HOWARTH R, SCHINDLER D.W., SCHLESINGER William, SIMBERLOFF Daniel, SWACKHAMER Deborah. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science* (New York, N.Y.), [en ligne]. 2001a, Vol. 292, pp. 281-4. Disponible sur : 10.1126/science.1057544

UNIVERSALIS Encyclopædia. SYSTÈMES INFORMATIQUES - Systèmes de gestion de bases de données. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/systemes-informatiques-systemes-de-gestion-de-bases-de-donnees/> [Consulté le 12 août 2019].

WEZEL A, BELLON Stéphane, DORÉ T, FRANCIS Charles, VALLOD Dominique, DAVID Christophe. Agroecology as a Science, a Movement and a Practice. <http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009004>, [en ligne]. 2009, Vol. 29, pp. 503-515. Disponible sur : 10.1007/978-94-007-0394-0_3

ALTO Systèmes en Arboriculture et Transition agroécologique | EcophytoPIC. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.ecophytopic.fr/tr/innovation-en-marche/r%C3%A9seau-dephy/alto-syst%C3%A8mes-en-arboriculture-et-transition-agro%C3%A9cologique> [Consulté le 12 août 2019 a].

Merise (informatique). [en ligne]. WikipédiaS.l. : s.n., 2019, Disponible sur :

[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Merise_\(informatique\)&oldid=160473733](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Merise_(informatique)&oldid=160473733)
[Consulté le 15 août 2019].

Microsoft Access - Logiciel de gestion de base de données SQL. [en ligne]. Disponible sur :
<https://products.office.com/fr-fr/access> [Consulté le 12 août 2019 c].

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation - agreste - La statistique, l'évaluation et la prospective agricole - Fruits. [en ligne]. Disponible sur :
<http://agreste.agriculture.gouv.fr/conjoncture/fruits/> [Consulté le 12 août 2019 e].

Pesticides dans les eaux superficielles et souterraines des bassins Rhône Méditerranée et de Corse-2 (télécharger le document). [en ligne]. Disponible sur :
https://www.eaurmc.fr/jcms/dma_46732/fr/pesticides-dans-les-eaux-superficielles-et-souterraines-des-bassins-rhone-mediterranee-et-de-corse-2 [Consulté le 12 août 2019 g].

Production | FranceAgriMer - établissement national des produits de l'agriculture et de la mer. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.franceagrimer.fr/filiere-fruit-et-legumes/La-filiere-en-bref/Production> [Consulté le 12 août 2019 h].

Unité Expérimentale Recherche Intégrée - Gotheron - Accueil. [en ligne]. Disponible sur :
<https://www6.paca.inra.fr/ueri> [Consulté le 12 août 2019 i].

Unité Expérimentale Recherche Intégrée - Gotheron - Projet Z. [en ligne]. Disponible sur :
<https://www6.paca.inra.fr/ueri/Contrats-et-projets/Projet-Z> [Consulté le 13 août 2019 j].

Visual Understanding Environment - Download. [en ligne]. Disponible sur :
http://vue.tufts.edu/download/index.cfm?fromvue=1%2F%22%20target%3D%22_blank%22
[Consulté le 15 août 2019].

Annexes

Annexe 1 : Synthèse des comptes rendu de réunions d'équipe (extrait)

Sujet	Décisions actées	Date	Argument n°1	Argument n°2	Argument n°3	Argument n°4	Argument n°5
module 1	ilot central de biodiv	17/05/2017	biodiv				
module 1	pas d'utilisation de la plateforme	07/06/2017	tassement du sol	beaucoup de passage (maturités décalées)	impossible avec forme gobelet		
module 1	pas d'herbe en verger jeune	07/06/2017	crucial les premières années				
module 1	éviter les conduites à effet juvénilisant	07/06/2017	attaque puceron				
déplacement	pas de palissage	07/06/2017	déplacements en tout				
R6	pommier (2 variétés) + autres sp	20/06/2017	production	dilution-barrière	limiter dev		
variétés pommier - critères de choix	faible sensibilité tavelure	12/07/2017	rusticité				
variétés pommier - critères de choix	faible sensibilité puceron	12/07/2017	rusticité				
variétés pommier - critères de choix	éviter alternance, mise à fruit lente et pommes à transformer	12/07/2017	commercialisation				
variétés pommier - critères de choix	attention maladies secondaires	12/07/2017	rusticité				
abricotier	autofertile	12/07/2017	simplicité				

Annexe 2 : Opérations culturales réalisées au cours de la saison 2018 (extrait)

Date	Nom	Opération effectuée	Type	Sous type	Zone	Sous zone	Temps de Travail	Machine utilisée	Outil associé	Temps de machinisme	Quantité	Unité
22/05/2018		opération culturale	gestion_sol_r_fruitier	broyage	rang	r1-r6	1:00	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
12/06/2018		opération culturale	conduite	taille en vert	espece_fruitiere_principale	prunier	0:20	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
30/04/2018		opération culturale	gestion_sol_r_fruitier	desherbage manuel	espece_fruitiere_principale	tout fruitier principal		aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
13/11/2018		opération culturale	gestion_sol_r_fruitier	deherbage mécanique	rang	r1-r6-r8	1:00	70-14	ommas debutage	1:00	pas d'apport	pas d'apport
18/04/2018		opération culturale	conduite	ebouronnage	espece_fruitiere_principale	pêcher	0:10	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
23/08/2018		opération culturale	gestion_sol_i_r_fruitier	debroussaillage	espece_fruitiere_principale	pommier	0:30	débroussailluse	aucun	0:15	pas d'apport	pas d'apport
21/08/2018		opération culturale	prophylaxie	autre	individu	TB-R7-JUNI-27	0:05	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
15/01/2018		opération culturale	amendement	apport compost	module	module 1	1:30	fiat	épandeur à fumier	1:00	pas d'apport	pas d'apport
17/08/2018		opération culturale	gestion_sol_r_fruitier	roulage luzerne	rang	r1	0:30	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
30/04/2018		opération culturale	prophylaxie	monilia	espece_fruitiere_principale	abricotier	0:20	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
27/09/2018		opération culturale	conduite	greffage	espece_fruitiere_principale	pêcher	2:00	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
15/02/2018		opération culturale	plantation	préparation sol	rang	r9 hj	1:00	50 s	rotovator	1:00	pas d'apport	pas d'apport
19/12/2017		opération culturale	prophylaxie	campagnol	module	module 1	4:00	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport
18/06/2018		opération culturale	récolte	récolte	petit_fruitier	groseiller	1:00	aucun	aucun	0:00	pas d'apport	pas d'apport

