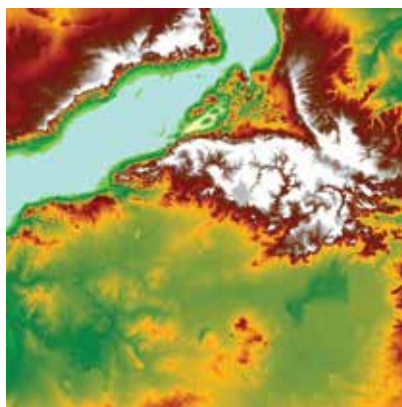


FAO PRODUCTION ET SANTÉ ANIMALES



# manuel

LA CONDUITE  
D'ÉVALUATIONS NATIONALES  
DES ALIMENTS POUR ANIMAUX



**Photos de couverture:**

Image de gauche: ©ChristopheB - Fotolia.com

Image de droite: ©Jay P. Angerer

Image du milieu: ©FAO

LA CONDUITE  
D'ÉVALUATIONS NATIONALES  
DES ALIMENTS POUR ANIMAUX

---

### Citation recommandée

**FAO.** 2014. *La conduite d'évaluations nationales des aliments pour animaux*, par Michael B. Coughenour & Harinder P.S. Makkar. Manuel de Production et de santé Animales FAO No. 15. Rome, Italie.

### Auteurs

#### **Michael B. Coughenour**

Natural Resource Ecology Laboratory  
Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.  
mikec@nrel.colostate.edu

#### **Harinder P.S. Makkar**

Fonctionnaire chargé des Productions Animales  
Division de la Production et de la Santé Animales  
FAO, Rome, Italie  
Harinder.Makkar@fao.org

L'édition originale de cet ouvrage a été publiée en anglais par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture sous le titre *Conducting National Feed Assessments*. 2012. FAO Animal Production and Health Manual No. 15.

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les vues ou les politiques de la FAO.

ISBN 978-92-5-207332-1 (version imprimée)  
E-ISBN 978-92-5-208515-7 (PDF)

© FAO, 2014

La FAO encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Sauf indication contraire, le contenu peut être copié, téléchargé et imprimé aux fins d'étude privée, de recherches ou d'enseignement, ainsi que pour utilisation dans des produits ou services non commerciaux, sous réserve que la FAO soit correctement mentionnée comme source et comme titulaire du droit d'auteur et à condition qu'il ne soit sous-entendu en aucune manière que la FAO approuverait les opinions, produits ou services des utilisateurs.

Toute demande relative aux droits de traduction ou d'adaptation, à la revente ou à d'autres droits d'utilisation commerciale doit être présentée au moyen du formulaire en ligne disponible à [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request) ou adressée par courriel à [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO ([www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)) et peuvent être achetés par courriel adressé à [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org).

# Contents

Avant-propos	v
Remerciements	vii
Acronymes	viii
Introduction	ix
Objet et structure de ce manuel - Une feuille de route	xv
<b>SECTION I</b>	
<b>État des connaissances</b>	<b>1</b>
1 Tendances de la demande en aliments pour animaux	3
2 Évaluation des provisions d'aliments pour animaux en relation avec des demandes croissantes	7
3 Un résumé des études de cas sur les évaluations nationales, régionales et mondiales des aliments pour animaux	11
<b>SECTION II</b>	
<b>Méthodologies et Lignes Directrices</b>	<b>25</b>
4 Une synthèse des méthodologies disponibles pour les évaluations nationales des aliments pour animaux	27
5 Directives pour le développement des Systèmes d'Évaluations Nationales des Aliments pour Animaux (SENAA) et la mise en œuvre d'Évaluations Nationales des Aliments pour Animaux	39
6 Références pour les Sections I et II	57
<b>SECTION III</b>	
<b>Études de cas</b>	<b>63</b>
7 Croissance de la demande en denrées alimentaires d'origine animale: implications pour la production d'aliments pour animaux	65
8 Le bilan en aliments pour animaux de la Suisse	73
9 L'inventaire indien des aliments pour animaux	81
10 Système de surveillance pastorale et inventaire des aliments pour animaux du Sahel	89

<b>11 Développement et application des techniques de suivi des parcours basées sur l'observation de la Terre en Namibie</b>	<b>101</b>
<b>12 Le système d'alerte précoce pour le fourrage du bétail au Gobi</b>	<b>123</b>
<b>13 Inventaire des aliments pour le bétail sur le Plateau tibétain par télédétection et observation <i>in situ</i></b>	<b>141</b>
<b>14 Le développement des bilans en aliments pour animaux</b>	<b>153</b>
<b>15 L'utilisation de la simulation par modélisation des écosystèmes pour évaluer les disponibilités en aliments pour les grands herbivores des territoires hétérogènes</b>	<b>163</b>
<b>16 Technologies, outils et méthodologies pour l'évaluation fourragère dans les pâtures et parcours</b>	<b>177</b>

---

# Avant-propos

La demande pour les produits d'origine animale s'accroît dans le monde, du fait de l'augmentation de la croissance de la population, de l'urbanisation, et de l'élévation du revenu. Les limites des systèmes de productions animales se rapprochent si elles ne sont pas déjà franchies, à cause des besoins accrus en aliments pour animaux vis-à-vis de leur disponibilité. Des évaluations précises des fournitures et demandes actuelles et futures des aliments pour animaux sont nécessaires à la politique et la planification nationale de sécurité alimentaire, ainsi que l'établissement de densités d'occupation d'animaux durables pour l'environnement. Les ressources nationales en aliments pour animaux doivent être évaluées et contrôlées afin de procurer l'information utile pour le développement et la mise en œuvre de politiques appropriées qui contribueront à un développement durable des secteurs nationaux d'élevage.

Un large éventail de situations alimentaires existent pour les animaux à travers les différents pays, les environnements, et les systèmes de production animale qui sont classés en systèmes pastoraux spatialement extensifs jusqu'aux systèmes intensifs associant les cultures des céréales et l'élevage, et, finalement, aux systèmes sans terre extrêmement intensifs dans lesquels les animaux sont entièrement nourris avec des aliments transportés. Les systèmes mixtes d'élevage agriculture concernent le plus de populations, le plus d'animaux et sont les plus productifs. Pour ces systèmes, il faut nécessitent une évaluation continue des aliments pour animaux pour soutenir une utilisation des terres plus efficace et plus respectueuse de l'environnement et des moyens d'existence améliorés. Ce sont des systèmes variés et complexes avec de larges gammes de sources et de types d'aliments pour animaux qui doivent être quantifiés à partir de données diverses provenant d'enquêtes sur les ménages, de statistiques agricoles, d'études de marché et d'utilisation des sols. Par contraste, les systèmes spatialement extensifs nécessitent des déplacements des animaux sur de grandes étendues de productivité relativement basse dans des environnements où l'agriculture basée sur les cultures n'est pas faisable. Dans ces environnements, les données de télédétection doivent se combiner à la modélisation et aux données terrestres pour contrôler la production de fourrage dans des régions étendues, hétérogènes et souvent éloignées.

Le but de ce manuel est de donner une orientation et des outils aux pays pour développer des Évaluations Nationales de leurs aliments pour animaux, basées sur les connaissances déjà acquises des approches actuelles à travers une large gamme de situations. Ces situations d'aliments pour animaux aux niveaux mondial et national ont été revues pour souligner les besoins d'évaluations quantitatives des aliments pour animaux à la fois dans les pays développés et en développement. Des directives générales pour le développement de Systèmes nationaux d'évaluation des aliments (SNEAA) pour animaux sont fournies et suivies d'études de cas détaillées, ainsi que des descriptions de méthodologies expérimentées dans divers pays à travers le monde. Les études de cas comprennent des exemples de système de production spatialement intensifs et extensifs, ainsi que de pays hautement

développés et en développement. Basé sur les conclusions d'un groupe d'experts réuni à Rome en novembre 2010, un ensemble de procédures pas à pas recommandées est fourni pour effectuer des évaluations nationales des aliments pour animaux (ENAA). Elles incluent des méthodes pour les planifications, établissement et mises à jour.

**Berhe G. Tekola**

Directeur

Division de la Santé et des Productions Animales



# Remerciements

Les auteurs principaux désirent exprimer leur reconnaissance à tous ceux qui, avec diligence et excellence, ont contribué au contenu de ce document. Ils désirent également remercier les participants de la Réunion d'experts tenue à Rome en novembre 2010, comprenant les contributeurs à ce document, mais aussi les participants suivants qui n'ont pu s'y associer directement, à savoir; Pedro Argel, Gonzalo Mata, William Thorpe et Bruce Pengelly. Ils remercient Badi Besbes, Lark Powell, Datta Rangnekar et Ghulam Habib, pour leurs révisions consciencieuses et précieuses et leurs apports dans l'édition. Merci également à Philippe Ankers, pour ses commentaires critiques et ses suggestions, qui ont substantiellement amélioré le document. Ils désirent également remercier Samuel Jutzi et Simon Mack pour leur support à ce travail.

# Acronymes

<b>ACF</b>	Action Contre-la-Faim
<b>ADDS</b>	Africa Data Dissemination Services
<b>ALMANAC</b>	Agricultural Land Management Alternatives with Numerical Assessment Criteria
<b>ARTEMIS</b>	Advanced Research & Technology for Embedded Intelligence and Systems
<b>AVHRR</b>	Advanced Very High Resolution Radiometer
<b>DAOA</b>	Denrées Alimentaires Origine Animale
<b>ED</b>	Énergie Digestible
<b>EM</b>	Énergie Métabolisable
<b>EN</b>	Énergie Nette
<b>ENAAAs</b>	Évaluations Nationales des Aliments pour Animaux
<b>FAO</b>	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
<b>FNIRS</b>	Faecal NIRS (spectroscopie par réflectance près de l'infrarouge)
<b>NOAA AVHRR</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration Advanced Very High Resolution Radiometer
<b>NOAA-HRPT</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration - High Rate Picture Transmission
<b>OMM</b>	Organisation Météorologique Mondiale
<b>ONG</b>	Organisation Non Gouvernementale
<b>PIB</b>	Produit Intérieur Brute
<b>PMS</b>	Productivité en Matière Sèche
<b>PHYGROW</b>	Phytomass-Growth Simulator Model
<b>SAP</b>	Système Alerte Précoce
<b>SENAAs</b>	Systèmes d'Évaluations Nationales des Aliments pour Animaux
<b>SLAM</b>	Spatial Livestock Allocation Model
<b>USAID</b>	Agence des États-Unis pour le développement international (U.S. Agency for International Development)
<b>USDA</b>	Département de l'Agriculture des États-Unis (U.S. Department of Agriculture)

---

# Introduction

## **QUE SONT LES ÉVALUATIONS NATIONALES DES ALIMENTS POUR ANIMAUX ET LES SYSTÈMES NATIONAUX D'ÉVALUATION DES ALIMENTS POUR ANIMAUX?**

Pour simplifier, une *Évaluation Nationale des Aliments pour Animaux (ENAA)*, est une analyse de données informatisée des apports et besoins alimentaires pour des animaux dans un pays donné où l'élevage concerne les animaux comprennent bovins à lait et à viande, ovins, caprins, buffles, porcs, équidés et volailles. Les aliments à usage humain comprennent une part substantielle de produits animaux, qui, de leur côté, proviennent d'une large variété d'aliments végétaux consommés; Les statistiques agricoles nationales ont pour objectif d'évaluer la sécurité alimentaire, mais souvent, n'incluent que les apports alimentaires pour animaux et non les offres en matériaux végétaux nécessaires à leur entretien. Une ENAA comble cette lacune en déterminant la quantité totale d'aliments disponible pour les besoins nutritionnels des animaux; Ainsi doivent être calculés à la fois les apports et les besoins alimentaires des animaux. Il s'agit d'un travail complexe car les aliments des animaux sont très diversifiés et difficilement quantifiables; ils peuvent, soit ne pas être directement mesurés, soit largement répandus au sein de pâturages extensifs ou de large parcours difficilement contrôlables.

Un *Système d'évaluation nationale des aliments pour animaux (SENAA)* est un ensemble complet de procédures, d'équipements, d'outils de personnel d'organisations et d'institutions impliqués dans la collecte, la gestion et le traitement des données nécessaires au calcul et à la compilation des apports alimentaires pour les animaux à travers toutes les sources et pour tous les types d'animaux à travers un pays. Il s'agit d'un système, au sens où ils ne représentent pas seulement la somme de ses parties. Il comprend de nombreuses composantes interactives qui s'intègrent pour aboutir à un produit commun: une Évaluation Nationale d'Évaluation des Aliments pour animaux.

## **POURQUOI LES ÉVALUATIONS SONT-ELLES NÉCESSAIRES?**

La croissance de la population et du revenu, jointe à l'urbanisation, engendrent une énorme augmentation de la demande en produits animaux. Les limites des systèmes de production animale ont été approchées, sinon dépassées par les demandes accrues en aliments pour les animaux par rapport à leur disponibilité. La situation est particulièrement critique dans les pays en développement. La demande accrue en produits animaux a des implications de grande portée pour le bien-être humain, la socio-économie, l'utilisation du sol, l'environnement et la santé animale. Des évaluations précises des apports et des besoins présents et futurs en aliments des animaux sont nécessaires pour les politiques et la planification de la sécurité alimentaire. De même que pour la mise en place de charge d'animaux supportable, les ressources alimentaires pour les animaux doivent être évaluées et contrôlées afin de procurer une information pertinente, pour le développement et l'exécution de politiques aptes à contribuer au croît sup-

portable des secteurs nationaux de l'élevage. Ces évaluations fourniront l'information sur les disponibilités des ressources alimentaires animales, permettant les prises de décisions optimales sur l'utilisation de celles-ci.

L'information obtenue à partir des inventaires en ressources alimentaires animales seront très utiles pour les décideurs politiques, les agences gouvernementales ou non (ONG), les agences inter-gouvernementales et les agences de développement afin de formuler et exécuter des activités de développement durable de l'élevage et pour se préparer et s'adapter à des variations climatiques comme les sécheresses, les inondations, les conditions hivernales sévères, au changement climatique au niveau mondial. Les évaluations spatiales et temporelles des ressources alimentaires pour les animaux présentes ou prévisibles incluant les ressources fourragères, pourront aider à la prise en charge des désastres et la mise en place des politiques appropriées. Les évaluations alimentaires interviendront dans la prise de décisions relatives à la nature et aux quantités de ressources disponibles, pouvant être localement commercialisées, aux zones proposées à des marchés potentiels, ainsi qu'à leur possibilité d'importation et d'exportation. Les estimations de ces ressources et de leurs besoins sont nécessaires pour évaluer les quantités de grains pouvant être utilisés pour l'alimentation animale.

Quoique des disettes en ressources alimentaires aient clairement ralenti la production dans de nombreux pays, leurs impacts au niveau national ont été peu caractérisés du fait du manque d'ENA. D'autre part, l'information sur la disponibilité en composants alimentaires au niveau national conduit à une meilleure efficacité et productivité de l'industrie des aliments pour animaux et assiste les chercheurs dans la formulation de stratégies alimentaires durables. Une telle information permettra également aux pays de déterminer les relations ressources/produits telles pour que les quantités de protéines comestibles obtenues vis-à-vis des apports protéiniques fournis. Ces estimations vont également améliorer la précision des impacts de l'élevage sur l'environnement, provenant des transformations de l'utilisation des sols, ainsi que des émissions de gaz à effet de serre, et d'autres éléments, tels l'azote, associés à la production animale. La production et la consommation de ressources alimentaires vont affecter significativement le pouvoir de séquestration du carbone de certains écosystèmes. Les équilibres alimentaires basés au niveau national sur les données des inventaires vont faciliter la planification au sein de l'industrie animale, en déterminant par exemple les charges de animaux en relation avec les ressources existantes, et en identifiant quelles ressources alimentaires pourraient être développées pour atteindre les objectifs de production.

De tels efforts pourront, à leur tour, aboutir à une sécurité alimentaire équilibrée, associée à un environnement durable. Il existe un large spectre de situations alimentaires pour les animaux, tant au niveau mondial qu'au sein des pays, variant de l'utilisation intensive d'aliments tirés des cultures et de prairies jusqu'à celle d'herbage et de parcours extensifs. Les disponibilités en terres et en eau représentent des contraintes clés à la production d'aliments alternatifs pour les ruminants dans les systèmes les plus intensifs. Une approche structurée doit être planifiée pour résoudre les problèmes de croît efficace avec des répercussions sociales et environnementales minimales. En régions arides et semi-arides les pastoralistes font paître leurs animaux dans des systèmes extensifs de parcours caractérisés par de larges déplacements saisonniers. La production de fourrage est fortement limitée par les précipitations variables dans l'espace et le temps. La connaissance de la biomasse disponible, et

sa distribution, peut aider les pastoralistes à diriger leurs déplacements, ainsi qu'à préciser des périodes de verdure ou d'achat d'animaux, ainsi qu'à évaluer le niveau de risque pour la prise de décision. Les évaluations alimentaires sont nécessaires pour procurer une information utile aux organisations d'aide alimentaire, aux pastoralistes, aux gouvernements et aux agences.