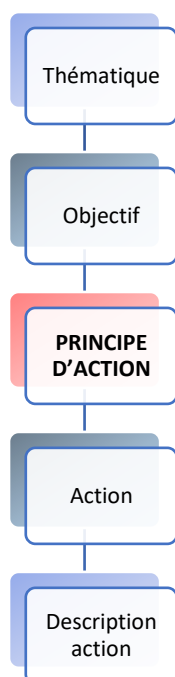
Annexe 3 : Calendrier des opérations culturales et des phases clés des cycles biologiques des principaux bio-agresseurs du pommier

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Opérations culturales	Taille	Taille hiver				Taille en vert						Taille hiver
	Fertilisation		Apport									
	Gestion rang			Gestion rang								
	Gestion i.-rang			Gestion inter-rang								
	Irrigation			Irrigation								
	Eclaircissage				Eclaircissage							
	Récolte							Récolte				
Bio- agresseurs	Puceron cendré	Œufs (bois)	Fondatrices	Colonies -> Dégâts sur poussettes et fruits					Vol de retour et pontes			Œufs (bois)
	Carpocapse	Diapause (sol, écorce)			Papillons et chenilles -> Dégâts sur fruits				Diapause (sol, écorce)			
	Tavelure	Inoculum (litière)	Contamination (lire)	Contamination (lire) -> Dégâts sur fruits								Inoculum (litière)
	Hoplocampe	Diapause (sol)		Dégâts sur bourgeons et repro			Diapause (sol)					
	Anthonome		Ponte -> Dégâts sur bourgeons			Repro - Dégâts sur fruits						
	Campagnol		Repro -> Dégât racine						Repro -> Dégât racine			

Annexe 4 : Comptes rendus des temps d'échanges

Ces temps d'échange ont pour objectif de définir des principes d'action applicables au module 1 du projet Z. (Les principes d'action identifiés pourront servir de base pour le pilotage des modules qui seront implantés par la suite.)

La notion de principe d'action se définit de cette manière : C'est un cadre qui dépend d'un objectif et qui implique une ou plusieurs actions ou non-actions. Le principe d'action définit donc des actions en vue d'atteindre l'objectif. L'objectif provient des réunions d'équipe et il est lié aux objectifs généraux du projet Z : produire de fruits sans pesticide en maximisant les services écosystémiques et en particulier le service de régulation. La carte mentale suivante schématise cela :



Carte mentale générique

La thématique est celle des différents groupes de travail : Conduite, Fertilisation, Gestion rang/inter-rang, Gestion bio-agresseurs et Irrigation. Concernant l'objectif, il peut y en avoir (un ou) plusieurs (qui *seront recherchés* de manière simultanée ou bien qui se succéderont au cours de la vie du module). Dans l'optique d'atteindre l'objectif, un ou plusieurs principes d'action sont établis. Pour un même principe ils peuvent se compléter ou bien être antagonistes. Du principe peut découler une ou plusieurs actions ou non actions et une action est décrite de manière à savoir quand et comment elle doit être réalisée.

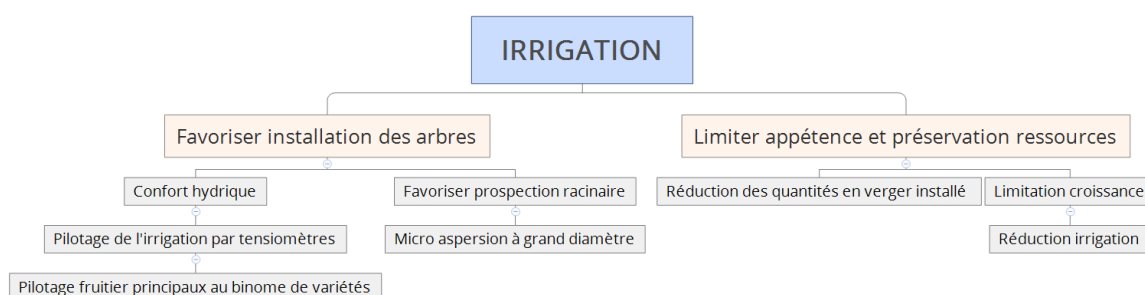
A chaque groupe de travail, une carte mentale portant sur la thématique en question a été présentée afin de présenter les objectifs, principes d'action et actions identifiés en amont via l'analyse des comptes rendus de réunions d'équipe et des actions réalisées lors de la saison 2018. La carte mentale permet donc de réaliser un état des lieux du pilotage et de constituer une base de réflexion pour l'identification de principes envisageables. Une fois que le groupe s'est bien approprié la question, un deuxième support lui est présenté dont le but est d'aider à l'identification d'actions à mettre en œuvre et qui ont un potentiel effet négatif sur les principaux ravageurs du pommier. Cette effet peut être direct comme l'élimination des pousses touchées

par l'oïdium lors de la taille ou indirect comme la taille d'hivers favorisant l'aération de l'arbre dans le but de limiter le développement de la tavelure.

Irrigation :

Il faut préciser que ce raisonnement s'est fait pour un verger situé dans une région avec un climat à tendance méditerranéenne (faible pluviométrie et forte évaporation sur la période estivale).

La carte mentale Irrigation a été présentée, deux objectifs se rapportent à cette thématique : Favoriser installation des arbres et Limiter appétence de l'arbre et préservation ressources.



Carte mentale irrigation

Différentes variables sur lesquelles on pourrait intervenir ont été citées :

- La quantité apportée par irrigation
- La quantité apportée par an
- La fréquence des apports
- L'horaire des apports

Le système d'irrigation de type micro-aspersion à grand diamètre a été choisi au moment de l'implantation avec pour objectif de **favoriser l'installation des arbres**. Pour cela on cherche à **favoriser l'homogénéité** du sol afin de **favoriser la prospection racinaire** sur l'ensemble de la surface occupée par l'arbre (c'est-à-dire largeur IR x distance entre arbres).

L'idée est la suivante, on considère le sol de la parcelle dans son **ensemble** ceci relève de l'agroécologie. On recherche donc une **homogénéité** du sol qui demande de répartir l'eau apportée sur toute la surface occupée par l'arbre pour **favoriser la vie biologique** du sol et donc sa fertilité. Si le sol est fertile la **prospection des racines** sera favorisée, l'arbre sera premièrement autonome en eau et en éléments minéraux et deuxièmement son ancrage dans le sol sera accru. La notion d'équilibre de l'arbre a également été avancée, elle consiste à dire qu'un arbre équilibré est un arbre dont le volume occupé par les parties racinaires est équivalent au volume occupé par les parties aériennes. (La recherche de l'équilibre passe également par une taille adaptée.) En situation d'équilibre l'arbre pourra prélever l'ensemble des éléments qui lui sont nécessaire et l'absence de carence le rendra plus résistant vis-à-vis des pathogènes et plus résilient en cas de perturbation.