La perspective d'une demande accrue en aliments soulève la question de savoir, comment ces besoins seront satisfaits. Des approches systématiques pour évaluer les apports en aliments des animaux sont relativement peu développées par comparaison aux programmes à long terme inventoriant la productivité agricole (e.a. FAO, 1994, 2010). De plus, la quantification des aliments à usage animal se révèle plus contestable que la quantification de la production céréalière pour nombre de raisons. Les besoins en données et les difficultés s'accroissent avec l'implication d'un autre niveau trophique. Des données sont ainsi nécessaires pour la production de nombreux composés alimentaires dérivés et les disponibilités fourragères. De nombreux résidus de cultures et sous-produits utilisés comme fourrage ne sont pas quantifiés car ils n'ont pas de valeurs marchandes immédiates. De nombreux facteurs additionnels, peu quantifiables, restreignent l'accès aux fourrages dans les pâturages et parcours extensifs.

Une enquête récente a été menée par le Projet d'Innovation de données sur l'élevage en Afrique, chez les propriétaires d'animaux afin d'identifier les domaines essentiels pour lesquels une information sur les animaux est requise (Pica-Ciamarra *et al.*, 2012). L'enquête a couvert 641 participants. Au sein des gouvernements les données et indicateurs sont utilisées à trois fins principales: politique et planification (44%), projets de développement (33%) et recherche (30%). Les ONG, Donateurs et organisations internationales utilisent en priorité les données et indicateurs pour élaborer et exécuter des projets de développement (31%); les compagnies privées pour formuler des projets d'investissements (76%); les chercheurs pour leurs investigations (67%) et pour formuler et exécuter des projets de développement (39%). Parmi les 15 types différents de données sur les animaux, celles relatives aux ressources alimentaires étaient classées quatrièmes en importance, après la santé animale, la production de viande et la population animale. La production laitière était classée cinquième. Les participants ont également classifié divers types de données nécessitant des améliorations qualitatives et quantitatives. Les données sur les aliments des animaux furent classées troisièmes par ordre d'importance.

Sur la base d'une évaluation de la situation alimentaire globale actuelle des animaux, telle que présentée dans ce manuel, il apparaît clairement que les ressources alimentaires plus spécialement celles qui soutiennent la croissance rapide des systèmes de production intensive des pays en développement, doivent être évaluées et contrôlées afin de fournir l'information utile au développement et l'exécution des décisions politiques appropriées pouvant contribuer à la croissance durable du secteur mondial de l'élevage. Les évaluations vont procurer l'information sur les disponibilités alimentaires permettant l'élaboration de politiques appropriées pour l'utilisation de ces ressources. Ces évaluations vont appuyer le développement de stratégies alimentaires optimales et donc la sécurité alimentaire, l'aptitude à composer avec des situations d'urgence de coupures alimentaires, l'aptitude de procurer des données sur les apports au niveau national au sein des analyses alimentaires besoin-production, et la capacité d'évaluer les impacts des animaux sur l'environnement.

Une grande variété de situations alimentaires des animaux se rencontrent à travers les différents pays, environnement et systèmes de production animale (Thornton *et al.*, 2002, 2003, 2006). Un gradient hiérarchique existe depuis les systèmes pastoralistes extensifs jusqu'aux systèmes s'intensifiant progressivement avec une association entre agriculture et élevage, et enfin jusqu'aux systèmes purement intensifs et sans terre dans lesquels les animaux sont nourris entièrement avec des intrants transportés. Les systèmes spatialement extensifs sont rencontrés typiquement en environnement aride et semi-aride, ou dans certains environnements à variations thermiques limitées avec de courtes saisons de croissance végétative.

Les systèmes spatialement extensifs requièrent des déplacements d'animaux sur de larges zones de productivité relativement faible, dans des environnements où l'agriculture n'est pas possible. Il a été difficile d'évaluer la disponibilité fourragère dans de tels environnements, vu les difficultés de contrôles sur des zones étendues, hétérogènes et souvent reculées. Bien plus, la production du fourrage est une mesure insuffisante de la disponibilité fourragère dans de tels environnements car cette disponibilité est restreinte par l'eau de boisson, la topographie et d'autres facteurs affectant les déplacements des animaux. La variabilité temporelle de la ressource alimentaire dans de tels environnements est hautement importante, car la disponibilité varie suivant les saisons et les variations de précipitations, la couverture neigeuse, et la disponibilité en eau. Dans de tels environnements, la sécurité alimentaire est souvent précaire par des sécheresses ou des conditions météorologiques hivernales sévères. Ces systèmes sont souvent altérés par la compétition croissante pour la terre, la sédentarisation et la restriction des déplacements. Il existe ainsi un besoin pour des évaluations des ressources alimentaires pour les animaux, capables d'identifier la biomasse fourragère sur de grandes étendues en prenant en compte la variabilité temporelle et les contraintes de disponibilité. Dans de tels environnements, ce sont les systèmes d'élevage associés à l'agriculture qui regroupent le plus d'intervenants, le plus d'animaux et la meilleure productivité.

Ils doivent faire face à des demandes accrues en aliments, spécialement d'origine animale, ainsi qu'à l'accroissement des populations humaines et animales. D'où leur dynamisme. Par ailleurs, les systèmes d'élevage basés sur l'agriculture peuvent être en compétition directe pour le sol sur lequel les cultures sont de plus en plus pratiquées pour l'usage humain. Les animaux y utilisent les déchets de récolte et autres sous-produits agricoles, souvent difficiles à quantifier. Ce sont des systèmes variés et complexes comprenant une large variété de ressources et types alimentaires. L'utilisation intensive des sols et des ressources présente des défis pour le maintien de la durabilité de l'environnement de sorte à induire un besoin continu d'évaluations des ressources alimentaires pour les animaux pour supporter un usage des terres plus efficient et plus amical pour l'environnement et une amélioration des moyens d'existence.

Les systèmes extensifs et les systèmes associant l'agriculture sont tous deux dynamiques, et il est important pour les évaluations des ressources d'en saisir les tendances. Elles ne peuvent être utiles que si elles s'attaquent au dynamisme propre des systèmes (c.à.d. leurs modes d'opération), mais aussi à celui de la production et de l'utilisation des ressources alimentaires. Saisir les tendances sera ainsi, non seulement utile pour, en regardant en arrière anticiper à la fois les changements et leurs implications; En conséquence, un important résultat d'un système d'évaluation alimentaire sera une analyse de tendance, synthétisant

les résultats des évaluations présentes et passées. Les tendances observées doivent être analysées et impliquées. Les autres changements causés par des forces imprévisibles doivent également être identifiés et évalués.

## **QUI SERA EN CHARGE DU DÉVELOPPEMENT DES SYSTÈMES NATIONAUX D'ÉVALUATION?**

Le développement d'un Système d'Évaluation Nationale des Aliments pour les animaux (SENAA) doit inclure des personnes possédant une expertise dans un large éventail de domaines appropriés relatifs aux systèmes de production animale dans divers environnements et situations. Doivent également participer, des experts dans les aspects procéduraux et organisationnels de l'exécution des systèmes de récolte de bases de données à l'échelle nationale. Une expertise technique est nécessaire dans les divers aspects des systèmes de production animale et de ressources alimentaires, en agriculture, en écologie, en pâturages et en parcours, en statistiques agricoles, et en systèmes de données spatiales. Affectés par les divers aspects des activités et production d'aliments pour animaux et de disponibilités alimentaires, doivent également être impliqués, les producteurs d'animaux, les pastoraux, les producteurs d'aliments, les ONG, ainsi que les ministères gouvernementaux, les chercheurs et les universitaires. Les groupes de travail et leurs partenaires seront au centre de l'exécution du SNEAA, car ils jouent sans aucun doute, une pléiade de rôles importants dans les opérations en cours et leur utilisation. Ils peuvent, par exemple, représenter des pourvoyeurs de données ou des facilitateurs de sources de données. Ils pourront également jouer un rôle dans leur institutionnalisation.

Les groupes de travail et leurs partenaires peuvent être formés à partir d'un panel de personnes avec un large éventail d'expertises et d'intérêts. Celui-ci comprendra: a) des personnes avec des aptitudes et connaissances en statistiques agricoles et dans leur analyse; b) des personnes avec une connaissance extensive des parcours, des systèmes de production associant l'élevage des animaux et les cultures céréalières, et de l'alimentation animale; c) des personnes avec des compétences techniques dans l'analyse du Système d'Information Géographique (SIG) la modélisation écologique et agricole, la mise en forme des données, les statistiques, l'échantillonnage, les enquêtes; d) des personnes avec une expertise pluridisciplinaire, qui, au sens large, doit être intégrative, et avoir des perspectives au niveau systèmes; e) des personnes appartenant au monde fermier, des associations d'éleveurs et des ONG; f) des responsables des ministères représentant l'agriculture, l'utilisation des terres et de l'environnement; g) des personnes du milieu privé, impliquées dans l'alimentation des animaux; h) des représentants des ONG, des institutions de recherche, avec une expérience pertinente et i) incluant des individus en position de faire avancer l'exécution en accord avec les institutions gouvernementales et les autres utilisateurs finaux potentiels.

Un cadre institutionnel doit être créé, et peut représenter une organisation simple, ou une coalition de celles-ci, avec divers rôles et responsabilités. Le cadre institutionnel doit représenter le squelette du SNEAA. Il doit assurer qu'existent les mécanismes aptes à maintenir l'infrastructure par son implication continue; l'institutionnalisation réclame: a) l'identification du partenaire exécutant national; b) l'établissement d'une équipe institutionnelle coordonnatrice au niveau national ou régional; c) la mise en place d'une ligne budgétaire au

niveau central ou d'un état afin de préserver le système, de concert avec les compétences pour la nécessaire mobilisation des ressources, du capital et des dépenses récurrentes et; d) la mise en place d'un programme régional de formation pour le personnel d'exécution du système, mais aussi pour l'utilisateur final des produits du SNEAA.

Les membres du gouvernement et des organisations de recherche qui souhaitent établir, des systèmes nationaux d'évaluation des ressources alimentaires pour les animaux vont probablement rechercher une guidance sur les questions techniques et les aspects procéduraux impliqués. Ce document a pour objet de procurer une telle assistance.



---

# Objet et structure de ce manuel

## - Une feuille de route

L'objet de ce document est de procurer aux pays, un système de conduite dans le développement des ENAA, basé sur les leçons tirées des approches usuelles à travers un éventail élargi de situations nutritionnelles des animaux. Quoique les inventaires alimentaires soient les premiers composants des ENAA, le concept d'une évaluation est plus large, car il prend en considération les conséquences et la variabilité des apports alimentaires, les équilibres entre ceux-ci et les besoins, et d'autres implications sur la quantité et la qualité des aliments pour animaux.

Le document comprend trois sections principales, les deux premières suffiront à la majorité des lecteurs; s'ils sont plus curieux, ils consulteront la section trois.

**La Section I** procure une large perspective de l'état actuel des connaissances sur la situation alimentaire actuelle des animaux. Le chapitre I donne l'état des lieux en fournissant une vue globale des tendances sur les aliments d'origine animale et le Chapitre II continue avec un aperçu de l'augmentation conséquente des besoins des animaux en aliments pour animaux. Le Chapitre III résume les évaluations des aliments pour animaux dans plusieurs pays, ainsi que les études de cas régionales et mondiales, la plupart étant décrits en détail dans les chapitres suivants 8 à 13.

**La Section II** effectue un survol des méthodologies et des directives pour l'exécution des ENAA. Il est recommandé que le lecteur se réfère à cette section avant d'entamer la Section III. Le Chapitre 4 décrit les approches pour calculer l'augmentation des besoins en aliments pour animaux, des méthodes pour évaluer les apports alimentaires dans les systèmes basés sur les céréales. Et sur les systèmes de pâturages extensifs, les outils spécifiques utilisés dans les systèmes de parcours, les méthodes pour calculer les équilibres alimentaires, et les méthodes de récolte des données et les sources de celles-ci. Une section sur les considérations environnementales permet de percevoir les interactions potentielles entre les disponibilités alimentaires, les usages alternatifs des sols, et les impacts sur les écosystèmes. Le chapitre 5 fournit des lignes directrices raisonnées pour les aspects procéduriers et organisationnels, afin de planifier, établir, et mettre à jour un SNEAA. Les procédures recommandées sont basées sur les recommandations d'un groupe d'experts réunis à Rome en novembre 2010.

**La Section III** contient les descriptions détaillées sur les études de cas résumées dans le chapitre 3 et les méthodologies décrites au chapitre 5. Les études de cas ont valeur d'exemples pour les pays désireux d'établir un SNEAA; Les méthodologies sont décrites, de concert, avec la pratique d'exemples, des apports de données, et des résultats des ENAAs. Le chapitre 7 décrit l'approche pour calculer l'accroissement des demandes en aliments d'origine animale et pour les aliments pour animaux, au niveau national à partir des niveaux globaux. Les chapitres 8-13 sont des études de cas en profondeur d'approches récentes pour

évaluer des situations des aliments pour animaux dans un large éventail de pays ou régions dans lesquelles les environnements socio-économique et biophysique sont notoirement différents. L'étude de cas de la Suisse est un exemple de SNEAA dans un pays hautement développé avec des statistiques agricoles et des bases de données bien développées, la prépondérance de ressources basées sur les céréales, mais aussi avec la présence d'importantes ressources herbagères. Le cas de l'Inde illustre le défi à évaluer les aliments pour animaux dans un environnement très diversifié avec moins de statistiques et de données. L'Inde présente une large variété de systèmes mixtes d'élevage associés aux céréales et un usage très intensif de toutes formes potentielles des aliments pour animaux, dont plusieurs sont difficiles à quantifier car elles ne figurent généralement pas dans les statistiques agricoles nationales. Ces deux SNEAAs sont spécialement aptes à évaluer des aliments pour animaux, à partir des céréales ou des systèmes mixtes élevage-céréales.

Leur succèdent quatre exemples de systèmes spatialement extensifs rencontrés en Afrique, et en Asie, où les statistiques agricoles nationales sont peu utilisées, car ils dépendent en priorité des ressources non culturales, représentées par les steppes, les savanes et autres types de parcours. Dans ces systèmes, la seule source de données sur d'aussi vastes étendues, provient de senseurs satellitaires avec une orbite très élevée au-dessus de la surface terrestre. Le Chapitre 14 présente une méthodologie relativement détaillée pour calculer les équilibres alimentaires des animaux, dont le foyer est le calcul des besoins alimentaires des animaux basé sur ses besoins énergétiques, son efficacité digestive et les caractéristiques énergétiques des ressources alimentaires. Le Chapitre 15 décrit une approche de modélisation d'écosystèmes intégraux pouvant s'appliquer aux systèmes animaux spatialement hétérogènes et extensifs. L'approche par modélisation d'un écosystème est la plus astreignante; car elle intègre également l'ensemble complet des facteurs impliqués dans l'ENAA, y compris, les calculs de variations spatiales et temporelles des disponibilités alimentaires, de concert avec le calcul des besoins alimentaires des animaux et des taux réels de prélèvement sur les différents sites envisagés. L'approche par modélisation se révèle également pronostique, dans le sens où des prévisions peuvent être établies sur la base du changement climatique ou d'autres conditions de l'environnement. Le Chapitre 16 est une description des méthodologies de l'évaluation fourragère des pâturages et parcours, depuis les approches de terrain pour mesurer quantité et qualité, jusqu'aux systèmes utilisés des données climatiques et satellitaires à des échelles spatiales régionales, et aux approches par modélisation des écosystèmes.

SECTION I

# État des connaissances



# 1. Tendances de la demande en aliments pour animaux

Dans les pays en développement, la consommation de viande s'est accrue de plus de 5% annuellement, dans les dernières décennies et devrait augmenter de 1.4% l'an, à travers le monde jusqu'en 2030. En termes énergétiques, la consommation de viande augmente plus de trois fois celle observée dans les pays développés, entre 1971 et 1995 (Delgado *et al.*, 1999). La raison principale en est la forte croissance dans des pays étendus, comme la Chine, l'Inde et le Brésil (FAO, 2006a). La production et la consommation de volaille a cru de plus de 5% par an, et représente une fraction croissante de la production moyenne mondiale, au taux de 15% à 30% durant les trente dernières années. En 2050, seront consommées 2,3 fois plus de viandes de volailles et environ 1,4 à 1,8 fois plus d'autres produits animaux qu'en 2010 (FAO, 2006a; FAO, 2011). En Inde, la demande de volaille devrait augmenter de 844% en 2030, ce qui se traduit par 8.865 400 tonnes de produits. Ceci demandera 27 millions de tonnes d'aliments supplémentaires et 24 millions d'hectares de terres céréalières additionnelles à moins que la proportion de sous-produits et de ressources alimentaires non conventionnelles augmente substantiellement et/ou que la contribution de la volaille traditionnelle picoreuse de basse-cour augmente (Chapitre 7). La consommation de produits animaux est étroitement liée au niveau par tête. Comme ce dernier s'est accru rapidement pendant les 20 dernières années, les niveaux de consommation de viande et autres produits animaux se sont élevés simultanément (Steinfeld *et al.*, 2006). L'augmentation des revenus va encourager une consommation plus élevée par personne, particulièrement dans le monde en développement (FAO, 2011). Comme résultat, la consommation dans les pays en développement finira par dépasser celle des pays développés.

En Asie, la demande en produits d'origine animale commence à excéder la production, avec une projection de la demande, 2 à 3 fois supérieure en 2050 dans beaucoup de pays (Devendra and Leng, 2011). Les auteurs soulignent que la limitation du grain bon marché va conduire à une utilisation plus intensive de fourrage, de résidus de cultures, de produits agro-industriels et de ressources alimentaires non conventionnelles. Un intérêt accru sera porté à l'usage maximal des résidus de récolte et aux fourrages de basse qualité. Ils suggèrent que les deux milliards de tonnes de paille produits dans le monde puissent être convertis en produits animaux avec un taux de conversion de 10/1, afin de produire annuellement 200 millions de tonnes de poids vif animal pouvant nourrir quatre milliards d'humains.

Pour la majorité des pays en développement, les systèmes mixtes d'élevage des animaux et les cultures végétales sont prévalents. L'élevage des animaux y est étroitement lié à la production céréalière en utilisant les résidus de récolte, en recyclant les nutriments et par l'usage de la culture attelée (Herrero *et al.*, 2010). Ces systèmes produisent environ 50% du total mondial de céréales, étant pour leur majorité consommé par des populations pauvres:

41% du maïs, 86% du riz, 66% du sorgho, et 74% du mil. Ils produisent également 75% du lait, 60% de la viande et emploient des millions d'individus.

Plusieurs céréales sont à deux fins, tels le maïs, le blé, le sorgho et le mil: le grain sert d'aliment humain et leurs résidus sont utilisés pour nourrir les animaux.

Les systèmes animaux, sont en cours d'intensification avec un usage accru des grains pour l'alimentation animale, de foin avec des aliments riches en protéines et en additifs qui améliore leur conversion. Simultanément, les types d'alimentation traditionnelle sont en déclin (Steinfeld *et al.*, 2006). Historiquement, l'utilisation du grain pour l'alimentation animale a débuté en pays développés. Ainsi, aux USA, 40% des céréales sont utilisées pour les animaux, comparés à 14% en Afrique. De plus, tandis que la consommation de produits animaux est très élevée, peut-être trop, en pays développés, il reste une marge considérable pour leur accroissement dans la ration des pays en développement pour améliorer son efficacité (Speedy, 2003). Il est également constaté un mouvement de la production mondiale des animaux des régions utilisant des systèmes intensifs d'alimentation à base de grains vers les pays en développement où celui-ci est moins important; Il est possible cependant qu'une tendance inverse se manifeste dans les pays en développement, à savoir un déplacement vers des systèmes plus intensifs utilisant plus de céréales (FAO, 2006a). Il a également été suggéré que, dans les pays en développement, une demande humaine accrue en céréales crée une compétition avec une demande accrue pour les animaux, aboutissant finalement à des augmentations des importations de grains (Delgado *et al.*, 1999). En Asie du Sud, la croissance de la population humaine aura comme conséquence que les systèmes mixtes devront impérativement obtenir tous leurs produits animaux à partir des sources d'aliment alternatives, en tenant compte que les tiges ne pouvant couvrir uniquement, que les besoins d'entretien des animaux (Herrero *et al.*, 2009).

En Chine, la demande en produits laitiers s'est considérablement accrue du fait de l'augmentation du revenu, du changement dans les modes de vie urbains et développement général du secteur laitier (Simpson, 2006). La consommation de lait a triplé par tête entre 1985 et 2000, et doublé ensuite de 2000 à 2004. Si cette tendance se confirme, un déplacement va s'effectuer, vers la mise en place de fermes laitières modernes qui bénéficieront des avancées en génétique, en gestion de l'élevage, et du secteur laitier du monde entier. La question cruciale est de savoir jusqu'au où l'industrie laitière pourra satisfaire la demande et donc, si la Chine pourra suffire à pourvoir en composants nutritionnels pour cette industrie en expansion. Une évaluation de ces questions, effectuée à partir d'un modèle complexe (Simpson, 2006) a conclu que les ingrédients alimentaires protéiques devraient progressivement être de plus en plus importés, alors que les sources énergétiques existent en abondance. L'évaluation souligne qu'en fait, chaque pays nourrit ses animaux, en accord avec ses disponibilités, ses goûts, ses préférences, et les avantages comparatifs de la production des ingrédients (Simpson, 2010a). La Chine ne va pas, comme plusieurs experts le supposent, développer de grands parcs d'embouche typiques des USA, par exemple. Une grande fraction des ressources alimentaires énergétiques nationales proviennent des résidus céréaliers (38%) et des sous-produits de cultures, incluant l'ensilage (21%). Une fraction assez large des ingrédients protéiniques viendra également des résidus de céréales (28%) et des sous-produits (48%). Ces derniers, les aliments non-conventionnels et les fourrages continueront à représenter une portion substantielle des composants

alimentaires pour les animaux laitiers chinois durant la prochaine décennie, spécialement dans les régions les moins peuplées. En conséquence, une attention particulière doit être portée pour évaluer les stocks et les mouvements de ces ressources alimentaires.

Dues aux croissances actuelles et futures de la consommation des produits animaux, des controverses se multiplient pour savoir si les céréales et autres aliments à usage humain peuvent être détournés pour l'usage animal (Speedy, 2003). Même si certains estiment que la demande accrue, pour la consommation de produits animaux va augmenter la demande.

Le grain à usage humain, l'élevage des animaux peut utiliser des produits céréaliers qui autrement seraient gaspillés et peut également être élevé sur des sols impropres aux cultures (Delgado *et al.*, 1999). Les disponibilités en terre et eau resteront des contraintes clé pour la production d'aliments alternatifs pour les ruminants dans les systèmes les plus intensifs (Herrero *et al.*, 2009).





## 2. Évaluation des provisions d'aliments pour animaux en relation avec des demandes croissantes

Les besoins pour le développement d'inventaires ou de systèmes nationaux d'évaluation d'aliments pour animaux varient grandement suivant les pays. En Suisse, par exemple, ces inventaires ont été initiés par nécessité stratégique durant les guerres mondiales pour assurer la sécurité alimentaire (Chapitre 8). De nos jours, ce besoin nécessite l'obtention d'informations nécessaires à s'adapter à des situations non prévues pouvant conduire à des restrictions alimentaires, parmi lesquelles des sécheresses et des ruptures dans les transports et les affrètements. D'autres usages ont émergé, comme les calculs économiques nationaux de la biomasse et des flux de gaz à effet de serre.

En Asie, peu de pays se sont lancés dans l'exécution d'évaluations quantitatives ou même qualitatives des disponibilités en aliments pour animaux, ceci probablement dû à une méthodologie inefficace ou à un manque de compréhension d'approche des évaluations (Devendra and Leng, 2011). Des évaluations ont été tentées pour la Péninsule Malaisienne (Devendra, 1982), les Philippines (évaluations non publiées Devendra and Leng, 2011), et pour les régions de productions d'huile du Sud-est asiatique (Devendra, 2009). Des bilans alimentaires ont été dressés entre disponibilités et besoins en Inde et Pakistan (Mudgal and Pradhan, 1988; Raghavan, Krishna and Reddy, 1995; Ramachandra *et al.*, 2007) ainsi qu'au Népal (Shrestha and Pradhan, 1995).

Des disettes en aliments pour animaux ont clairement restreint la productivité en Inde ainsi que démontré dans de nombreuses études spécifiques de sites (Chapitre 9; Ramachandra *et al.*, 2005; Raju *et al.*, 2002; Anandan *et al.*, 2005). Cependant, les impacts de celles-ci au niveau national ont été peu caractérisés par manque d'évaluations. Une caractéristique du bétail indien est sa dépendance alimentaire presque totale des résidus de culture et des sous-produits; les herbes, les adventices, et les feuilles sont récoltées à partir des terres cultivées ou non: les terrains communaux et les champs après récolte, sont pâturés (Dikshit and Birthal, 2010). L'utilisation des résidus de culture a augmenté de 65% entre 1980-81 et 2002-03 (Ramachandra *et al.*, 2005).

En Inde, les inventaires d'aliments pour animaux, peuvent être utiles pour les concepteurs politiques, les agences gouvernementales, les agences de développement, et les ONG. L'information provenant de tels inventaires peut être utilisée pour formuler et exécuter des activités significatives dans le développement du secteur animal et s'attaquer à des calamités naturelles, comme les sécheresses et les inondations (Chapitre 9). Une telle information pourra aussi se révéler utiles pour la prise de décisions indicatrices liées à la nature et aux

quantités de produits, aux aliments pour animaux localement commercialisables, et celles à importer ou à exporter, et aux régions potentielles de commercialisation. L'estimation de la demande en aliments pour animaux, peut aider à résoudre la controverse sur le calcul de la fraction largement variable du grain utilisable pour les animaux (Dikshit and Birthal, 2010). Les estimations peuvent également s'utiliser dans la détermination des relations entre intrants et produits dans le secteur de l'élevage des animaux et l'appréciation des émissions de gaz à effet de serre liées à la production animale. Ramachandra *et al.* (2005) recommande une approche par bilan national des aliments pour animaux permettant de reconnaître les différences, régionales dans les systèmes de production animale, de pair avec un système national travaillant en réseau sur les céréales et les statistiques nationales, et l'établissement d'un Directoire du Bureau des aliments pour animaux, afin de créer les bases de données nécessaires et de planifier et utiliser l'évaluation des aliments pour animaux au niveau national.

Les sources des aliments pour animaux, ont été identifiées et inventoriées au Pakistan. Les résidus de culture, les fourrages cultivés, la pâture et les concentrés représentent respectivement 57%, 18%, 19% et 6% des ressources (Habib, 2010). Les systèmes associant élevage et céréales sont largement répandus. Une fois la moisson achevée, les sous-produits céréaliers, tels les pailles et les tiges sont stockés et gardés pour l'alimentation du bétail tout au long de l'année. La culture du fourrage, est pratiquée sur une aire limitée à 2,45 millions d'hectares ou 11,1% des terres totales cultivées. Pendant les vingt dernières années, les terres dévolues au fourrage, ont progressivement diminué contrairement à la production de fourrage, qui a augmenté de 13%, apparemment dû à de meilleures pratiques agricoles (Habib, 2010). Les terres de pâturage couvrent plus de 20 millions d'hectares du Pakistan, mais ne contribuent qu'à 19% de la biomasse, et 30% des protéines brutes, aux apports totaux d'aliments (Habib, 2010). Le potentiel productif des terrains pâturables, a clairement décliné, mais l'importance de ce déclin, n'a été que peu quantifié. Le pâturage incontrôlé, et les sécheresses récurrentes, ont considérablement réduit leur capacité de charge. De larges flux d'ovins afghans, ont intensifié la pression sur les herbages. Le pâturage communautaire villageois, autrefois commun dans les zones rurales, a pratiquement disparu, et, est devenu individuel. Ceci a rendu difficile des pratiques de pâturage rationné, en rotation sur des aires limitées, afin de protéger les zones de parcours vulnérables. Le système "nagha", centenaire de pâturage restreint, destiné à protéger les terrains de pâturages communautaires, des pratiques de libre pâture incontrôlée, n'existe plus, ou, n'est pratiqué que dans des zones très réduites (Ghulam Habib, comm. pers.).

Dans le Sahel africain, les pastoralistes font pâturer leur bétail dans des systèmes spatialement extensifs, caractérisés par des déplacements saisonniers de grande ampleur, entre les surfaces pâturables, et d'autres mouvements orbitaux, intra-saisonnier autour des points d'eau (Chapitre 10). La production fourragère est limitée par les chutes de pluie, très variables. Les déplacements du bétail pastoral, sont responsables des variations fourragères dans le temps et l'espace. Les sécheresses périodiques, sont inhérentes au système, et conduisent à des disettes fourragères, pour le bétail et à l'insécurité alimentaire pour les éleveurs. La nature spatialement extensive, et variable dans le temps de la ressource fourragère, associée aux contraintes des mouvements du bétail dus à la distribution d'eau, la topographie, les infrastructures, nécessitent une approche très différente de celle des

évaluations des aliments pour animaux. L'utilisation des données de télédétection, particulièrement pour la production de biomasse, à partir de la verdure, s'est révélé la seule approche faisable. C'est ainsi, que les systèmes d'alerte précoce utilisent les indices végétatifs procurés par la télédétection. Le système décrit au chapitre 10, procure l'information utile pour les agences d'aide alimentaire, les pastoralistes, les gouvernements et les agences de développement.

Des situations similaires se rencontrent en Afrique du Sud, où une proportion significative de la population humaine est indépendante de l'élevage des animaux, pour ses moyens de subsistance et sa nourriture, et où la majeure partie du fourrage provient des parcours (Chapitre 11). La grande variabilité spatiale et temporelle de la production fourragère, nécessite une surveillance sur de larges échelles spatiales pendant la saison végétative sur une base séculaire.

La compréhension de la disponibilité de la biomasse fourragère à travers le paysage peut aider les pastoralistes mongoliens à prendre des décisions sur leurs déplacements, les ventes et achats de leurs animaux, et évaluer les niveaux de risque pour la prise de décisions (Chapitre 12). Toutefois, une information extensive sur la distribution du fourrage sur de larges zones éloignées est difficile, sinon impossible à obtenir. Au moins 35% du bétail mongolien, ont été perdus durant la sécheresse et les hivers rigoureux entre 1999 et 2001. En réponse, l'Agence américaine pour le développement international (USAID), a contribué au développement d'un système d'alerte précoce pour les animaux dans la région de Gobi. Celui-ci procure des évaluations proches du temps réel, des conditions fourragères actuelles et prévisibles. Cette information est fournie aux éleveurs, aux agences de développement locales et nationales, afin de les assister dans la gestion des sécheresses, la préparation des désastres, et dans la responsabilité politique agricole.

Le plateau tibétain représente un autre exemple de pastoralisme spatialement extensif dans des paysages éloignés et hétérogènes (Chapitre 13). Les populations humaines et animales de la région autonome du Tibet, ont toutes deux plus que doublé, pendant les quarante dernières années. Ceci a résulté en une demande accrue sur les ressources naturelles, une pression aggravée qui inclut le surpâturage et les sécheresses, ce qui a abouti à la dégradation des pâturages et la désertification, et donc la diminution de la disponibilité des ressources de base, et l'augmentation de la pression. Ainsi, un inventaire des aliments pour animaux peut être utile, en déterminant la disponibilité des ressources fourragères, en relation avec la demande. Une telle information est valable tant pour la politique de sécurité alimentaire, et à sa planification, que pour la mise en place de taux de charge animale durable et de mesures protectrices de l'environnement. Compte tenu de l'expansion et de l'éloignement de la majorité des surfaces pâturables, et le défi de travailler à haute altitude, avec de faibles taux d'oxygène, les données de base recueillies *in situ* sur les pâturages, sont très limitées. Un inventaire des aliments pour animaux pour une région pastorale aussi spatialement extensive doit employer au maximum des données de télédétection.

Un atelier organisé à Nairobi en 1985, a rassemblé de nombreux chercheurs, afin d'évaluer les aliments pour animaux, pour les éleveurs de bétail africain de taille modeste (Katiogele *et al.*, 1987). Quoique déjà ancien, il est instructif d'observer les approches diverses utilisées pour évaluer les aliments pour animaux dans les pays en développement à cette époque. En général, les évaluations incluaient l'examen de types variés des aliments pour

animaux, tels les pâturages naturels ou parcours, les prairies améliorées, les cultures de céréales et de tubercules, et les sous-produits agricoles. Les productions totales céréalières et des estimations des zones entières céréalières ont été prises en compte sur base de diverses statistiques provenant de gouvernements et de la FAO. Cependant, peu de choses ont été effectuées pour déterminer ce qui était réellement disponible pour le bétail. De même, ont été présentées les valeurs typiques de la production végétale des parcours, mais les inventaires quantitatifs n'ont pas été établis, sans doute par manque de données sur ces vastes zones vastes et hétérogènes. Aujourd'hui, nous avons accès à des bases de données largement améliorées, aux GIS, à la télédétection et aux possibilités de modélisation. En fait, le potentiel de ces sources d'information, et de ces technologies aptes à développer des ENAAs, à l'échelle nationale, ont simplement pu être exploitées.