Cependant, un arbre qui a accès à des éléments minéraux est un arbre qui est en croissance, il contient donc des tissus jeunes et riches en sucre, il est ainsi appétent pour le puceron. Dans

le cas d'un arbre adulte, il s'agirait alors de restreindre l'irrigation pour **limiter l'appétence** en **limitant la croissance**. Ceci pourrait se faire en restreignant les quantités d'eau apportées qui parallèlement permettrait de limiter la croissance aérienne au profit de la croissance souterraine. Il y a donc deux objectifs : limiter l'appétence et favoriser la prospection racinaire pour favoriser l'autonomie et l'ancrage des arbres. Les apports d'eau dans ce cas devraient être réalisés de la manière la plus précise possible, le pilotage se ferait donc au binôme de variétés en utilisant des tensiomètres. Le positionnement des tensiomètres est important, il en faudrait au pieds des arbres mais également à deux mètres du tronc et à différentes profondeurs.



Il pourrait y avoir des effets négatifs à cela, en restreignant l'irrigation l'arbre stressé aura moins de résilience face à une attaque de ravageurs comme le puceron. Il serait, dans cette configuration, préférable de favoriser la pousse pour que les dommages causés par l'attaque restent limités.

Une action brutale serait de stopper entièrement l'irrigation afin de provoquer une alternance, les années sans production il suffirait de gérer le puceron (ex : pas de taille pour pas de déclenchement de vigueur donc pb puceron limitée) et une année avec production il suffirait de gérer le carpocapse (de plus une année sans fruit l'empêcherai de se reproduire il n'y aurait donc pas de carpocapse l'année avec fruit).

Le pilotage de l'irrigation dans le but de gérer le puceron pourrait avoir des effets négatif sur la gestion d'autres ravageurs :

- Une moindre irrigation entrainerait peut-être une augmentation du taux de sucre dans les tissus ce qui pourrait davantage attirer le carpocapse.
- De plus, un sol sec limiterait les capacités de piégeage du campagnol et à l'inverse un sol humide favoriserait son développement.
- En ce qui concerne les auxiliaires, un sol sec serait surement négatif au maintien et au développement de certaines familles.

La variable heure d'irrigation a également été évoquée. Le pommier est sensible à la tavelure, (maladie se développant lorsque le feuillage est humide) il est donc nécessaire de limiter l'humidité ambiante et pour cela, l'heure d'irrigation est importante. Il faudrait alors privilégier une irrigation en fin de nuit pour que le feuillage puisse sécher rapidement. Dans le but de limiter l'humidité ambiante il pourrait être préférable de maintenir le couvert bas ce qui serait négatif pour le maintien des auxiliaires.

En ce qui concerne les fréquences d'irrigation, la connaissance du sol est importante. Il serait plus judicieux de réaliser des petits apports à fréquence élevée que de gros apports à fréquence faible en raison de la faible réserve utile du sol. Cependant, le racinaire sera en théorie moins développé dans une stratégie petite dose à fréquence élevée ce qui va à l'encontre de l'objectif de favoriser la prospection racinaire. Malgré ce qui a été acté précédemment lors des réunions d'équipe : confort hydrique les trois premières années il semble nécessaire de favoriser un ancrage important le plus tôt possible et cela d'un point de vue du vent relativement important dans notre contexte.

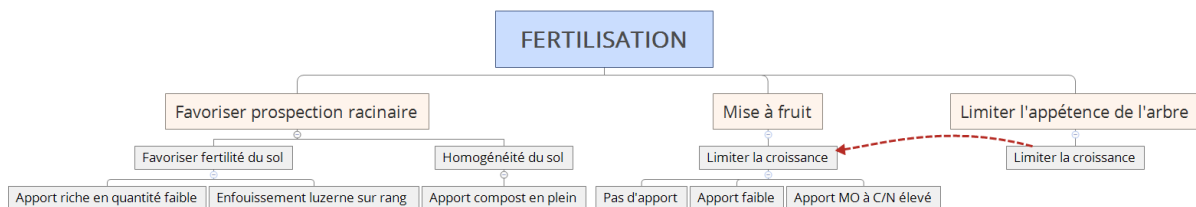
Deux effets directs ont été identifiés :

L'irrigation par aspersion sur frondaison pourrait avoir deux effets directs :

- Perturber le vol de reproduction du carpocapse
- Laver les feuilles du miellat des pucerons (piste qui semble peu réaliste)

Fertilisation :

La carte mentale fertilisation représente les objectifs se rapportant à la gestion de la fertilisation, les principes d'action qui y sont associés ainsi que les actions qui en découlent. Trois objectifs se rapportent à cette thématique : Favoriser la prospection racinaire, mise à fruit et limiter l'appétence de l'arbre.



Carte mentale fertilisation

La question de la fertilisation a amené à une réflexion portant sur la fertilité du sol. On souhaite donc favoriser la fertilité du sol, dans ce cas il est important de considérer l'ensemble des éléments minéraux nécessaire à la croissance des arbres. Par exemple la potasse est importante en ce qu'elle permet la croissance du système racinaire et cela est nécessaire pour favoriser l'autonomie et l'ancrage des arbres. Il s'agit donc de rechercher un équilibre entre les différents éléments minéraux du sol, un excès d'azote entrainera une croissance aérienne trop importante au détriment de la croissance racinaire. De plus, un sol pourvu de manière équilibré en éléments minéraux rendra les arbres d'autant plus résistant et résilients face aux attaques de bio-agresseurs. Afin de rechercher cet équilibre, une voie possible serait de mesurer précisément le taux de chaque élément dans le sol mais aussi dans les matières organiques apportées afin de compenser les manques.

La fertilité du sol renvoie également à la question de la vie biologique qui est fondamentale afin de rendre l'ensemble des éléments minéraux accessibles à l'arbre. Dans ce but, le choix a été fait de réaliser des apports riches, à petite dose et sur toute la surface afin de stimuler la vie microbienne du sol. Dans ce même but il pourrait être nécessaire de scarifier le sol pour l'aérer et limiter ainsi la présence de zones tassées. Cette pratique sernait également positive d'un point de vue de la gestion du campagnol en ce qu'elle permettrait de détruire les galeries.

Au-delà des aspects agronomique, un objectif pourrait être d'augmenter la séquestration du carbone ce qui pourrait influencer les pratiques. (Réaliser un mulch de la matière broyée pour limiter le travail du sol). Limiter les pertes en choisissant les bonnes périodes d'apport et en limitant les excès est également un objectif afin de rendre le système durable.

Afin de limiter l'arrivée et le développement des bio-agresseurs, un objectif recherché pourrait être de limiter l'appétence de l'arbre en limitant leur croissance. Il s'agirait alors de diminuer les apports, où d'induire une faim d'azote. Ce type de pratique reste toutefois délicate à mettre en place.

Un levier mobilisable serait d'apporter la matière organique assez tardivement pour que sa minéralisation se fasse après la période de présence des colonies de puceron cendré c'est-à-dire fin mai et qu'ainsi la croissance de l'arbre n'attire pas le puceron. Cependant cette pratique serait envisageable seulement en verger jeune puisque la phase de nouaison qui a lieu entre la mi et la fin avril demande beaucoup d'énergie.

Au niveau des apports, une seule forme d'apport est réalisée, il y en aurait peut-être d'autres à mobiliser (pulvérisation).

Une des conclusions de ces temps d'échange est l'importance de réaliser des mesures précises (humidité du sol, éléments minéraux) mais cela questionne notre capacité à répondre par des actions précises dans un système comme celui-ci.

Gestion Rang /Inter-rang :



La gestion de l'inter-rang a d'abord été discutée, envisager un inter-rang composé d'un ensemble d'espèces semblerait profitable pour plusieurs raisons telles que la gestion du campagnol, la concurrence sur les arbres, l'apport d'azote, la flore présente et la faune qui lui est associée.

Différents inconvénients ont été identifiés. Le premier inconvénient de cet inter-rang est qu'il est composé seulement de luzerne ce qui se rapproche d'une monoculture alors qu'un des objectifs est la diversification au sein de la parcelle. De cet inconvénient en découle un second qui correspond la présence de campagnols extrêmement favorisés par la luzerne et dont l'action peut entraîner le dépérissement des arbres. La gestion de ce couvert est faite de manière à favoriser les auxiliaires en conservant le plus possible un couvert haut or cela est défavorable à l'action des oiseaux prédateurs du campagnol mais est favorable à l'action des couleuvres.

A partir de ces constats différentes propositions ont été faites. La première consisterait à planter d'autres espèces identifiées comme répondant aux objectifs (à citer plus haut : attirer auxiliaire, pas concurrentiel en éléments nutritifs, **ne favorisant pas le campagnol**). Cette implantation pourrait se faire de différentes manières, destruction de la luzerne et re-semis d'un mélange, sur-semis d'un mélange dans luzerne, destruction de la luzerne sur certaines zones précises ou semis de différentes espèces sur différentes zones pour éviter la concurrence entre les espèces du mélange. Une espèce potentiellement intéressante serait la féverole qui par les pucerons qu'elle héberge pourrait être un moyen de détourner les fourmis.

En ce qui concerne la gestion du rang, l'enherbement total est un objectif qui sera atteint autour de la quatrième année, dans ce cas la parcelle est vue en totalité c'est-à-dire que les pratiques entre le rang et l'inter-rang sont proches. Cette gestion du rang permettra de ne pas perturber le sol dans un souci pour avoir des pratiques homogènes. Ce qui correspond à la manière de gérer la fertilisation et de l'irrigation.

Conduite :

La conduite des arbres permet d'agir à différents niveaux :

La question de l'aération a été soulevée, elle est importante car elle permet une moindre humidité au sein de l'arbre et donc des conditions moins favorables aux maladies. Cette aération s'obtient en ayant une bonne répartition des branches dans l'espace, qui consiste à limiter la présence de branches basses, à favoriser une production sur la partie extérieure de l'arbre et à favoriser une bonne pénétration de la lumière au sein de l'arbre. Ceci doit permettre

un séchage rapide du feuillage afin que la durée d'humectation permette le moins possible de contaminations par les spores.

La prophylaxie est également indispensable elle se fait en deux temps, au cours de la taille d'hivers et lors de la taille en vert. Au cours de la taille d'hivers il est possible de limiter la présence des zones abritant potentiellement des œufs de pucerons cendrés en faisant des coupes à raz. Au cours de la taille en vert, il est possible d'agir sur plusieurs bio-agresseurs qui sont le puceron cendré, l'oïdium et le zeuzère. En ce qui concerne le puceron cendré l'action consiste à éliminer manuellement les foyers si leur nombre est limité. Pour l'oïdium, il s'agit d'éliminer les pousses contaminées qui sont généralement peu nombreuses. Enfin, pour le zeuzère la prophylaxie consiste à éliminer les rameaux dépérissants qui abritent des larves.

D'une manière plus générale, la taille de formation d'un jeune arbre peut être réalisée de manière à multiplier les ramifications ce qui permet de rendre le déplacement des ravageurs plus difficiles dans l'arbre et ainsi à ralentir leur développement à limiter leurs impacts.

L'enjeu dans un système sans pesticide sera de limiter la sur-vigueur afin de rendre les arbres moins appétents pour les ravageurs. Limiter la sur-vigueur doit également permettre d'avoir des arbres assez bas et ceci fait référence à un deuxième objectif qui est de ne pas utiliser de plateforme élévatrice. Cet équipement est lourd et entraîne des tassements néfastes à la vie biologique du sol. Différents leviers peuvent être mobilisés pour limiter la sur-vigueur, ces leviers doivent être appliqués en prenant en compte la vigueur des porte-greffes utilisés et le comportement de chacune des variétés. Il est important de rappeler qu'un des porte-greffe choisit est le M106 qui est très vigoureux. Le premier levier est de favoriser la ramification afin d'avoir plusieurs points de croissance et donc une vigueur répartie sur un maximum de points. Ceci passe dans un premier temps par la sélection d'un nombre suffisant de charpentières. Dans un deuxième temps, des pincements pourront être réalisés afin de supprimer le bourgeon dominant pour que les bourgeons latents se développent et forme des rameaux. Le second levier est l'arcure des branches (en dessous de l'horizontale) pour favoriser la fructification, elle consiste à arquer la branche en dessous de l'horizontale elle peut être artificielle ou naturelle. La mise à fruit qui en résultera permettra de limiter la croissance. A partir de ceci, l'éclaircissage est un levier qui peut être mobilisé, il consiste réguler la charge en fruits en fonction de ce que l'arbre peut porter, il s'agirait donc dans ce cas à conserver une charge en fruits importante afin de ralentir la croissance de l'arbre et de favoriser l'arcure naturelle. La taille en vert peut également être mobilisée afin de supprimer des pousses vigoureuses, de cette manière on réduira la photosynthèse en diminuant le volume de feuilles. Au niveau du système racinaire, il y aurait deux pratiques qui seraient mobilisables, la première consisterait à éviter l'affranchissement (racines au-dessus du point de greffe) pour éviter la sur-vigueur résultant de cela. Le deuxième serait de couper une partie des racines pour ralentir la croissance de l'arbre mais cette pratique reste très brutale. Le but de l'ensemble de ces actions est donc d'atteindre un équilibre qui se définit par un arbre qui pousse peu, qui produit bien et qui n'alterne pas. Tout ceci reste cependant à nuancer car en fonction du comportement des variétés les pratiques mises en œuvre pourront induire une alternance, c'est-à-dire une production une année et sur deux. Ceci est négatif d'un point de vue de la conduite car les années sans production seront caractérisées par une vigueur importante qui complexifiera la gestion du verger et rendra les arbres plus appétents.