## 3. Un résumé des études de cas sur les évaluations nationales, régionales et mondiales des aliments pour animaux

### 3.1 SUISSE

#### Le bilan en aliments pour animaux de la Suisse

La Suisse a effectué des inventaires réguliers des aliments pour animaux depuis 1933 avec des révisions de méthodologie en 1980 et 2009 (Chapitre 8). L'approche suisse est hautement sophistiquée, ayant bénéficié de l'expérience accumulée, des capacités techniques, et s'étant enrichie de sources bien organisées en données fondamentales. Une large variété de sources alimentaires est envisagée, elle inclut à la fois, les systèmes intensifs liés aux céréales et les systèmes extensifs d'herbages. Les animaux pris en compte, comprennent bovins, ovins, caprins, porcins, volailles et équidés.

La disponibilité annuelle en aliments pour animaux est établie à partir d'un inventaire sur base de la production domestique, comprenant les céréales, et les sous-produits agricoles. La disponibilité est corrigée, avec les données import/export, et exprimée en termes d'énergie digestible et métabolisable, et de protéines, en utilisant les données fourragères les plus aisément disponibles.

A titre de contrôle, la demande animale en aliments pour animaux, est calculée sur base du recensement des animaux et des besoins en énergie animale et protéines. Les besoins animaux sont différenciés entre élevage, produits laitiers, et engraissement. Ils ont pour base les données fournies par les stations de recherche agricole et un manuel bien documenté à l'usage des éleveurs (Agridea, 2011).

La Suisse a la chance d'avoir d'excellentes sources de données pour établir l'inventaire. Le gouvernement fédéral vérifie régulièrement les statistiques de production céréalière au niveau national. Les sous-produits de l'industrie alimentaire sont estimés à partir des données fournies par cette dernière (brasseries, minoteries) ou par les bureaux agricoles officiels. Les statistiques officielles de production sont disponibles pour le maïs, fourrages, et la production fourragère des herbages. Elles sont corrigées selon l'altitude et les conditions météorologiques. Les étendues régionales de pâturage saisonnier en alpages sont calculées sur base de cartographie irrégulière (10-12 ans) de l'usage des sols et d'analyses GIS.

L'utilisation du maïs et du fourrage herbagé, est estimée afin de permettre la comparaison avec leur disponibilité. Tous deux sont supposés être en équilibre sur une période pluie annuelle, avec certains années excédentaires, et d'autres déficitaires. Un déficit fourrager sera régulé par des importations, ou par l'utilisation des excès accumulés pendant

les années d'excédent. L'utilisation est basée sur les taux d'importation de matière sèche typique de chaque classe d'animaux et la durée de pâturage.

### 3.2 INDE

#### L'inventaire des aliments pour animaux de l'Inde

Plusieurs évaluations ont été menées à un niveau régional. Elles ont été prises comme base de données d'utilisation de sols, de production céréalière et de mouvement animal (Anandan *et al.*, 2005; Raju *et al.*, 2002). Ces données ont été fournies par la Direction Gouvernementale de l'Economie et Statistique, ainsi que du Département de l'Elevage. Les chercheurs impliqués ont développé, à partir de leur expérience, un système de récolte des données avec une interface facile à utiliser, donnant accès à la disponibilité et aux besoins en aliments pour animaux, à travers tout le pays (Angadi *et al.*, 2005).

Dans le chapitre 9, est discutée l'approche choisie en Inde pour évaluer les ressources alimentaires animales nationales. La disponibilité en ressources liées aux céréales y est estimée à partir des données de production céréalière et la disponibilité en fourrage vert à partir des données de classification des sols. La production céréalière et les données d'utilisation des sols, qui incluent les types de sols à usage fourrager, sont publiées annuellement. Les index de récolte; le ratio des données de sous-produits céréaliers par rapport aux tonnes de céréales récoltées; et le ratio d'extraction; la fraction de céréales récoltées utilisée comme aliments pour animaux, sont appliqués aux données de production céréalière pour en estimer les disponibilités en ressources alimentaires animales.

Les index de récolte sont utilisés pour les résidus de céréales et les tourteaux oléagineux, tandis que les ratios d'extraction sont appliqués pour les grains, les sons, et les balles. Des estimations relativement brutes de la production de fourrage vert, sur les différents types de sol sont utilisées de pair avec des estimations de pourcentage de terres utilisées à cet effet. Celles-ci sont des approximations de valeurs moyennes basées sur les meilleures données disponibles. Les estimations de production sont alors appliquées à l'ensemble des terres utilisées, répertoriées à partir de cartes et inventaires à cet effet.

Les besoins des animaux en aliments, sont estimés à partir des chiffres de recensement, publiés tous les 5 ans. Ces données, classifiées par espèces et classes d'âge, sont converties en unités bovines adulte standard, en fonction des différences de taille corporelle. Une estimation de base des besoins en matière sèche de 2% par kilo de poids est alors appliquée. Le total des besoins en matière sèche, est comparé aux disponibilités totales pour établir le bilan alimentaire national pour les animaux.

Dikshit et Birthal (2010) ont calculé la demande indienne en aliments pour animaux, en les graduant à partir des données familiales. Ils fondent leur argumentation sur le fait que les enquêtes au niveau des ménages représentent la seule voie pour obtenir des données fiables sur la consommation alimentaire réelle. Cette graduation a été rendue possible par la conception d'un échantillonnage destiné à être aussi représentatif que possible parmi la vaste hétérogénéité des sols, topographies, précipitations, système d'irrigation, températures, céréales et bétails. Le pays a été divisé en vingt zones agro-écologiques, subdivisées en 60 sous-zones suivant les critères ci-dessus. De plus, les animaux étaient répertoriés par espèces, races, classes d'âges et état de production. La demande en aliments pour animaux, pour chaque classe animale peut alors, se combiner avec la distribution interclasses

afin d'arriver à une estimation plus rigoureuse de l'ensemble des demandes. La graduation se révéla une procédure à niveaux multiples, des ménages aux villages, de ceux-ci aux districts, puis aux régions et finalement à la nation. Ainsi, a été prise en compte l'hétérogénéité des villages au sein d'un district, et ainsi de suite. Les auteurs ont également comparé la demande en aliments pour animaux, à la disponibilité. Ils ont relevé que, pour le Ministère de l'Agriculture, il est généralement assumé que 5% des grains à usage humain sont utilisés pour l'alimentation animale, ils ont coté d'autres sources avec des taux d'extraction céréalière (à savoir, la fraction de la production totale céréalière utilisé pour les différents aliments pour animaux, par exemple 9,5% pour le riz, et 41% pour les céréales non panifiables. Ils ont établi des projections des demandes futures en 2020, en utilisant une consommation des aliments pour animaux, basée sur leurs données, couplée aux projections de croissance des animaux selon leurs types. Ils ont ensuite revu les estimations en prenant en compte les changements prévisibles pour la demande en lait et viande. En se basant sur les travaux antérieurs, ils ont prévu que la demande future en lait sera satisfaite par l'accroissement de la production individuelle, simultanément à l'augmentation des effectifs animaux, tandis que la demande en viande proviendra prioritairement de l'augmentation des effectifs. Toutefois, indépendamment de ce constat, les besoins indiqués resteront identiques à moins que les taux de conversion alimentaire aient pu augmenter d'une manière ou d'une autre.

Les systèmes mixtes associant l'élevage des animaux et les cultures céréalières sont prévalents dans le pays, et, il existe de grandes différences dans la représentation et le fonctionnement des ménages impliqués (Erenstein and Thorpe, 2010). L'utilisation des céréales, de leurs sous-produits, du fourrage, des résidus de culture, et d'autres aliments non conventionnels varie largement. La compréhension correcte de cette hétérogénéité pour évaluer plus précisément les besoins des animaux en aliments est fondamentale. Dans les plaines, entre l'Indus et le Gange, l'usage de différents types d'aliments pour animaux, varie selon un gradient d'intensification, comme l'ont démontré des enquêtes villageoises détaillées (Erenstein and Thorpe, 2010; Thorpe *et al.*, 2007). Les communautés ont été échantillonnées au hasard selon une approche stratifiée par regroupements. Cette stratification a d'abord été appliquée à quatre sous-régions, ensuite à un second niveau; ont été sélectionnés trois districts représentatifs, un dans chacune des trois principales sous-zones agro-écologiques. Au 3<sup>ème</sup> niveau, six villages ont été choisis au hasard, autour d'un point central. Cette approche stratifiée est la clé pour obtenir, un échantillon représentatif, et pour comprendre comment les moyens d'existence et les modes d'alimentation animale, qui y sont associés, peuvent varier au sein du système.

### 3.3 PAKISTAN

#### L'inventaire pakistanais des aliments pour animaux

L'approche utilisée au Pakistan ressemble beaucoup à l'indienne. En 2003, des calculs détaillés ont été effectués sur la disponibilité et le bilan alimentaire pour animaux dans la province de la frontière du Nord-Ouest (appelée actuellement Khyber Pakhtunkhwa) (Habib *et al.*, 2003). Récemment, une évaluation du bilan alimentaire pour animaux, a été effectuée au niveau national, en prenant en compte les autres provinces (Habib, 2010). En utilisant des facteurs de conversion céréalière (comme les index de récolte et les ratios d'extraction indiens) trouvés dans la littérature et des données locales, sur la productivité

céréalière, des quantités de résidus et de sous-produits provenant de diverses céréales ont été calculées approximativement. Les données sur les facteurs de conversion employés, pour calculer la biomasse des sous-produits céréaliers nécessitent un développement ultérieur et une standardisation.

De même, le fourrage provenant de diverses catégories de terres pâturables, a été estimé, en utilisant des données locales de production et de superficie dans dix zones agro-écologiques différentes. Cependant, les données retenues pour la production herbagère des terrains de pâture demandent une mise à jour et un perfectionnement, car les parcours se sont dégradés pendant les 20-30 dernières années.

### 3.4 CHINE

#### Disponibilités actuelles et prévues en ressources alimentaires animales

Simpson, Cheng, and Miyazaki (1994) ont effectué une évaluation très complète de l'agriculture chinoise dans laquelle ils ont calculé la disponibilité actuelle et prévue en ressources alimentaires. Les calculs ont débuté à partir de données provenant de l'annuaire de l'agriculture chinoise, sur la production de grains, et de graines oléifères (total en tonnes) et sur les zones ensemencées (hectares). La productivité par unité de surface, a été calculée en divisant la production totale par la surface ensemencée. Les grains comprenaient le blé, le riz, les non panifiables (maïs, sorgho etc.), tandis que les oléifères incluaient l'arachide, le colza, le tournesol, et le sésame. D'autres statistiques de production de cultures étaient également disponibles, comme par exemple, la pomme de terre, et la betterave sucrière, ainsi que les cultures arboricoles, comme les fruitiers. Les zones de culture et ensemencées étaient rapportées par région et par province. La production de l'industrie des aliments pour animaux a été décrite, en y incluant le rôle des sous-produits et des sources d'aliments non conventionnels. La Chine ne publiant pas de statistiques sur les quantités de grains distribués au bétail, les auteurs se sont référés aux données du Département américain de l'Agriculture sur celles-ci.

La Chine a un long historique d'utilisation de ressources alimentaires animales non-conventionnelles (ANCS), de résidus de cultures et de sous-produits. Les ANCS comprennent une large variété de substances, incluant par exemple, la paille, le riz, l'azolla, le manioc, les rejets de bananes, et les tiges de maïs. Comme exemple de sous-produits, on trouve la bagasse, les drèches de brasserie, les tourteaux de palmiste, le son de riz, et la litière de volaille. Comme mentionné antérieurement, le bétail laitier chinois tire des fractions substantielles de son énergie, et de ses nutriments à partir des résidus de culture et des sous-produits au sein des systèmes où les cultures végétales et l'élevage du bétail sont étroitement liés à travers des transports de biomasse, énergie et nutriments. Un modèle a été développé et programmé, sous forme de tableur pour chiffrer la disponibilité des ingrédients alimentaires. Il est basé sur l'énergie métabolisable et le taux de protéines brutes de chaque culture, comme de chaque pâture. Les données productives de culture sont multipliées par la surface ensemencée afin de fournir la production totale qui, à son tour est multiplié par le taux d'extraction physique, c'est-à-dire la proportion de chaque espèce cultivée contenant du grain, de la paille, des résidus de brasserie, de la farine de tourteau, etc. (par exemple; kg de paille d'orge par kg de grain), afin de fournir les quantités totales potentiellement disponibles pour l'usage humain et animal. La multiplication des quantités



potentiellement disponibles par la portion utilisée pour les animaux, donne le montant total d'ingrédients, qui peuvent être consommés par les animaux. Les portions utilisées ont été apparemment estimées sur base des connaissances des experts. Les proportions de farines de tourteaux oléagineux utilisées par les animaux, doivent prendre en compte, la soustraction des pertes dues au transport, à l'entreposage, les refus animaux, les déchets, et l'utilisation comme fertilisant.

Un total de 38 cultures et de quatre autres sources (comme la farine de poisson), ont été prises en compte. Chaque culture a été divisée en intrant primaire, et en plusieurs sous-produits ou ANC, comprenant les contenus énergétique et protéique, les taux d'extractions et la superficie en hectares de cinq types de pâturages: chaud, tempéré, humide, sec et alpin. Les données introduites à partir d'environ 1000 paramètres ont été combinés pour calculer la disponibilité en énergie totale et en protéines pour le bétail. Les projections pour le futur ont été basées sur les taux de croît estimés pour les rendements par hectare, et par zones ensemencées.

En utilisant cette méthodologie, Simpson (2006) a calculé qu'environ 1,2 trillions de Mcal d'ingrédients ont été produits en 2000, Environ 9% provenait de sous-produits, 13% des herbages, et 42% des cultures de grains. Les ANC représentaient 36% de l'énergie totale des aliments pour animaux en 2000. Environ 800 millions de tonnes de résidus et d'ensilage ont été produits en 2000, dont 85% de résidus. La méthodologie a été également utilisée pour évaluer le potentiel chinois de viande bovine (Simpson, 2003) comme conséquence de changements potentiels dans l'utilisation de sols et la productivité agricole (Simpson, 2010b).

Leng (2011) a récemment compilé et présenté un certain nombre de statistiques tirées de l'annuaire chinois des statistiques et d'autres sources. Les données montrent de grandes augmentations sur la production et la consommation d'aliments d'origine animale. La consommation per capita de volaille, et de produits laitiers a augmenté approximativement de 2 à 5 fois dans les 20 dernières années. La consommation de viande rouge est passée de 21 kg/personne en 1990 à 48 kg/personne en 2009. Simultanément, la consommation de grain a diminué significativement. Les effectifs de petit bétail ont augmenté de 30% à 50%, et les effectifs de bétail laitier ont quadruplé pendant la même période. Comme résultat de l'accroissement de la demande en aliments pour animaux, la Chine s'est transformée d'exportateur de maïs à celui d'importateur entre 2000 et 2010. Les importations de soja ont augmenté de 0 à 50 millions de tonnes/an. Une autre conséquence est la dégradation élargie des terrains de parcours causée par le surpâturage.

### 3.5 AFRIQUE

#### Utilisation des résidus de culture dans les systèmes mixtes céréales/bétail

Les résidus de culture sont des aliments fibreux disponibles pour le bétail, une fois les moissons effectuées. Ils se distinguent des sous-produits agricoles; sons, tourteaux oléagineux, qui sont le résultat du traitement des céréales (de Leeuw, 1997). Il existe un consensus général pour une meilleure utilisation des résidus de culture comme aliments pour le bétail (Maehl, 1997). Ceux-ci sont importants dans de nombreux secteurs agricoles nationaux, mais encore souvent, sous-utilisés. Leur consommation par les ruminants contribue également au recyclage de leurs nutriments, ainsi qu'à la fertilité et à la structure des sols, par-

ticulièrement dans les systèmes agricoles intégrés. Les pailles de céréales, et les tiges représentent de loin, les résidus les plus importants. Les estimations nationales des rendements en résidus sont basées sur les statistiques FAO de production pour les matières premières (e.a. FAO, 1984, 1994), multipliées par certains facteurs, ainsi que proposé par Kossila (1988). Ces derniers peuvent être modifiés avec plus de précisions lorsque c'est possible.

Deux modes de ratio peuvent être employés pour les cultures et rendements de résidus (de Leeuw, 1997). Le premier, assez simple, divise le rendement en grain par un facteur exprimant l'index de récolte, qui représente la quantité de grain sur l'ensemble de la biomasse hors-sol (Kossila, 1988). Le second ratio est nécessaire pour évaluer la "comestibilité". Pour estimer la fraction consommable des RC, des données sont requises sur les paramètres comme le taux vraisemblable de refus par les animaux au pâturage ou les refus constatés en stabulation.