En plus de l'arcure dont il a été parlé plus haut, une autre manière de favoriser la mise à fruit est de former des rameaux courts mais cela nécessite beaucoup de travail et favorise la sur-vigueur. La taille en vert peut également être pratiquée pour permettre une coloration des fruits mais ceci est à considérer en fonction des variétés car certaines sont sensibles aux coups de soleil. Enfin l'éclaircissage pourra être mobilisé afin d'éliminer les fruits présentant des dégâts (hoplocampe, impact de grêle...)

Trop de vigueur → + de chargement → risque d'alternance → trop de vigueur 1 an/2

Peu de vigueur → peu de fruit → - d'arcure/de taille → moins appétent

La variété Florina est une variété piège, c'est-à-dire qu'elle attire le puceron cendré lors du vol de retour à l'automne mais qu'elle en empêche le développement. Dans ce cas il pourrait être profitable de renforcer cet effet piège en renforçant son effet attractif par une conduite favorisant la sur-vigueur. Au niveau de la taille cela se traduirait par des coupes sévères qui sont favorables à la sur-vigueur. Au niveau du système racinaire, l'affranchissement pourrait être réalisé afin là aussi de manière à favoriser la sur-vigueur.

La question de la résilience des arbres est également importante, elle vise à faire en sorte que malgré une attaque, les arbres puissent retrouver un équilibre. Ceci pourrait passer par une taille d'hiver en deux temps, le premier temps permettrait d'éliminer les rameaux partiellement et ceux les moins intéressants en priorité et le second temps permettrait d'éliminer le surplus de rameaux en éliminant en priorité ceux ayant reçu une attaque. De cette manière, la taille d'hiver permettra de faire une partie du travail tout en conservant un nombre trop important de rameaux ce qui permet d'encaisser une attaque.

Il a aussi été proposé de laisser le bois de taille sur place pour nourrir les campagnols et les détourner des racines des arbres

Catégorie	Opération culturelle	Indicateur	Unité						
			Module	Tiers	Portion	Rang	Espèce	Spirale ou Couple variétal	Variété
Irrigation	main d'œuvre installation	h	X						
	matériel	€	X						
	machinisme installation	h	X						
	machinisme irrigation	h	X						
	main d'œuvre maintenance	h	X						
	eau	m3, €				X		X	
	pilotage	h				X		X	
Fertilisation	main d'œuvre	h						X	
	machinisme	h						X	
	compost/fumier	t						X	
	pilotage	h						X	
	main d'œuvre	h							x
Taille	pilotage	h						X	X

Annexe 6 : Types de données à tracer (extrait)

Temporalité de saisie	Thématique de la donnée	Information enregistrée	Format de la donnée 2018	Support permanent (2019)	Format de la donnée à partir de 2019	"Réfèrent" 2019
Annuel	Communication	Fiche "communication"	Fichier informatique	Cahier de Labo, Base de données Projet Z	tableau excel	
Continu	Visites	Perceptions des visiteurs	Questionnaire papier (classeur rouge) + BDD Form _Questionnaires	Base de données Projet Z	Lien fiche visite	
Continu	Documents techniques	Fiches techniques espèces / variétés	Dossier informatique	Base de données Projet Z	lien, mots clés, structuration	
Continu	Projets + Livrables	Description projets financés + docs spécifiques au projet	Fiche papier + informatique	Base de données Projet Z	Fiche papier + informatique	
Continu	Aléa	Aléa organisationnel	/	Base de données Projet Z	tableau à voir (événements)	
Continu	Plan	Plan des IAE	Ogis, plan ppt, docs papier/scan	Base de données Projet Z	Ogis	
Continu	Conduite vergers	Décisions de pilotage / Principes d'action ou de non-action	CR informatique + Fichier Excel + CR informatique	Base de données Projet Z	Table type "recap_decisions-actées", avec nature des arguments	
Annuel ou continu	suivi rameaux	donnée issues du suivi	Papier	Base de données Projet Z	fichiers excel + BDD adaptée au format	
Continu	Travail sur la parcelle	Opérations culturales	Fichier excel	Base de données Projet Z	Fichier excel	
Continu	Intrants	composition (pour ACV)	/	Base de données Projet Z	tableau excel avec info pour 1 intrant -> renvoie à intrants dans op. culturales	
Annuel ou continu	Matériel	Investissements (amortissements)	fichier excel	Base de données Projet Z	tableau excel -> renvoie à matériel dans op. culturales	
Annuel ou continu	Rendement	Rendement fruits	papier	Base de données Projet Z		

Annexe 7 : Cahier des charges de la BDD

Contexte et définition du problème

La base de données doit permettre dans un premier temps d'enregistrer les données liées à des systèmes de production de fruit diversifiés, sans pesticide et très bas niveau d'intrant et dans un second temps d'enregistrer les données issues de ces systèmes. Ce travail s'inscrit dans un cadre de recherche-expérimentation et doit permettre de structurer l'information afin de (i) réaliser une **évaluation multicritère** de ce dispositif, (ii) constituer des **références** dans un domaine où il n'en existe pas et (iii) d'expliciter de décisionnel dans le but de proposer une **démarche générique** pour la conception et l'évaluation de tels systèmes. Les systèmes considérés étant diversifiés (mélanges d'espèces fruitières et non fruitières, mélanges de variétés...) la structure des tables de données et les formulaires de saisies doivent être adaptés afin de permettre la saisie de données **précises** et de **manière simple** pour l'utilisateur. Cette base comprendra cinq groupes de tables :

- la description du système et des éléments qui s'y rattachent
 - les opérations culturales et suivis expérimentaux réalisés
 - les échanges à visée de conception, d'élaboration et de pilotage des systèmes
 - les échanges à visée d'interaction
 - les documents support (plans, doc projet, principes)
- NB : Certaines de ces tables sont seulement informatives et permettent l'alimentation d'autres tables

Objectif du projet

Le travail doit aboutir à des formulaires permettant **une saisie rapide, facile mais la plus précise possible** des informations citées ci-dessus.

Périmètre

Saisie des données liées aux différentes parcelles (de production et support à la production) de la zone projet Z. Ceci implique une anticipation des besoins pour les modules suivants

Structuration :

Dans le cadre du projet Z, des modules sont mis en place. Un module correspond à une zone dans laquelle sont plantés des arbres fruitiers dans un cadre défini auparavant. Un module est caractérisé par une date de plantation, un cadre, un emplacement (coordonnées GPS). Le module comprend des *sous-catégories* qui correspondent à des ensembles d'arbres, regroupés pour une raison précise (même variété, même espèce, même fonction, même localisation). Un même arbre peut appartenir à plusieurs sous catégories et chaque arbre est caractérisé par une espèce, une variété, un porte-greffe, un rôle attendu, des résistances et sensibilités aux bio-agresseurs et des coordonnées GPS. Les sous-catégories vont faire l'objet d'opérations culturales. Une opération culturale est caractérisée par un intervenant, une durée, une date et un nom d'opération culturale. Une opération culturale peut nécessiter l'utilisation d'un ou plusieurs matériels, l'apport d'un intrant ou le retrait d'un extrant. Concernant le matériel, une durée d'utilisation lui est associé ainsi qu'un prix d'achat et une durée d'amortissement. Concernant l'intrant et l'extrant une quantité est associée ainsi qu'un type, un nom de variété et une catégorie (1^{er} choix, 2^{ème} choix pour les extrants de type fruit).

Description fonctionnelle des besoins

Fonction : enregistrer les éléments descriptifs du système

Objectif	Accéder facilement à un masque de saisie comprenant les informations essentielles à renseigner
Description	Une première table permettra d'enregistrer les données liées au système (emplacement, date de plantation...) et une seconde permettra d'enregistrer tous les individus qui composent le système (Numéro, coordonnées GPS, espèce, variété, PG...)
Contraintes / règles de gestion	Ce formulaire sera utilisé par plusieurs membres de l'équipe, il doit donc être facile d'utilisation.
Niveau de priorité	Priorité haute

Fonction : enregistrer les opérations culturales réalisées

Objectif	Accéder facilement à un masque de saisie comprenant les informations essentielles à renseigner
Description	L'ouverture du masque permet de fournir les informations suivantes : la date, le nom de l'opérateur, l'activité réalisée, la zone concernée, la durée de travail, la durée de machinisme et le matériel utilisé si nécessaire ainsi que la nature et la quantité d'intrant ou d'extrant si nécessaire également. Afin de permettre une saisie facile, des zones de liste intermédiaires sont créées, elles permettront d'accéder à la catégorie souhaitée et d'avoir une bonne vision des éléments à sélectionner (ex : pour une opération culturale on choisira d'abord « gestion du rang » dans une 1^{ère} liste puis « désherbage mécanique » dans une seconde. Des zones de listes intermédiaires seront utilisés pour le type d'opération effectuée ainsi que pour la zone concernée. Les informations seront saisies avec un « grain » plus ou moins fin suivant les cas, pour certaines opération le grain sera la parcelle entière tandis que pour d'autre ce sera la variété. Pour cela il est nécessaire qu'une table de la catégorie « éléments descriptifs du système » renseigne le nombre d'arbre par entité (nombre d'arbre pour module 1, pour variété akane...)

Contraintes / règles de gestion	Ce formulaire sera utilisé par tous les membre de l'équipe, il doit donc être intuitif et rapide d'utilisation. Le but serait que les opérations soient saisies directement (le jour même) sans intermédiaire papier pour éviter la perte de donnée. Créer des formulaires et une structure adaptés aux systèmes du projet Z
Niveau de priorité	Priorité haute
Fonction : enregistrer les suivis expérimentaux réalisés	
Objectif	Accéder facilement à un masque de saisie comprenant les informations essentielles à renseigner
Description	L'ouverture du masque permet de fournir dans un premier temps les informations suivantes : la date, le nom de l'opérateur, le suivi réalisé, (la durée de travail), le matériel utilisé si nécessaire. Dans un second temps et afin de permettre une saisie facile, une zone de liste permettra de sélectionner le suivi réalisé et amènera à un masque adapté à ce suivi avec les individus concernés et les données à saisir
Contraintes / règles de gestion	Ce formulaire sera utilisé par plusieurs membre de l'équipe, il doit donc être facile d'utilisation. Le but serait que les opérations soient saisies directement (le jour même) sans intermédiaire papier (agenda...) Créer des formulaires et une structure adaptés aux systèmes du projet Z
Niveau de priorité	Priorité haute
Fonction : enregistrer les échanges de discussion	

Objectif	Accéder facilement à un masque de saisie comprenant les informations essentielles à renseigner
Description	Les informations seront de 2 niveaux : dans un premier temps un formulaire permettra la saisie des échanges (date, participants, sujet, lieu...) et dans un second temps un sous formulaire permettra de saisir les décisions prises (ou non prises) avec les arguments associés.
Contraintes / règles de gestion	
Niveau de priorité	Priorité moyenne
Fonction : enregistrer les échanges de transmission/apport	
Objectif	Accéder facilement à un masque de saisie comprenant les informations essentielles à renseigner
Description	Les informations seront de 2 niveaux : dans un premier temps un formulaire permettra la saisie des échanges (date, participants, sujet, lieu...) et dans un second temps un sous formulaire permettra de saisir les retours des participants et des membres de l'équipe dans le cas de visites
Contraintes / règles de gestion	Créer des formulaires complet et intuitifs pour la saisie des CR de visite
Niveau de priorité	Priorité haute
Fonction : enregistrer les supports	

Objectif	Accéder facilement à un masque de saisie comprenant les informations essentielles à renseigner
Description	Un formulaire devra permettre de saisir les supports aux dispositifs, certains seront stockés sous forme de lien et pour d'autres un formulaire adapté sera réalisé
Contraintes / règles de gestion	
Niveau de priorité	Priorité moyenne

Règles de gestion :

La zone expérimentale Z accueille plusieurs modules.

Un module appartient à une seule zone expérimentale Z.

Un module est composé d'une ou de plusieurs échelles et une zone fait partie d'un seul module.

Une zone est composée d'une ou de plusieurs sous-zones et une sous-zone fait partie d'une seule zone.

Une sous-zone est composée de plusieurs arbres ou arbustes et un arbre ou arbuste peut appartenir à une ou plusieurs sous-zones.

Une sous-zone est composée de plusieurs IAE et une IAE appartient à une seule sous-zone.

Une sous-zone est composée de plusieurs instruments et un instrument appartient à une seule sous-zone.

Les sous-zones peuvent concerner un type d'objet parmi les trois (IAE, arbre et arbuste, instrument).

Une fiche technique permet de décrire un ou plusieurs IAE et une IAE est décrite par une seule fiche technique.

Une notice permet de décrire un ou plusieurs instruments et un instrument est décrit par une seule notice.

Une sous-zone peut faire l'objet d'une ou de plusieurs opérations culturales ou suivi expérimentaux et une opération culturelle ou un suivi expérimental peut concerner une ou plusieurs sous-zones.