Les apports potentiels en RC peuvent, en Afrique (de Leeuw, 1997), se rapprocher des statistiques nationales à partir de la proportion de terres cultivées (e.a. Banque Mondiale, 1989; WRI, 1990), combinée aux estimations des rendements pour les principales cultures de grains et de tubercules (Banque Mondiale, 1989). Ces estimations approximatives pourraient être plus précises, si des meilleures données de ratio grain/RC étaient disponibles. En Afrique, les restrictions d'accès aux RC, sont devenues plus communes durant les dernières années, à cause de la privatisation des terres, et de l'intensification, de sorte qu'il ne peut plus être assumé que tous les RC puissent être pris en compte dans les calculs de disponibilités.

### **3.6 RÉGION SAHÉLO-SAHARIENNE**

#### **Système de surveillance pastorale et inventaire des aliments pour animaux dans le Sahel**

Un système d'Alerte Précoce Pastorale a été développé par ACF (Action Contre la Faim) pour assurer le suivi de la disponibilité en aliments pour le bétail pastoral dans la région Sahélo-Saharienne d'Afrique (Chapitre 10). A côté de l'imagerie satellitaire en temps quasi réel, (état de verdure de la végétation), le système utilise des cartes sur données de terrain et des cartes de mouvements du bétail. Un logiciel a été développé pour entrer et traiter des données et produire des cartes de disponibilité de ressources en aliments pour le bétail afin d'être comparées à la demande. Un indice de végétation différentiel normalisé (NDV) a été calculé à partir des images du satellite SPOT 5 par le VITO (Institut Flamand de Recherche technologique) sur période de 10 jours, avec une résolution de 1 km x 1 km. VITO, a aussi produit un ensemble de données sur la productivité en matière sèche à partir de données satellite.

Une approche GIS multi-couches intègre les données de végétation produites à partir des images satellites à des données spatiales additionnelles caractérisant l'accessibilité au fourrage par les pasteurs et leur bétail. Une contrainte-clé est représentée par la disponibilité en eau car celle-ci peut être présente ou non à proximité des ressources fourragères. De cartes de distance aux points d'eau sont produites afin de déterminer, si le fourrage est suffisamment proche d'un point d'abreuvement. Ces cartes sont dressées par combinaison de cartes situant par télédétection les eaux de surface et les forages hydrauliques. La disponibilité en eau varie selon les saisons et en fonction de la présence en eaux de surface. Elle varie également selon la topographie qui peut la rendre inutilisable, particulièrement sur les fortes pentes.

Les cartes de distribution du bétail sont ensuite utilisées pour déterminer la distribution de la demande en aliments pour animaux. Un simple calcul du bilan par ordinateur, permet de dresser la différence entre disponibilité et besoins. De cette manière, les régions de déficit et de surplus peuvent être facilement identifiées.

Le système est continuellement mis à jour. A la fin de chaque saison des pluies, un inventaire complet des évaluations des aliments pour animaux, est finalisé et mis à disposition des utilisateurs. ACF International prévoit de développer davantage ce système et de le mettre à la disposition des pays d'Afrique de l'ouest et de l'est.

### **3.7 AFRIQUE DU SUD**

#### **Développement et application de techniques de surveillance sur base d'observations terrestres des parcours en Namibie**

Le réseau clairsemé de pluviomètres dans certaines parties d'Afrique du Sud exclut une approche de contrôle basée sur les précipitations pour la biomasse fourragère. Dès lors, le contrôle doit être entièrement basé sur les données satellitaires. Un système de contrôle de la végétation, en temps quasiment réel appelé, Application Locale de Technologie par télédétection (LARST) a été développé durant les dix dernières années (Chapitre 11). Le système est basé sur des capteurs satellitaires bon marché, pouvant télécharger des données depuis des satellites à partir de l'Administration Nationale Océanique et atmosphérique, Radiomètre Avancée à très haute résolution (NOAA AVHRR). Une antenne et son capteur sont installés localement et connectés à un ordinateur avec matériel et logiciel appropriés. Une méthodologie utilisant un Indicateur de Productivité Végétale (IPV) procurant de telles données satellitaires a été commandée par divers ministères namubiens. Cet IPV, est rapporté tous les 10 jours, pendant les saisons des pluies, sous forme de carte aux niveaux des ministères et des districts agricoles. Les résultats sont diffusés à travers des ateliers, et des séminaires de formation, ainsi que dans des bulletins agro-météorologique réguliers produits par le ministère de l'agriculture.

Une méthodologie a également été développée en combinant l'imagerie par satellite, avec des observations de terrain de la biomasse, afin de produire des cartes d'estimation de la biomasse en temps réel. Les données de la biomasse herbacée sont rapidement collectées au moyen d'un instrument simple, appelé le discomètre de pature (DP). La biomasse foliaire verte forestière est estimée en utilisant des relations régressives, avec la taille de la plante, et en échantillonnant les distributions des classes de taille de plante. La biomasse est échantillonnée le long de transects de 1 km coupant des sites de 1 km<sup>2</sup>. Les lectures DPM sont prises des deux côtés des transects. Les données de terrain de la biomasse sont ensuite régressées vis-à-vis des images satellitaires. Les équations de régression sont alors appliquées aux cartes d'imagerie satellitaires, afin d'en tirer des cartes de biomasse.

### **3.8 MONGOLIE**

#### **Système d'Évaluation précoce du fourrage pour le bétail au Gobi**

Une technologie avancée de télédétection GIS, et un système de modélisation par simulation appelé Système d'Alerte Précoce pour le bétail, ont été appliqués à la région pastorale de Gobi en Mongolie (Chapitre 12).

Le SAPFB combine la collecte de données du terrain à partir de séries de sites de contrôle, les résultats des modèles par simulation, la prévision statistique, et GIS pour produire des cartes régionales, des conditions fourragères actuelles et prévues. Le système utilise le modèle de simulation PHYGROW<sup>1</sup>, comme outil primaire pour l'estimation des conditions fourragères. Les données de terrain, recueillies à partir des sites de contrôle, répartis à travers la région, sont employées pour paramétrer et calibrer le modèle. Les pistes de modèles, pour les sites de contrôle, sont pilotées par les données climatiques en temps proche du réel. Les pistes de modèle de simulation sont utilisées tous les 15 jours, et les résultats sont fournis via un site web (<http://glews.tamu.edu/mongolia>). Pour produire des cartes sur les conditions fourragères, le fourrage total disponible pour le bétail, est le produit de chaque site de contrôle et localisé de concert avec les données d'imagerie obtenues par télédétection pour la région; une interpolation géostatistique est menée pour créer des cartes régionales de fourrage disponible. Le système SAPFB incorpore également, un système statistique prévisionnel permettant d'effectuer une projection des conditions fourragères disponibles à 60 jours. (Chapitre 12).

Les données climatiques provenant du Centre de Prévision du Climat de l'Administration Nationale Océanique et atmosphérique (NOAA), sont utilisées comme variables pilote pour un modèle de simulation fourragère. Il prévoit la biomasse fourragère pour les sites de contrôle à travers la région, sur une base quotidienne, en accord avec l'équilibre hygrométrique du sol et le prélèvement fourragère du bétail. Des transects permanents de végétation ont été installés à travers la région, afin d'obtenir l'information nécessaire pour paramétrer le modèle. Une procédure géostatistique de cartographie, spécifiquement le co-krigeage<sup>2</sup> est expliquée pour dresser des cartes régionales de biomasse fourragère, avec pour produit, un modèle représentant la première variable, et l'état de verdure de la végétation obtenu par télédétection représentant la seconde. Pour prévoir les conditions fourragères probables, un modèle moyen de prévision auto-régressif, intégré dynamique, est utilisé, afin de fournir des prévisions fourragères à 90 jours. Une formation est dispensée aux éleveurs, aux ONGs, et autres parties prenantes, pour l'usage du SAPFB. L'inventaire SAPFB fourragère, est continuellement mis à jour, à travers l'apport de données actualisées de climat et de télédétection, simultanément aux données de terrains. Le système doit être adapté et institutionnalisé par l'Agence Mongolienne de Météorologie, Hydrologie et Contrôle de l'Environnement.

### 3.9 CHINE

#### **Inventaire des aliments pour le bétail sur le plateau tibétain par télédétection et observation *in-situ***

Une approche modèle/télédétection a également été choisie pour évaluer les ressources alimentaires animales, pour les pastoralistes du Plateau tibétain (Chapitre 13). Deux modèles

<sup>1</sup> PHYGROW est un moteur algorithmique et informatique basé sur des points, fonctionnant sur une base quotidienne, qui modélise la croissance végétale hors-sol, la consommation fourragère et les processus hydrologiques

<sup>2</sup> Le kriging procure un moyen d'intrapoler des valeurs pour des points non échantillonnés physiquement en utilisant les connaissances rassemblées sur les relations sous-jacentes dans une base de données à cet effet. Le cokriging est une technique d'intrapolation permettant de mieux estimer les valeurs cartographiques du kriging si est connue la distribution d'une variable secondaire échantillonnée plus intensément que la primaire.

sont appliqués, l'un pour calculer la productivité végétale totale, et l'autre pour calculer la biomasse fourragère standard.

Le Modèle pour la Productivité de Végétation (MPV), utilise l'Index de Végétation Amélioré (IVA), tiré du satellite MODIS. Les données sont téléchargées à partir du centre US de données d'enquête géologiques (USGS). La résolution spatiale est de 500m x 500m et la résolution temporelle est de 8 jours. La MPV utilise également la radiation photosynthétiquement active par télédétection à partir du satellite TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), et les données de température, à partir du centre chinois de partage des données météorologiques. Le modèle assume que la productivité végétale est fondamentalement limitée par les radiations photosynthétiquement actives (RPA).

L'IVA est supposé être directement lié à la fraction RPA absorbée par la végétation. L'efficacité maximale de l'utilisation du RPA par la végétation, constitue un paramètre. Cette efficacité est également affectée par la température, l'eau, et l'état physiologique de la plante. La mesure des flux de CO<sub>2</sub>, sont utilisés pour paramétrer et valider le MPV.

Le modèle de biomasse fourragère applique l'IVA pour calculer la biomasse hors-sol (BHS). Les relations entre l'IVA et la BHS sont déterminés empiriquement. La biomasse fourragère est perçue comme une fraction de la BHS, dont une partie dépend du type d'herbage, de la période de pâture, du type d'usage et de l'état de dégradation.

### 3.10 ÉTATS-UNIS

#### Évaluation des ressources de pâturages à l'échelle nationale

Aux termes de la loi, le secrétaire américain de l'Agriculture est prié de préparer une évaluation des ressources renouvelables de la forêt, des parcours et des autres terres associées tous les 10 ans (Joyce, 1989). Conformément à ce mandat, des évaluations complètes de situation fourragère US, ont été effectuées (Joyce, 1989; Mitchell, 2000). Ces évaluations ont été compilées et diversifiées; elles ont couvert les aspects écologiques, agricoles, économiques et socio-économique de la situation. Eu égard à l'évaluation des apports fourragers, une attention particulière a été portée dans les deux évaluations, sur les superficies dévolues aux pâturages et à la situation sanitaire des parcours. Dans le travail de 1989, il a été indiqué que la production nationale de fourrage est difficile à quantifier, et qu'elle est fonction de la disponibilité, productivité et gestion des terres. Cependant, l'utilisation de la technologie des parcours n'a pas été inventoriée à l'échelle nationale. Un modèle de production fourragère a été utilisé, sur base des estimations antérieures, effectuées par le Service de Conservation des Sols (SCS), sur la productivité par site des parcours. Elles prenaient en considération la condition des parcours et les facteurs pour leur usage propre, afin d'estimer les taux de charge, en termes d'unités animales par mois. Une approche différente fut employée pour les zones forestières. Les estimations de production de foin du Département Américain de l'Agriculture, ont été prises en compte. Sur les pâturages communaux, les parties de terrain alloué pour le pâturage furent évalués par unité de gestion, simultanément aux taux de charge animale.

Ce qui est important, c'est que le pâturage doit être considéré comme un des nombreux usages. Il doit être en équilibre avec les besoins pour la faune sauvage, la biodiversité, les services des écosystèmes et les loisirs. L'intendance du sol et des ressources naturelles est primordiale. La santé des parcours est liée au concept plus large de durabilité et de gestion

durable (Mitchell, 2000). "Le procédé de Montréal, est un standard pour évaluer la durabilité des parcours, à une échelle nationale à travers sept critères: biodiversité, capacité productive, santé de l'écosystème, conservation des sols et de l'eau, contribution au cycle mondial du carbone, bénéfices socio-économique multiples, et cadre légal économique-institutionnel."

Étant donné ces considérations, il a été possible de faire le total des unités animales/mois, sur les terrains communaux des Etats-Unis. Le total des unités animales/mois du privé, peut être calculé à partir des statistiques nationales. Sur base de ces sources, il a été calculé qu'au plan national, 86% des ressources alimentaires animales, du bétail bovin, provient de terres privées non irriguées, 7% des terrains communaux, 5% de résidus de cultures, 2% de pâturages irrigués. Cependant, il a également été conclu que les évaluations nationales fourragères sont difficiles, tout simplement, parce que la production de fourrage n'est pas inventoriée (Joyce, 1989). Le manque de connaissances écologiques concernant les facteurs qui déterminent la production fourragère, a été reconnu, et il a été recommandé une plus grande compréhension générale de la croissance végétale et de ses réponses aux facteurs d'environnement.

### 3.11 MONDIAL

#### **Évaluation utilisant IMPACT (Modèle International pour l'Analyse des Politiques des Matières Premières Agricoles et le Commerce) et SLAM (Modèle de Répartition Spatiale du Bétail)**

Une récente évaluation mondiale de l'agriculture a indiqué trois différents modèles pour estimer la situation alimentaire mondiale et ses conséquences pour l'environnement (Mcintyre *et al.*, 2009). Ils ont appliqué IMPACT (Modèle International pour l'analyse des politiques des matières premières agricoles et le commerce) (Rosegrant *et al.*, 2002), un modèle d'équilibre partiel sectoriel, afin de procurer des aperçus des échanges à long terme, dans la demande et l'apport alimentaire aux marchés régionaux, en prenant en compte les changements dans les modes commerciaux. Le modèle IMAGE 2.4 (Eickhout *et al.*, 2006) a été utilisé pour mener à terme des évaluations de l'environnement. Les changements terrestres simulés par IMAGE ont donc été utilisés comme intrants dans le modèle GLOBIO-3<sup>3</sup> de biodiversité terrestre (Aikemade *et al.*, 2006).

Ils ont utilisé SLAM (Spatial Livestock Allocation Model) (Thornton *et al.*, 2002; 2003; 2006), particulièrement adapté dans cette situation, guidé par les apports en bétail et les résultats de la demande fournie par IMPACT. Le rôle principal de SLAM était de convertir les sorties de bétail d'IMPACT (à savoir le nombre d'animaux abattus) en équivalents bétail par système bétail, afin d'estimer l'intensité de pâture qui alors, pouvait être introduite dans IMAGE 2.4. Quatre classes de systèmes bétail ont été identifiés: sans terre, parcours seul, mixte-pluvial, et mixte-irrigué. Le bétail a été réparti dans les quatre systèmes, sur base de l'agro-climatologie, de la couverture du sol, et de la densité de la population humaine (Kruska *et al.*, 2003). Les systèmes basés sur le pâturage, ont ensuite été divisés en zones climatiques (aride-semi-aride, humide-sub-humide, tropicale, hauts-plateaux/tempéré). La couche de liaison de données de la Couverture Mondiale Terrestre 2000 (GLC) a été

<sup>3</sup> GLOBIO est un cadre de modélisation qui permet de calculer l'impact d'un certain nombre de pilotes environnementaux sur la biodiversité du sol, passée, présente et future.

employée, ensemble avec le Projet Mondial de Cartographie Rural Urbain (GRUMP) pour les données de population humaine à 1 km de résolution (GRUMP, 2005).

IMPACT a également été utilisé par Delgado *et al.* (1999) pour évaluer la production mondiale de grain, en relation avec la demande accrue pour le bétail. Ils ont paramétré le modèle avec les surfaces de cultures, les tendances dans la croissance des rendements, la taille des troupeaux, et leur productivité, ainsi que les niveaux initiaux et les tendances dans la conversion des ressources alimentaires animales. Les paramètres ont été établis à partir d'analyses économiques, de jugements d'experts et la synthèse de la littérature pertinente. Herrero *et al.* (2009) ont utilisé IMPACT pour prévoir la production des cultures et du bétail, les prix, l'utilisation de l'eau, les revenus, et la malnutrition. Une seconde étape de leurs évaluations a employé GIS, pour re-transférer pays et produits unitaires alimentaires d'IMPACT à différents systèmes de production animale au sein des pays et régions.

Un effort majeur pour évaluer mondialement les systèmes de production ruminants est également basé sur un modèle (Bouwman *et al.*, 2005). Le cadre de modélisation IMAGE (Aicamo *et al.*, 1998) est utilisé comme point de départ. La production de bétail modélisée pour 1970-1995 s'est inspirée des données FAOSTAT de production, d'utilisation et de commerce de la viande, du lait, des œufs et autres produits par catégorie d'animaux. D'autres sources de données FAO en production animale furent aussi utilisées (Bruinsma, 2003; Sere & Steinfeld, 1996). Les besoins du bétail en aliments ont été tirés d'un modèle existant sur l'équilibre énergétique (EPA, 1994). Les cartes de couvertures des sols utilisées dans IMAGE furent appliquées pour estimer la distribution des pâturages et de terres arables.

### 3.12 MONDIAL

#### Évaluation de l'appropriation humaine mondiale de la production primaire nette (HANPP)

Beaucoup peut s'apprendre des évaluations de la production annuelle des biomasses végétale (production primaire nette) utilisée pour les humains car une composante significative de ces évaluations est l'utilisation de la biomasse végétale pour le bétail. Tandis que ces évaluations à l'échelle mondiale peuvent être relativement grossières pour présenter un intérêt au niveau national, les méthodologies d'évaluation mondiale deviennent progressivement plus fines, et procurent des détails additionnels à la distribution spatiale des ressources alimentaires animales et à leur utilisation à l'intérieur des pays.

La première tentative pour effectuer une telle évaluation (Vitousek *et al.*, 1986) ne parvint pas à calculer, combien de PPN était disponible pour l'alimentation animale, mais réussit à calculer la portion probable utilisée par le bétail, ainsi que la fraction de la PPN totale utilisée pour les aliments pour animaux le bétail. Les auteurs ont employé les premières estimations de PPN faites par des écologistes, sans l'aide de GIS ou de base de données obtenus par télédétection. Dans les estimations "basses", qui n'incluaient que l'utilisation directe, ils se sont référés sur les estimations antérieures de la littérature sur l'utilisation mondiale des aliments par le bétail (Wheeler *et al.*, 1981; Pimental *et al.*, 1980). Dans les estimations "intermédiaire", ils ont introduit également l'étendue des surfaces converties en pâturage déviés de leur usage, (qui représente 19% du total de PPN pâturables), ainsi que les pertes par feux allumés par l'homme. Dans leur estimation "haute", ils ont inclus le terrain perdu par désertification. Le raisonnement conséquent à ces estimations "inter-

médiaire" et "haute" est, que le bétail requiert plus de matériel végétal des écosystèmes terrestres que celui simplement comptabilisé comme aliments pour le bétail.

Avec l'arrivée des GIS, et des bases de données et modèles obtenus par télédétection, il est devenu possible d'estimer de manière plus précise la distribution spatiale des PPN, et leur usage sur la surface terrestre (Imhoff *et al.*, 2004). Cette analyse a démontré la nature inégale des prélèvements humains, et l'importance croissante des produits de la PPN, via les importations et les exportations. Cela a été utile pour identifier les régions à haut impact (points chauds), celles de surplus et de nette demande comparés à la PPN, et donc des déficits de flux d'énergie dans l'espace. D'où, on peut tirer un tableau de l'équilibre explicite de la fourniture et de la demande en PPN.

Imhoff *et al.*, ont pris pour base de la demande en alimentation humaine, beaucoup de données FAO, et, ont ensuite utilisé un ratio national de demande de nourriture pour la population humaine en combinaison avec une carte de population, pour créer une carte de la demande. Ils ont utilisé des estimations de PPN à partir d'un modèle carbone mondial, tiré de données de télédétection (Potter *et al.*, 1993; Slayback *et al.*, 2003). Une revue d'autres évaluations par modélisation de la PPN mondiale, peut être trouvée chez Cramer *et al.* (1999). Ils ont estimé la quantité des matières organiques utilisées comme aliments pour le bétail, en appliquant des taux d'efficacité pour le grain (en moyenne 2,3/1 kg grain/kg carcasse tous types de viande) et pour le pâturage (21,46/1 pour les ruminants) en utilisant les données d'études antérieures. Les PPN totaux requis pour une alimentation animale à base de grains, est alors calculée comme pour les aliments végétaux humains, en ajoutant des résidus et les facteurs de perte appropriés à l'état du développement de chaque pays. Il faut noter que cette approche est basiquement la même qu'en calculant un bilan alimentaire pour animaux, et en le cartographiant dans l'espace, comme cela a été fait dans les essais d'équilibre alimentaires repris dans les études de cas (e.a. Chapitres 10, 15).

L'évaluation la plus récente de HANPP s'est basée sur les meilleures bases globales de données intégrées dans une GIS à haute résolution au niveau mondial, utilisée en combinaison avec les estimations de la PPN à partir du modèle mondial de végétation dynamique appelé LPJ (Harberl *et al.*, 2007a, b). Les données statistiques de la FAO sur l'élevage, les rendements agricoles, et les prélèvements forestiers au niveau national ont été mis en relation avec une carte mondiale d'une utilisation des sols, dressée à partir d'une variété de données provenant de sources GIS. Les statistiques de la FAO sur le bétail fut employée pour extraire un bilan alimentaire pour animaux pour chaque pays, afin de calculer la biomasse pâturée qui n'est pas reprise dans les statistiques. La PPN de la végétation présente, incluant les cultures, a été calculée en utilisant LPJ, afin de répartir spatialement la PPN totale rapportée dans les statistiques agricoles. La PPN des terres cultivées a été définie comme la somme de la PPN récoltée, ainsi que rapportée dans les statistiques et d'autres fractions sont reprises dans celles-ci. La PPN des terres pâturables a été calculées sur base des parcours LPJ qui ont été modifiés afin de considérer les effets des écosystèmes, de la dégradation des sols, de l'irrigation et de la fertilisation. La PPN utilisée par les animaux au pâturage n'est pas reportée dans les statistiques agricoles, de sorte que les bilans alimentaires pour animaux sont estimés sur base des données sur les effectifs animaux et sur la production animale à partir des statistiques agricoles (Wirsenius, 2003). La biomasse pâturée (prélèvement) a été spécialement réservée aux terres pâturables en présumant



qu'elle serait plus élevée dans les aires de pâturages les plus propices et la plus faible dans les zones les moins appropriées.

Dans une évaluation sur les impacts du bétail sur le cycle mondial du carbone, Asner et Archer (2010), ont considéré l'utilisation des aliments par le bétail comme un de ceux-ci parmi beaucoup d'autres. Ils ont utilisé des études par satellite et modélisation qui ont estimé la PPN mondiale (Field *et al.*, 1998; Imhoff *et al.*, 2004) et déterminé les quantités de carbone fixées via la production primaire au sein des cultures et des pâturages (Sabine *et al.*, 2004), ainsi que les quantités de carbone réellement consommées par le bétail (0,45 Pg C/an), par opposition à la PPN totale, comprenant les déchets, la production des semences, la répartition dans les racines et autres flux auxiliaires (2 Pg C/an).



SECTION II

# **Méthodologies et Lignes Directrices**



## 4. Une synthèse des méthodologies disponibles pour les évaluations nationales des aliments pour animaux

### 4.1 CALCUL DU CROIT DANS LES BESOINS EN ALIMENTS POUR ANIMAUX DU BÉTAIL

Quoique l'objet primordial de ce document soit les systèmes d'évaluation pour les réserves nationales en ressources alimentaires animales, le besoin d'une telle évaluation est fondamentalement requis par la question de savoir si les réserves en aliments pour animaux pourront satisfaire les demandes futures. Les implications de la disponibilité en ressources alimentaires animales sur la sécurité alimentaire dépendent de ces évaluations.

Une approche pour calculer les demandes présentes et futures pour la consommation humaine est décrite au chapitre 7. Celle-ci provient de la multiplication de la consommation prévue *per Capita* pour la croissance prévue de la population humaine. La demande pour les aliments d'origine animale est incluse dans cette projection, en se basant sur les modes diététiques présents et futurs. En tirant parti de la demande prévue en aliments d'origine animal, la demande en aliments pour animaux est calculée en utilisant des ratios de conversion.

Les demandes pour les aliments d'origine animale sont spatialement distribuées et cartographiées à travers des cartes de distribution de la population humaine, tels le Projet de Cartographie Rural et Urbain (GRUMP) et les effectifs totaux des populations fournis par les projections de la FAO et autres organisations internationales.

Le détournement de la production céréalière vers les aliments pour le bétail est également une composante des besoins alimentaires humains. La prévision des besoins en production céréalières est calculée par la projection des demandes en aliments pour le bétail. Les produits de cultures disponibles pour les humains sont calculés en soustrayant les cultures végétales utilisées pour les aliments pour le bétail, les semences, les déchets et la production industrielle.

### 4.2 RÉSERVES EN ALIMENTS POUR ANIMAUX DES SYSTÈMES BASÉS SUR LES CULTURES VÉGÉTALES

Les approches mises en place pour l'évaluation des aliments pour le bétail, dans les systèmes céréaliers ou mixtes céréales-bétail sont hautement dépendants des statistiques de production céréalière fournie par les agences nationales gouvernementales. Ceci est aussi vrai dans le système sophistiqué suisse que dans le système développé plus récemment en Inde. Les données de productivité peuvent prendre la forme de biomasse des cultures et de

leurs résidus associés par unité de superficie. Les données sont ensuite combinées avec celles d'utilisation des sols caractérisés par leur couverture par les différents types de cultures.

Un aspect clé de cette approche est le système utilisé pour classer l'utilisation et la couverture des sols, ainsi que les types de culture. A un certain point, une carte de la couverture du sol se révèle nécessaire; les types d'usage et de couverture y sont délimités spatialement. Les cultures peuvent être classées par espèces, par systèmes ou même par classes de plus grande ampleur. Pour atteindre une précision plus grande, les types de couverture identifieront les variations pédologiques et climatologiques pouvant affecter la productivité. Alternativement, les types de couverture peuvent être recoupés avec des cartes de fertilité des sols et de climat, comme celles des précipitations et des saisons de croissance, afin de développer une classification distinguant précisément les types de cultures et leur différence en potentiel productif dues à des contraintes environnementales.

La seconde donnée importante à introduire, est la productivité des cultures. Celle-ci se situe au-delà de la portée de ce Manuel qui est seulement de décrire les diverses méthodes employées pour estimer la production des cultures. Ainsi qu'indiqué, les inventaires d'aliments pour animaux sont obtenus à partir des données fournies par les agences gouvernementales de sorte que cet aspect se trouve en dehors du système d'évaluation d'aliments pour animaux. Il va sans dire que les données sont, en fin de compte, basées sur l'abondance des résultats de la recherche agricole et des données obtenues à partir des marchés de matières premières au sein du pays. Une considération importante, néanmoins, est la concordance entre les données de production des cultures, avec celles d'utilisation et de couvertures des sols. Un système commun de classification doit être mis en place, ou un système de conversion entre celui de production des cultures, et celui d'utilisation et de couverture des sols, afin de permettre le calcul de la production totale pour chacun de ces types.

Quoiqu'un système de télédétection pour l'estimation de la productivité culturale ne soit pas présenté ici, il existe un vrai potentiel pour cette approche. Les données de télédétection sont d'excellents intrants pour le modèle de production primaire mondiale, comme décrit ci-dessus en section modélisation à l'échelle mondiale. La verdure télédéteectée ou les indices de biomasse verte, insérés au fil du temps, peuvent être corrélés à la production primaire, simultanément aux données auxiliaires, comme l'efficacité de l'emploi de la lumière spécifique aux cultures, les radiations solaires et la disponibilité en eau de surface.

Le calcul de la disponibilité en aliments pour animaux, à partir des données de la production des cultures, entraîne inévitablement l'emploi de facteurs de conversion entre la biomasse totale produite et la biomasse réelle des aliments pour animaux. En Inde, par exemple, est utilisé le ratio aliments pour animaux/Culture Totale Récoltée (Chapitre 9). Dans une évaluation chinoise, ont été utilisés des taux d'extraction comme la proportion de grains, de pailles, par céréale (Simpson *et al.*, 1994). Les quantités réellement utilisables par les animaux doit également prendre en considération le gaspillage, les pertes de transports et entreposage, et l'usage pour engrais. L'estimation de tels facteurs de conversion pose quelquefois problème car il existe peu de documentation à cet effet. Il est apparent que, souvent, les estimations sont basées sur peu de données et des approximations. Des recherches complémentaires doivent être ciblées pour améliorer les données sur lesquelles de tels ratios d'extraction sont formulés.

Des facteurs de conversion sont également employés pour calculer les résidus de culture et les sous-produits utilisés comme aliments pour animaux. Ainsi, en Inde, existe à cet effet le ratio de données de sous-produits utilisable par rapport aux tonnes de céréales récoltées (Chapitre 9). L'évaluation chinoise (Simpson, 2006) inclut un partage de la production culturale totale en produit primaire, ainsi que tout sous-produit pouvant être utilisé comme aliments pour animaux. La section ci-dessus "résidus de culture dans les systèmes mixtes cultures/bétail en Afrique" emploie des facteurs mis au point à travers des études plus détaillées (Kosilla, 1998). Comme pour les ratios d'extraction, les sources de ces facteurs de conversion ne sont pas très claires et il existe beaucoup d'espace pour le développement de sources saines de données. Si l'on considère la dépendance croissante aux résidus de culture et aux sous-produits spécialement dans les pays en développement, et dans les régions très peuplées, et l'utilisation croissante de ces sources, ces dernières vont progressivement augmenter d'importance. Quoique peu de détails ont été fournis ici sur les flux de aliments pour animaux vers et hors des pays à travers les importations et exportations, ils doivent cependant être pris en compte dans les équilibres nationaux des aliments pour animaux.

Le système Suisse prend explicitement en compte les flux commerciaux dans ses évaluations annuelles sur l'utilisation des ressources alimentaires animales. Elle considère également les chargements dans les stocks rémanents, ou réserves, car ils seront à même de pallier les déficits, si nécessaire. Les données d'import/export représentent vraisemblablement le domaine des entités concernées par le commerce des matières premières et des activités de marche.

Une autre source d'aliments pour le bétail, sont les sous-produits en provenance de l'industrie alimentaire. Dans l'exemple suisse (Chapitre 8), les sous-produits provenant de la transformation industrielle alimentaire et pouvant être utilisés comme aliments pour animaux, sont estimés à partir de sources industrielles ou de bureaux agricoles. Il est probable que cette approche peut être utile dans beaucoup, sinon la plupart, des pays où il existe une source importante de aliments pour animaux. La rentabilité des ingrédients alimentaires produits industriellement à partir des cultures est additionnellement affectée par l'économie qui, à son tour, est influencée par l'utilisation de ces ingrédients à des fins alternatives et compétitives. Par exemple, l'emploi de mélasse pour le bétail peut être trop coûteux à cause des prix élevés que humains sont prêts à payer pour l'utiliser dans l'alimentation. Les biocarburants peuvent devenir une demande concurrente en aliments pour animaux, et peuvent également provoquer une hausse des prix. Ainsi, prendre simplement en compte, les aliments "disponibles" pour animaux ne fonctionnera pas, leur utilisation réelle et potentielle doit être reconsidérée. Les informations sur leur prix représentent la clé de la disponibilité pour le bétail. Les évaluations doivent relier les prix des aliments pour animaux, et leurs valeurs nutritives aux produits animaux attendus avec leurs prix sur le marché (e.a. son de riz et poids du porc sur pied; pailles de sorgho et de blé; et prix du lait en zone rurale et péri-urbaine).

#### **4.3 PROVISIONS EN ALIMENTS POUR ANIMAUX DANS LES SYSTÈMES SPATIALEMENT EXTENSIFS**

Pour les systèmes animaux spatialement extensifs, les données de télédétection sont indispensables. Cependant, des données-clé de terrain sur la biomasse fourragère sont égale-

ment nécessaires pour convertir les données de télédétection en quantités de biomasse fourragère. La nature extensive de ces systèmes requiert également l'emploi d'une variété de données spatialement explicites, les capacités d'interprétation et de modélisation du GIS, comme expliqué dans le chapitre 16 sur des "Technologies, Outils et Méthodologies" pour l'évaluation pour l'évaluation fourragère des parcours. Dans ce chapitre, quatre exemples sont présentés sur des systèmes dans lequel les données de télédétection, combinées à des données d'échantillonnage au sol de fourrage, sont utilisées pour évaluer les situations fourragères dans les régions pastorales. Deux d'entre eux ont été façonnés en système d'alarme précoce afin d'alerter les gouvernements, les agences humanitaires et les pastoralistes en cas d'apparition de disettes dues à des sécheresses ou de sévères conditions hivernales. Un tel système a été installé au Sahel; il incorpore les données de télédétection sur la biomasse verte et sur l'eau, avec des données CIS additionnelles (Chapitre 10). Un système d'alerte précoce pour le bétail (SAPB) a été conçu et utilisé aussi bien en Afrique qu'en Asie (Chapitre 12). Une caractéristique puissante du SPAB est qu'il utilise un modèle de simulation de la végétation, piloté par des données statistiques programmées de précipitations afin d'estimer les risques futurs de disette en aliments pour animaux. Les données de télédétection peuvent également être incorporées comme intrants dans des modèles relativement simples de production primaire en combinaison avec des données sur l'efficacité lumineuse, les radiations solaires et la température (Chapitre 13). Un autre système emploie déjà des stations réceptrices locales pour télécharger les données de télédétection (chapitre 11). Les données sont alors transformées, en combinaison avec les données de terrain, pour dresser des cartes de biomasse fourragère.