Une opération culturelle ou suivi expérimental peut amener à l'utilisation de zéro ou plusieurs matériels et un matériel peut être utilisé pour plusieurs opérations culturales ou suivis expérimentaux.

Une opération culturelle ou suivi expérimental peut amener à l'apport de zéro ou plusieurs intrants et un intrant peut être apporté dans le cadre de plusieurs opérations culturales ou suivis expérimentaux.

Une opération culturelle ou suivi expérimental peut amener au retrait de zéro ou plusieurs extrants et un extrant peut être retiré dans le cadre de plusieurs opérations culturales ou suivis expérimentaux.

Une opération culturelle ou suivi expérimental peut amener à l'observation synthétisée de zéro ou plusieurs variables et une observation synthétisée peut être issue d'une seule opération culturelle ou suivi expérimental.

Une variable peut concerner un ou plusieurs bio-agresseur ou auxiliaire et un bio-agresseur ou auxiliaire peut être décrit par plusieurs variable.

Une opération culturale ou suivi expérimental peut être réalisée par un ou plusieurs intervenants et un intervenant peut participer à plusieurs opérations culturales ou suivis expérimentaux.

La zone expérimentale Z peut faire l'objet d'une ou plusieurs réunions de conception, gestion et une réunion de conception, gestion porte sur une seule zone expérimentale Z.

Un Module est conduit par plusieurs principes d'action et un principe d'action peut permettre le pilotage de plusieurs modules.

Une réunion de conception, gestion peut être alimentée par zéro ou plusieurs principes d'action et plusieurs principes d'action peuvent alimenter une réunion de conception, gestion.

Une réunion de conception, gestion peut être à l'origine d'une ou plusieurs décisions et une décision peut provenir de plusieurs réunions de conception, gestion.

Une réunion de conception, gestion fait intervenir plusieurs intervenants et un intervenant peut intervenir à plusieurs réunions de conception, gestion.

Un intervenant peut être référent pour une ou plusieurs thématique et une thématique peut se référer à un ou plusieurs intervenants.

Une décision peut entraîner zéro ou plusieurs opérations culturales ou suivis expérimentaux et une opération culturale ou suivi expérimental peut être issue de zéro ou d'une décision.

La zone expérimentale Z amène à plusieurs interactions public et une interaction public porte sur une seule zone expérimentale Z.

Une interaction public peut amener à la collecte de zéro ou plusieurs perceptions interaction et une perception interaction concerne une seule interaction.

La zone expérimentale Z est représentée par un ou plusieurs plans et un plan porte sur une seule zone expérimentale Z.

La zone expérimentale Z est représentée par une ou plusieurs photographies et une photographie porte sur une seule zone expérimentale Z.

La zone expérimentale Z est composée de plusieurs matériaux végétal et un matériel végétal compose une seule zone expérimentale Z.

La zone expérimentale Z est rattachée à plusieurs projets financés et un projet financé se rattache à une seule zone expérimentale Z.

Annexe 8 : Notice explicative des choix de structuration de la base de données

La description du système et des éléments qui s'y rattachent

Ce domaine permettra de caractériser les modules mis en place. Dans un premier temps, il s'agit de décrire la zone expérimentale du projet Z qui accueillera les modules. Elle est décrite par le nom des parcelles qui la composent. Le module quant à lui est caractérisé par un libellé, un objectif et une date de plantation et par le type de sol. L'objectif correspond à ce que l'on cherche à tester en particulier en lien avec les objectifs du projet Z qui sont : Produire des fruits sans pesticides en maximisant les services écosystémiques. En raison de la diversification au sein du module il a fallu le découper en zones qui correspondent aux échelles d'enregistrement des données dont il est question dans le paragraphe 3 (identification des données à enregistrer). Ces zones seront par exemple le rang, l'espèce, la variété. Ceci permettra d'enregistrer des données à la bonne échelle. Les zones regroupent des entités/sous-zones, ces entités sont l'ensemble des rangs pour la zone rang, l'ensemble des espèces fruitières pour la zone espèce fruitière. Ces entités/sous-zones sont donc composées pour certaines d'arbres ou d'arbustes, pour d'autres d'infrastructures agroécologiques (IAE) et pour d'autres encore d'instruments de mesure. Chaque arbre est caractérisé par une espèce, une variété, un porte-greffe, un pépiniériste, une année de plantation, une fonction et des coordonnées GPS. Chaque IAE est quant à elle caractérisée par des coordonnées GPS. Chaque type d'IAE est décrit par une fiche technique. Chaque instrument de mesure est caractérisé par des coordonnées GPS. Chaque espèce, variété et porte greffe implantés dans la zone expérimentale du projet Z est caractérisé par un nom, des fonctions et des résistances, tolérances et sensibilités aux bio-agresseurs.

Les opérations et suivis expérimentaux réalisés

L'évaluation multicritères qui sera réalisée influe sur la structuration des données en ce qu'elle demande d'enregistrer des données d'ordre environnemental, économique et social afin de calculer des indicateurs de la durabilité du système. Les opérations culturales doivent donc être enregistrées précisément afin de calculer les temps de travaux, les temps de machinisme, les rendements, les quantités d'intrant apportées. De même, des suivis expérimentaux seront réalisés pour l'évaluation des systèmes et devront être enregistrés, les données issues de ces suivis expérimentaux seront également enregistrées.

Une opération culturale ou un suivi expérimental est caractérisé par une date, un type d'opération culturale ou de suivi et un sous type d'opération culturale ou de suivi. L'opération culturale ou le suivi expérimental est réalisé par un intervenant et peut amener à l'utilisation de matériel, l'apport d'intrant, l'export d'extrait et la réalisation d'une observation.

Concernant la réalisation de l'activité, une durée lui est associée et l'intervenant est caractérisé par son nom et par la structure à laquelle il est rattaché. Un intervenant est référent pour une thématique à une année donnée.

En effet chaque heure travaillée sera comptabilisée, ceci permettra de calculer les charges économiques liées à la main d'œuvre et également de mesurer la capacité du système à créer de l'emploi.

Concernant l'utilisation du matériel, une durée d'utilisation lui est associée et le matériel se définit par un modèle, une marque, un prix et une année d'achat, une durée d'amortissement, un poids, et des indicateurs acv (conso, vitesse). la durée d'utilisation associée aux indicateurs acv permettra de calculer des indicateurs d'émission de carbone. il sera également possible de calculer la charge économique liée à l'utilisation du matériel.

concernant l'apport d'un intrant, une quantité lui est associée et l'intrant se définit par un type (fertilisant, lutte biologique, eau), un prix unitaire pour une année donnée et des indicateurs

acv. au niveau de l'export, une quantité est associée à l'extrait qui se définit par un type (fruit, ...), une espèce (pomme, pêche...), une variété si besoin, une catégorie si besoin également (1er choix, 2ème choix) et un prix unitaire avec la source du prix et l'année. Il sera donc possible de calculer des charges économiques liées aux intrants et des recettes liées à la vente des produits exportés.