Lorsque des données extensives de terrain sont disponibles, il est possible de réaliser des évaluations fourragères au niveau national sans l'assistance de données de télédétection. Une telle approche aux USA s'est basée sur les estimations en cours faites par le Service US de conservation des Sols sur les valeurs productives de fourrage tropical dans les sites de parcours contenus dans les enquêtes des sols (Joyce, 1989). Ces derniers avaient été poursuivis pendant plusieurs années à travers les activités du SCS financées au niveau fédéral.

#### **4.4 TECHNOLOGIES, OUTILS ET MÉTHODOLOGIES POUR L'ÉVALUATION FOURRAGÈRE DES PÂTURAGES ET DES PARCOURS**

Les parcours comprennent les pâturages, les steppes, les savanes, et les forêts; ils procurent une part significative mondiale des aliments pour animaux (75%), particulièrement dans les régions aride et semi-aride, des pays en développement. Cependant, les parcours sont souvent spatialement extensifs, hétérogènes, non développés en termes d'accessibilité, et faiblement peuplés. Contrairement aux cultures qui sont récoltées et vendues sur les marchés en quantités mesurées, la production de parcours est souvent estimée de manière imprécise, ou pas du tout. Elle varie avec le temps, suivant les conditions climatiques, de sorte que ses valeurs moyennes, lorsqu'elles sont disponibles, sont souvent imprécises. Fondamentalement, il n'est pas faisable économiquement, d'investir suffisamment de ressources dans le contrôle au sol, afin d'obtenir les données nécessaires à une évaluation nationale en aliments pour animaux. Il a ainsi été démontré, qu'il est spécialement difficile de dresser des inventaires nationaux des aliments pour animaux pour le parcours.



Durant les trente dernières années, s'est déployée une foule de développements technologiques dans les GIS, la télédétection et la modélisation par ordinateur de la productivité des parcours. Ceux-ci pourraient être systématiquement appliqués aux évaluations de la situation des aliments pour animaux à grande échelle. Ces technologies peuvent être étroitement couplées avec des approches d'échantillonnage de terrain qui, de leur côté, ont également bénéficié de progrès technologiques, comme les protocoles d'échantillonnage basés sur les GIS, et l'analyse qualitative de fourrage par spectroscopie à Réflectance infrarouge. Un survol de ces technologies est repris au Chapitre 16.

Deux suggestions sont proposées pour accroître la capacité à élargir un nombre limité d'estimations de terrain sur la biomasse fourragère à une plus grande échelle. La première est l'application des techniques d'estimation sur le terrain comme le double échantillonnage, qui réduit considérablement travail et temps. Exécutée correctement, avec une aide statistique, elle ne compromet, la précision que faiblement. La seconde est l'emploi de la GIS, et des données spatiales obtenues par télédétection pour stratifier l'échantillonnage plus efficacement. Un échantillonnage approprié de chaque strate permet d'élargir l'échelle de chaque strate jusqu'à des ensembles comme un territoire, ou une région.

Dans les parcours, la qualité du fourrage est tout aussi importante que la quantité, car souvent, elle est limitante et variable dans le temps. Sans cette estimation de la qualité, il est impossible de savoir quelle est la fraction de la biomasse de la plante totale, qui représente réellement une source d'aliments pour animaux. En effet, alors qu'il peut sembler exister des excédents de biomasse dans la plante, celle-ci peut ne pas être consommable dans sa totalité et dans le cas des ruminants, un matériel de pauvre qualité peut réduire le transfert et le taux d'ingestion du fourrage. L'estimation directe de la qualité du fourrage sur des surfaces étendues et à une fréquence suffisante, s'avère prohibitif. Cependant, le NIRS s'est montré capable de traiter un grand nombre de prélèvements à un coût acceptable. Pour un inventaire national des aliments pour animaux, le NIRS peut représenter la meilleure approche pour cette évaluation qualitative. Comme démontré dans les études de cas au Sahel, Tibet, Mongolie et Afrique du Sud, la télédétection s'est révélée indispensable pour le contrôle et l'évaluation de la situation fourragère sur de larges surfaces. Le Chapitre 16 fournit une revue de l'emploi des données de télédétection à cet effet. En particulier, les indices de végétation télédélectable comme le NDVI ont été hautement développées. Et largement appliqués. Les données sont normalement utilisées en relation directe avec la biomasse verte et la productivité ou comme intrant pour les modèles calculant les productivités à partir de la quantité de radiation diminue interceptée par la biomasse foliaire verte.

Cependant une demande accrue en termes de sophistication et d'expertise, une modélisation par simulation des productivités de la végétation des parcours du bétail et de la dynamique des écosystèmes, ont considérablement progressé pendant les trente dernières années. Les modèles requièrent en général un nombre considérable de données, mais, une fois paramétrés et testés, leurs possibilités s'étendent bien au-delà d'approches purement empiriques. Une caractéristique unique et leur potentiel à représenter les évaluations temporelles saisonnières et annuelles de qualité et quantités de fourrages, et les effets possibles de ces variations sur la consommation énergétique et en nutriments du bétail. Les variations temporelles peuvent être plus significatives que les quantités annuelles moyennes ou

totales de fourrage produit, parce que ce sont les périodes de disette qui finalement, sont déterminées pour les charges durables en effectifs animaux.

Par ailleurs, les modèles peuvent être spatialement améliorés, en insérant les intrants produits par le GIS, et télédétection, afin de prendre en compte les conséquences de l'hétérogénéité des topographies, des sols, de la disponibilité de la végétation et de l'eau. Une telle hétérogénéité est particulièrement significative pour les grands herbivores mobiles (Coughenour, 2008). Souvent, les ressources sont concentrées dans des zones clé du site, surtout pendant la période de disette. Tertio, les modèles sont généralement basés sur une compréhension mécanique des phénomènes impliqués, d'où la croissance végétale et la production animale, ainsi que dans la manière dont ces phénomènes répondent aux variables de l'environnement. Quarto, les modèles sont intégratifs, reliant entre eux climat, sols, végétation et animaux. Ils ne prennent pas seulement en compte, les causes et les effets linéaires, mais aussi les réactions, par exemple, de l'animal sur les plantes et les sols. Quinto, comme ils sont pilotés par des données climatiques, ils possèdent un potentiel pronostique, à savoir, pouvoir effectuer des propositions basées sur l'état actuel d'humidité du sol, en biomasse verte et des scénarios vraisemblables de conditions climatiques à venir. De tels modèles peuvent également servir pour examiner des scénarios "que se passerait-il si?" Portant sur le climat, les politiques, les accroissements de population humaine et animale, les changements d'utilisation des sols, etc.

Les effets de la distribution spatiale de la topographie, de l'eau et de la couverture végétale sur les disponibilités fourragère peuvent être considérés en appliquant des approches GIS. Quoique les données de la télédétection puissent estimer la biomasse sur de larges étendues, l'ensemble de celles-ci peut ne pas être disponible par l'existence d'une topographie impraticable, ou de larges trajets pour l'abreuvement. Les évaluations des aliments pour animaux doivent prendre ces limitations en compte. Le Chapitre 16 suggère des approches possibles pour ce problème. Des approches semblables vont être appliquées pour le cas du Sahel (Chapitre 10). Il est également possible d'envisager les effets de la topographie et de l'eau sur la distribution spatiale du bétail au sein d'une approche par modélisation de l'écosystème (e.a. Le modèle SAVANNA) (Chapitre 15).

Les taux potentiels de charge peuvent être calculés en combinant les estimations de fourrage disponible avec les besoins fourragers par animal, la part du fourrage consommable ne causant pas de dégradation, les quantités nécessaires pour la faune sauvage, et les pertes par le feu. Les taux de charge réels peuvent être supérieurs du fait d'importation d'aliments pour animaux. Les besoins animaux peuvent être calculés en détail, par l'emploi d'outils d'équilibre nutritionnels, tels que NUTBAL,<sup>4</sup> qui détermine les besoins en énergie et nutriments protidiques pour l'entretien et la production.

Il s'agit essentiellement de la même approche que celle employée pour calculer les bilans alimentaires des aliments pour animaux. La part de fourrage qui peut être durablement consommée, aussi connue comme part admissible ou facteur d'usage approprié, est hautement significative, même si on ne lui accorde que peu d'attention. Elle peut varier largement et dépend des espèces végétales, de la fertilité des sols, et des modes de pâturage.

<sup>4</sup> NUTBAL est un logiciel don't l'objet principal est de fournir à l'industrie animale les moyens de surveiller la concentration en nutriments dans une ration animale et de déterminer si la ration actuelle est à même de satisfaire les objectifs de performance fixés par le producteur.

Les quantités allouées à la faune sauvage, la biodiversité ou la réserve allouée à la durabilité de l'écosystème, doivent aussi être soigneusement déterminées et prises en compte dans l'évaluation de la disponibilité en aliments pour animaux.

Un système informatisé de gestion des données et de contrôle de qualité sera nécessaire pour un programme réussi d'évaluation nationale des aliments pour animaux. Les données de terrain récoltées à travers le pays doivent être saisies, organisées et rendues facilement recouvrables. Des quantités importantes de données sont reprises dans le GIS, la télédétection et les technologies de modélisation et sont nécessaires pour couvrir des régions diverses et étendues. Si ces technologies se révèlent inestimables pour l'évaluation en aliments pour animaux de parcours, ainsi que décrit ci-dessus, elles le sont tout autant pour les systèmes cultureux et les systèmes mixtes associant bétail et cultures, à savoir que leurs productivités varient dans l'espace et sont intrinsèquement reliées à l'usage et à la couverture des sols. Le modèle d'évaluation des aliments pour animaux, si elles consistent simplement en une série de calculs ou de dissimulations dynamiques plus élaborées, suppose l'organisation des entrées et sorties et de données tout comme leur traitement en amont et en aval.

#### **4.5 BILANS ALIMENTAIRES POUR ANIMAUX À PARTIR DES ÉVALUATIONS NATIONALES D'ALIMENTS POUR ANIMAUX**

Alors que les évaluations sur les inventaires des aliments pour animaux, et leurs capacités de production, procurent une information critique, la satisfaction en apports d'aliments pour animaux, peut seulement être estimée par rapport à la demande. La comparaison entre les besoins des animaux et les apports en aliments pour animaux représente l'essentiel du bilan en ces derniers. Celui-ci peut être calculé en termes d'énergie ou de nutriments spécifiques ou les quantités des aliments pour animaux qui doivent être importés pour satisfaire les besoins d'un pays. Le Chapitre 14 examine les méthodes de base pour déterminer ce bilan. Les étapes utilisées pour ce calcul sont: 1) l'estimation en apports aliments pour animaux en prenant en compte leur saisonnalité, et les pertes dues à l'inefficacité, au gaspillage, aux ravageurs et aux maladies; 2) la quantification des effectifs animaux et de leurs paramètres de production, en termes de saisie de gain de poids vif, production laitière, production en oeufs, etc; 3) l'estimation des besoins animaux en aliments pour animaux, en terme d'énergie et nutriments basés sur les espèces, les classes d'âge, l'état de reproduction, et la masse corporelle; 4) l'estimation de l'énergie procurée par les aliments pour animaux disponibles en prenant en compte les facteurs intervenant dans l'ingestion, comme la race, l'âge et l'accessibilité des aliments.

En Suisse, les données de recensement des animaux provenant des unités fédérales de recensement sont combinées aux besoins animaux en énergie et nutriments, établis par recherche. En Inde, une approche semblable est appliquée, et il est reconnu que les populations animales doivent être fragmentées par âge, sexe et classes fonctionnelles, ainsi que par espèces, car les besoins varient en conséquence. Les besoins nutritionnels peuvent être exprimés, assez simplement, par exemple, en kg d'aliments pour animaux par kg de poids vif par jour, ou, ils peuvent être plus détaillés, sur base d'estimations précises en énergie et besoins protéiniques pour les différentes races, poids vifs et les types fonctionnels (Chapitre 14).

Les méthodes pour évaluer la demande en aliments pour animaux à grande échelle sont tirées de la graduation des données recueillies au niveau local. L'approche d'échantillonnage à échelle multiple décrit par Dikshit et Birthal (2010) représente un exemple d'un schéma d'échantillonnage conçu systématiquement, permettant la graduation des familles aux villages, puis aux districts, et enfin à la nation. Une autre approche est le concept de petit groupe stratifié pour les enquêtes au niveau villageois (Erenstein and Thorpe, 2010). Les approches soulignent l'importance d'obtenir des données détaillées sur le terrain, afin de caractériser leur grande variabilité et complexité à travers les systèmes de production animale.

Dans les systèmes spatialement extensifs, il s'avère utile de dresser des cartes de bilan en aliments pour animaux, comme cela a été effectué dans le Sahel (Chapitre 10). De telles cartes identifient les sites où les aliments pour animaux sont, soit en déficit, soit en surplus, ce qui peut être résolu par les déplacements du bétail. Les cartes de distribution du bétail sont dressées sur base de l'information sur l'emplacement des pastoralistes et de leurs animaux. Elles permettent d'informatiser et cartographier les besoins en fourrage. La carte des besoins est alors comparée avec une carte de disponibilité en aliments pour animaux, pour en dresser une carte de surplus ou de déficit, qui s'avère une connaissance utile pour la planification du développement et les campagnes humanitaires contre la faim.

A plus grande échelle (régionale à mondiale), les cartes de distribution du bétail, peuvent être utilisées simultanément pour évaluer la répartition spatiale des besoins alimentaires du bétail en relation avec la demande. Cela pourrait être équivalent à calculer et cartographier le bilan d'aliments pour animaux. La section ci-dessous consacrée aux bases de données, procure des exemples de tentatives de cartographie globale de bétail, quoiqu'ils aient peu de portée pour évaluer les équilibres alimentaires.

À un niveau plus élevé, se pose également la question de l'équilibre des aliments destinés à l'homme, particulièrement le degré des aliments d'origine animale à satisfaire la demande humaine. La méthodologie employée pour de telles évaluations inclut obligatoirement l'utilisation des cartes de population humaine combinées aux besoins per capita d'aliments d'origine animale (Chapitre 7).

#### **4.6 SYSTÈMES DE BASES DE DONNÉES ET ÉVALUATIONS NATIONALES DES ALIMENTS POUR ANIMAUX**

Les évaluations nationales des aliments pour animaux, vont inévitablement impliquer la collecte et la gestion de grandes quantités de données. Les systèmes de base de données représentent, pour cette raison, une importante composante des méthodologies. Les détails de tels systèmes ne peuvent être fournis ici. Cependant les critiques des systèmes d'évaluation existants, insistent sur la mise en place de ces bases d'une façon ou d'une autre. Dans les systèmes hautement sophistiqués comme en Suisse, il existe une base de données gouvernementale centralisée, gérée par une unité de statistiques agricoles. Les statistiques sont disponibles via des rapports et Internet. Les données de systèmes aliments pour animaux, peuvent être rendues accessibles et faciles à utiliser comme en Inde. L'avènement de données spatiales et du GIS, ont clairement facilité la manipulation des évaluations d'aliments pour animaux, et les ont rendues plus précises. Dans les systèmes basés sur les cultures, les évaluations ont été bâties sur les données rattachées à l'usage sol/culture et

couverture du sol. Dans les systèmes spatialement extensifs, les évaluations dépendent presque entièrement, des capacités à traiter les données de télédétection et GIS, et dans certains cas, la capacité d'introduire ces données dans les modèles de production fourragère, qui sont aussi spatialement explicites. Des exemples de systèmes sont développés pour le Sahel (Chapitre 10) et la Mongolie (Chapitre 12). Des discussions plus avant seront fournies sur les capacités de traitement des données au Chapitre 16.