Concernant l'observation, un registre pour définir la donnée observée (agronomique, environnementale) lui est associé ainsi qu'une valeur obtenue à l'issue de l'observation à laquelle une unité est ajoutée. Le laboratoire d'analyse est également renseigné si besoin et commentaire peut être apporté.

Ceci est à voir du point de vue des opérations culturales et du pilotage du système, le temps de travail, les apports, exports et l'utilisation de matériel pour les suivis expérimentaux ne sera pas pris en compte dans cette évaluation multicritères.

Les suivis expérimentaux permettront de suivre d'autres indicateurs (liste) en lien avec l'évaluation multicritère. Ils permettront de suivre également les dynamiques ravageurs et auxiliaires au travers d'un ensemble de suivis.

Ce projet requestionne également l'expérimentation, la dimension spatio-temporelle est à prendre en compte et cela se fera notamment au moyen de photographies. La photo est donc une donnée expérimentale, elle sera essentielle pour décrire l'évolution dans l'espace, au cours du temps des différentes strates qui composent le module. Il faut distinguer deux catégories de photos, les photos dont il est parlé ci-dessus qui permettent de représenter les modules à une échelle parcellaire ou supra-parcellaire et les photos qui constituent des données expérimentales (photos issues des pièges photos). L'échelle et la finalité de ces photos permettent de les distinguer. Les photos supra parcellaire permettent

Les échanges à visée de conception, d'élaboration et de pilotage des systèmes

Au cours de ces réunions de conception et de gestion de système, des décisions peuvent être prises, une réunion se caractérise par une date, un compte rendu, un statut (échange interne ou externe) et un lieu. Le contexte influence d'une manière générale la prise de décision, il est donc nécessaire de caractériser les éléments du contexte qui ont influencé la décision. Les éléments du contexte peuvent se rapporter aux processus liés aux services écosystémiques, à des éléments d'ordre organisationnels et à des événements météorologiques. La décision prise est donc caractérisée par une phrase détaillant le choix, la référence qui a été utilisée (bibliographie, consultation d'un expert) et les éléments du contexte au travers d'arguments. Parmi les arguments, on distingue les arguments prioritaires au nombre maximal de deux, classés par ordre d'importance et les arguments secondaires au nombre maximal de cinq classés également par ordre d'importance et qui permettent de justifier le choix. Enfin un commentaire peut être ajouté à la décision pour apporter une éventuelle précision supplémentaire. Parmi les décisions, certaines se rapportent au pilotage du système, une décision de pilotage est issue d'une réflexion portant sur les principes d'action. Les principes d'action sont caractérisés par les objectifs auxquels ils se rattachent et les propositions d'action qu'ils entraînent. De plus, l'origine du principe d'action (réunion, recherche bibliographie), le lien vers le document qui a permis sa construction, le numéro de version et la date de version sont également renseignés pour caractériser le principe. Si la décision de pilotage est à l'origine d'une action, il convient alors de tracer cette information en identifiant quelle décision a été à l'origine de quelle(s) action(s). Afin d'acquiescer ce recul il est primordial de tracer les opérations culturales réalisées avec la réflexion et la décision qui les accompagnent. Le pilotage de ce système sera donc évolutif et se fera dans une logique pas à pas.

Les échanges à visée d'interaction

Une interaction se définit par un lieu, une date, un support, un format et un type de public. A l'issue de l'interaction, un questionnaire peut être adressé au public et aux intervenants afin de connaître leur avis et d'éventuelles propositions qui pourraient être faites en lien avec la conception ou le pilotage des modules.

<u>Auteur</u> : Pierre-Joël SALLÉE	Années 2014-2019	Confidentiel : Non
THEME : Recherche/Développement		
<u>Titre</u> : Du pilotage à l'évaluation d'un système de production de fruits innovant – Cas d'étude du dispositif expérimental agroécologique ALTO de l'INRA Gotheron (Drôme) <u>Title</u>: From management to assessment of an innovative fruits production system – Case study of the agroecological experimental trial ALTO of INRA Gotheron (Drôme) <u>Mots clés</u> : Agroécologie, verger innovant, pilotage, évaluation <u>Key-words</u>: Agroecology, innovative orchard, management, assessment <u>Résumé</u> (10-15 lig) : La filière fruit est très dépendante de l'utilisation de produits phytosanitaires, qui impactent l'environnement et la santé humaine. L'agroécologie est une réponse pertinente à ces constats et implique de repenser les systèmes de production. Dans ce contexte, un verger très diversifié sans pesticides a été mis en place en 2018 à l'INRA de Gotheron (Drôme, projet ALTO). Son agencement a été réfléchi pour favoriser les services écosystémiques et notamment les régulations naturelles. Le pilotage de ce verger diversifié est complexe et demande de mobiliser diverses connaissances et l'expertise du collectif pilote. Son évaluation multicritères s'appuie par ailleurs sur la collecte de nombreuses données de nature variée. Ce travail propose des Outils d'Aide à la Réflexion évolutifs pour accompagner la prise de décision de pilotage et une base de données relationnelle pour structurer les données acquises en vue de répondre aux enjeux de production, de partage et de dissémination de connaissances. Un premier aperçu de la capacité du dispositif à limiter les bio-agressions est donné pour le puceron en 2018. L'ensemble de ces éléments constitue des supports opérationnels d'action et de réflexion pour se questionner, échanger et expérimenter dans la durée à propos de systèmes agroécologiques complexes. <u>Summary</u>: Fruit production relies on a heavy use of pesticides that affects the environment and human health. Agroecology is a relevant way to tackle such situation and implies to change production systems. A highly diversified pesticide-free orchard was planted in 2018 at INRA Gotheron (Drôme, ALTO project). The design aims at maximizing ecosystem services, especially pest control. Managing a diversified orchard is complex and requires diverse knowledge and the experimental collective's expertise. The multicriteria assessment also requires the collection of a variety of data. This work proposes evolving Decision-Making supporting Tools to help manage the experimental system and a relational database to structure acquired data in order to respond to knowledge production and sharing, and dissemination issues. A first insight in the pest suppressive dimension of the system is given for aphid in 2018. All these elements provide operational tools for decision-making and management to question, exchange about and experiment long-term complex agroecological systems.		
Nombre total de volumes : 1		
Nombre total de pages du document principal : 50		
<u>Demandeur</u> : INRA de Gotheron – SAINT-MARCEL-LES-VALENCE		