Tandis que le but est de développer ici des lignes directrices pour les évaluations nationales des aliments pour animaux, la connaissance de base de données FAO se révèle potentiellement utile, en ce sens qu'il existe une connexion entre celles-ci et les données nationales. Etant donné que les données FAO sont obtenues de chacun des pays, il semble évident que ce sont les pays et non la FAO, qui sont les pourvoyeurs ultimes de ces données. Toutefois, la FAO, les réassortit et les présente d'une manière aisément disponible pour améliorer la précision des données sur la disponibilité et les demandes d'aliments pour animaux, au niveau national améliorera en retour, les bases de données FAO. Comme mentionné ci-dessus, les estimations à l'échelle mondiale de l'appropriation humaine du PPN, ainsi que les impacts des balances carbone, sont finalement liées aux évaluations nationales.

Depuis 1950, la FAO a préparé un Recensement Mondial de l'Agriculture (RMA) (FAO, 2010 - <http://www.fao.org/economic/ess/ess-wca/en/>). Le programme 2010 était le 6<sup>e</sup> dans cette série. Depuis 1950, le RMA a aidé les pays à effectuer leur recensement national agricole au moins une fois tous les 10 ans, en utilisant des concepts, des définitions et une méthodologie conformes aux standards internationaux. Le RMA 2010 a fourni aux pays une approche flexible, pour une collecte intégrée de données agricoles sur une variété de sujets. La FAO encourage les pays à développer leurs programmes de recensement et d'enquêtes, en prenant en compte, leurs priorités, pratiques et disponibilités en ressources. Les sites décrivent les méthodologies appropriées:

- [www.fao.org/economic/ess/ess-wca/wca-guideline/en/](http://www.fao.org/economic/ess/ess-wca/wca-guideline/en/)
- [www.fao.org/docrep/009/a0135e/A0135E04.htm](http://www.fao.org/docrep/009/a0135e/A0135E04.htm)
- [www.fao.org/docrep/009/a0135e/A0135E05.htm#ch8.3](http://www.fao.org/docrep/009/a0135e/A0135E05.htm#ch8.3)

Les pays membres envoient les rapports de leurs recensements agricoles à la Division de Statistiques de la FAO, qui, ensuite, les dissémine à travers son site Web (<http://faostat.fao.org>) qui produit des séries chronologiques et des données croisées sur l'alimentation et l'agriculture pour environ 200 pays.

La version nationale de FAOSTAT, CountrySTAT (<http://www.fao.org/economic/ess/ess-capacity/countrystathome/en/>), est en train de se développer et de s'effectuer dans un nombre de pays cible, prioritairement en Afrique subsaharienne. Il offrira un site d'échange dans les deux sens, entre les pays et la FAO, ainsi qu'une facilité pour stocker les données au niveau national et sous-national. CountrySTAT rassemble et harmonise les informations statistiques institutionnelles disséminées afin que celles-ci deviennent compatibles les unes avec les autres, au niveau national et avec les données au niveau international. L'objectif principal est de faciliter l'accès à l'information aux décideurs, et de relier les sources de données, actuellement disséminées entre les diverses institutions.

L'autre moitié de l'équation du bilan des aliments pour animaux, implique la connaissance des densités des animaux, afin de calculer la demande pour ceux-ci. Les données des

effectifs d'animaux du monde ont également été développées avec le support de la FAO. Elles sont utiles pour les évaluations au niveau mondial, mais les méthodologies employées peuvent aussi être appliquées à un niveau national plus détaillé. La Division de Production et Santé Animales de la FAO (AGA) a mandaté le développement d'un Atlas Mondial des animaux, il y a 12 ans (FAO, 2001). Il a été perçu, que les statistiques sur les animaux, et la production animale varient considérablement de pays à pays, dans ce sens que les ensembles des données régionales ou continentales sont souvent incompatibles. Par conséquent, des méthodes ont été mises au point pour combler les manques de données, sur base des distributions à travers des environnements où des statistiques étaient disponibles. Des techniques de régression ont été utilisées pour établir des relations statistiques entre des effectifs de bétail connus, et différents paramètres d'environnement, y inclus ceux obtenus par imagerie satellitaire. Les données sur l'élevage des animaux et les cultures végétales ont été tirées des données nationales transmises à la FAO. Les données ont été complétées par des enquêtes et des recensements plus détaillés lorsqu'ils existaient, et différentes techniques statistiques nouvelles furent appliquées pour déterminer les effectifs animaux dans des zones écologiques variées au sein de chaque pays.

L'utilisation de modèles de distribution spatiale a été davantage développée depuis lors (FAO 2007). Les modèles utilisent des variables de prédiction comme des cartes de densité de population humaine, de distances routières et d'éclairage urbain, et de durée de la saison de croissance. Les intrants de données de télédétection impliquent la NDVI, les températures de l'air et du sol, des substitutions de précipitations, de l'humidité et l'évapotranspiration potentielle. Les modèles sont employés pour essayer d'adapter les densités d'animaux, extraits des rapports nationaux de recensement, d'enquêtes sur les animaux et de données d'archives. Alors que ces derniers représentent des intrants pour le modèle, la valeur est ici la répartition des données sur les animaux, à une résolution plus fine que les frontières administratives, et en relation avec la distribution spatiale du GIS, et des variables prédictibles de télédétection. Les espèces animales sont répertoriées individuellement; elles comprennent bovins, buffles, ovins, caprins, volailles et porcs et leurs cartes du monde sont disponibles gratuitement (<http://www.fao.org/AG/againfo/ressources/en/glw/home.html>). Additionnellement, les animaux peuvent être répartis au sein de systèmes de production animale en utilisant le modèle de Thornton *et al.* (2002; 2003). Ceci offre une possibilité d'estimer les besoins alimentaires des animaux, de manière plus précise parce que les rations pour les animaux dans différents systèmes de production sont plus précises que les rations simples dans les espèces animales.

#### **4.7 CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES DANS LES ÉVALUATIONS NATIONALES DES ALIMENTS POUR ANIMAUX**

Ce serait une simplification hâtive de penser que les inventaires d'aliments pour animaux caractérisent suffisamment la demande des activités de production animale sur les ressources naturelles et les services des écosystèmes. Ce serait une négligence de recommander des directives pour effectuer des évaluations des aliments pour animaux, sans considérer aussi les demandes associées. En effet, une définition plus large de "l'équilibre alimentaire animal" devrait prendre en considération non seulement les besoins nutritionnels des animaux, mais aussi ceux nécessaires pour des services durables de l'écosystème.

Les aspects multidimensionnels de ces besoins et les futures pistes désirables d'action, ont été examinés dans une étude coordonnée par FAO, l'USAID et la Banque Mondiale (Haan, Steinfeld, and Blackburn, 1996).

L'évaluation LEAD (Élevage, environnement et développement) (FAO, 2006b) a noté l'engouement croissant mondial pour les produits animaux et ses effets sur l'environnement. Les pressions comprennent une expansion importante des terrains de pâturage, et l'avènement de l'alimentation au grain, et par conséquent, une demande croissante en grains pour l'alimentation animale et en terres arables. Elle a mis en exergue, que sont en jeu deux tendances antagonistes: d'une part, la croissance de la production va continuer à élever la demande sectorielle en terres, quoiqu'à des taux déclinants. De l'autre côté, l'intensification continue va réduire la superficie utilisée par unité de produit obtenu. La force relative de ces deux tendances va déterminer la superficie totale dévolue aux animaux. Il a été démontré que de larges quantités d'engrais azoté sont utilisées pour la production de maïs et autres aliments pour animaux, spécialement dans les régions déficitaires en cet élément, comme l'Amérique du Nord, l'Asie du Sud Est et l'Europe Occidentale. Plus de la moitié de la production totale de maïs est utilisée pour les animaux. Les autres cultures destinées aux animaux sont également grandes consommatrices d'engrais azoté. Les rejets de CO<sub>2</sub> et autres gaz à effets de serre ont également été quantifiés.

Les effets multiples de l'élevage des animaux dans le contexte des changements globaux dans les populations humaines, l'utilisation des terres et le climat, ont été révisés par plusieurs auteurs (Steinfeld *et al.*, 2010) Han *et al.* (2010) ont reconnu que le secteur animal est le plus important utilisateur mondial des terres, et la compétition pour le sol, l'eau, les combustibles fossiles, ainsi que les changements climatiques seront les principaux pilotes des systèmes facteurs de production animale. La demande en grains pour les aliments pour animaux, vont augmenter pour satisfaire les besoins croissants en viande, et en lait. Plusieurs systèmes ont migré des systèmes herbagers vers les systèmes mixtes et, surtout vers la production intensive en systèmes sans sol, spécialement la volaille et les porcs. Gerber *et al.* (2010) ont montré que l'élevage des animaux est un utilisateur majeur des ressources en sol, en fourrage et en aliments pour animaux. La production de lait et de viande croissant plus vite que les pâturages et les superficies cultivées à cause de l'intensification. Il existe une intensification particulièrement forte, ainsi qu'un regroupement dans les élevages de porcs, volailles et laitiers.

Reid *et al.* (2010) en ont examiné les effets sur la biodiversité. Les plus gros impacts de l'élevage des animaux sur la biodiversité paraissent être indirects à travers la déforestation pour l'aménagement de pâturages, le commerce croissant des aliments pour animaux, la pollution des eaux et les émissions de gaz à effet de serre. Ils ont identifié deux syndrômes par lesquels l'élevage des animaux affecte la biodiversité. Le syndrôme de zones sèches extensives apparaît sur leurs bordures humides lorsque les parcours cèdent la place à la culture et à la sédentarisation, avec des effets significatifs sur la biodiversité. Le syndrome simplifié intensif apparaît lorsque le pâturage est conséquent et la faune sauvage pratiquement disparue et seules les plantes tolérantes au piétinement sont aptes à prospérer.

Les aliments pour animaux se trouvent à l'interface des effets positifs et négatifs des animaux, du revenu, des moyens d'existence et de l'environnement (Asner and Archer, 2010). L'effet le plus profond de l'élevage des animaux sur les cycles du carbone dans le monde est

un ensemble croissant de syndromes et de dégradation écologique mondiale, comprenant la déforestation, l'empiètement forestier, et la désertification. Il existe également un large éventail de flux de carbone collatéraux, comprenant des pertes dans l'atmosphère via la déforestation tropicale.

L'importation des aliments pour animaux pour couvrir les déficits peut conduire à des pressions accrues sur l'environnement par le biais d'augmentation du taux de charge, qui, en conséquence, impose une pression plus élevée de pâturage sur les prairies, les herbages et les parcours. Quoique l'apport supplémentaire d'aliments qui résulte des importations puisse sembler satisfaire les besoins animaux, les taux de charge de ceux-ci sont souvent portés au-delà des niveaux auxquels, ils pourraient être restaurés du fait des déficiences nutritionnelles. Par exemple, un système supplémenté en aliments pour animaux pendant l'hiver peut conduire à une charge plus élevée et des pressions sur les pâturages pendant la période de croissance. Une seconde conséquence, de l'importation d'aliments pour animaux, est l'augmentation de déchets animaux et des nutriments associés qui doivent être gérés correctement, afin de prévenir l'accumulation de ces nutriments dans l'environnement, sur les sols, dans l'eau et à travers des émissions gazeuses (e.a. oxydes d'azote). Les réponses peuvent résulter de redistribution d'aliments pour animaux aussi bien à l'échelle intra qu'internationale.

Blümmel *et al.* (2010) ont identifié des questions supplémentaires. Une quantité d'eau, cent fois plus élevée, que celle nécessaire à l'abreuvement des animaux est requise, par la production d'aliments pour animaux. Environ 90% de l'eau utilisée pour l'élevage, va à la production des aliments pour animaux (FAO, 2006b). L'utilisation de sous-produits de cultures fibreux réduit l'efficacité digestive, ce qui entraîne une production plus élevée de méthane (gaz à effet de serre). L'emploi de fourrage grossier, entre en compétition avec l'utilisation pour l'amélioration des sols et l'abandon sur place de résidus de culture comme composante du zéro labour peut s'avérer important pour la préservation de l'agriculture.

Le bétail peut également avoir des effets bénéfiques sur l'environnement. Dans plusieurs régions, principalement dans les pays en développement d'Afrique et d'Asie, le bétail convertit les résidus de culture en fumier employé ensuite pour enrichir la fertilité du sol sans l'emploi d'engrais chimique. Un autre avantage de l'utilisation des résidus de culture est la diminution de la part de grains dans l'alimentation animale. Les herbivores peuvent promouvoir la production végétale sous certaines conditions (Frank *et al.*, 1998; McNaughton, 2001). Correctement gérés, les herbages peuvent faciliter le taux d'infiltration d'eau et améliorer les microsites pour la germination des semences (Savory, 1988).

En résumé, la production d'aliments pour animaux est liée au fonctionnement et aux services de l'écosystème, et à la durabilité écologique. Ce qui aujourd'hui peut ou non se révéler durable en termes d'environnement. De même, ce qui, dans le futur pourra être produit durablement, ne peut être déterminé sans considérer les réponses de l'environnement. Les compromis issus de l'usage alternatif des sols, tels que la préservation de l'habitat de la faune, de conservation de la biodiversité et la fourniture de services à l'écosystème, doivent également être pris en considération.



# 5. Directives pour le développement des Systèmes d'Évaluations nationales des Aliments pour Animaux (SENAA) et la mise en œuvre d'Évaluations Nationales des Aliments pour Animaux

## 5.1 VUE D'ENSEMBLE

Le processus de mise en œuvre d'un système d'évaluation nationale des aliments pour animaux se déroule en trois phases: 1) planification, 2) mise en place 3) mise à jour. Dans la phase de **planification**, les procédés et concepts se sont développés pour l'exécution du système d'évaluation. La phase de **mise en place** exécute le système complètement opérationnel basé sur les procédures et concepts. Pendant la phase de **mise à jour**, le Système, est préservé et amélioré du fait de l'évolution de la technologie, ainsi que des besoins et des attentes des utilisateurs. Ci-après, les trois phases de développement et de maintien de tels systèmes seront décrites. Les procédures ne sont pas supposées être strictement respectées dans toutes les situations. Ce sont plutôt des procédures suggérées qui devront être adaptées pour répondre le mieux à la situation et aux conditions de chaque pays ou régions qui développe un Système.

Le public visé par ces directives est représenté par les membres des gouvernements nationaux et régionaux, ainsi que des organisations de recherche désireux d'installer un SENAA. Le but est, ici, de procurer des conseils seulement sur les questions techniques, mais aussi sur les aspects de procédure pour construire et institutionnaliser un SENAA. Il sera noté qu'une compréhension correcte de l'analyse et de la synthèse présentées dans les sections de procédure, est un préalable pour un déroulement approprié des approches et procédures décrites. La familiarité avec les questions techniques, spécialement celles en relation avec les méthodologies pour l'évaluation des aliments pour animaux en élevages extensifs (Chapitre 16), seront très utiles dans le contexte. Les études de cas, fournies dans les chap. 7-15 serviront d'exemples et d'aide dans les mises en place et à niveau d'un SENAA. Les directives ont été développées au cours des discussions avec un large éventail d'experts sur des sujets couvrant les divers aspects de la production des aliments pour animaux, de leurs besoins et des systèmes animaux de production. Leur expertise impliquait l'expérience dans l'évaluation des disponibilités en aliments pour animaux, à travers

une grande variété d'environnements, depuis les systèmes spatialement extensifs à basse production, basé en priorité sur les pâturages naturels, jusqu'aux systèmes spatialement intensifs à production élevée, associant culture et élevage.

## 5.2 PHASE DE PLANIFICATION

### 5.2.1 Objectifs

#### **1. Développer une compréhension préliminaire des aliments pour animaux au sein d'un contexte des systèmes animaux en évolution**

Avant de développer un SENAA, il est critique de développer une compréhension des aliments pour animaux dans les pays en question, car le système sera conçu en fonction des aliments pour animaux existants. De plus, il sera ciblé en fonction des systèmes de production animale rencontrés. Ceux-ci ont des besoins spécifiques en aliments pour animaux, et ils auront comme bases des modes bien établis d'acquisition et de distribution d'aliments pour animaux. Étant donné que ces systèmes sont en constante évolution, des anticipations de leurs tendances doivent être prévues afin que le SENAA soit utile dans le futur.

#### **2. Planifier et développer un ensemble agréé de procédures pour mener à bien des inventaires de aliments pour animaux et de bilans alimentaires pour tous les types, gradations et mélanges de systèmes à base de pâturage, de parcours, et de cultures**

Différentes méthodologies, approches et outils analytiques pour évaluer la disponibilité en aliments pour animaux dans les systèmes animaux basés sur les parcours et les cultures sont décrits au chapitre 7-16 de ce document. Ces outils sont disponibles et peuvent être appliqués aux différents systèmes animaux, lorsque cela est approprié. Cependant le processus d'établissement d'un SENAA implique plus qu'un choix d'outils; par exemple, la connaissance des aspects institutionnels et organisationnels s'avère également importante.

### 5.2.2 Processus point par point

#### **1. À partir d'un groupe de travail**

Le premier pas est d'installer un planning et de concevoir un groupe de travail. La composition de ce dernier doit impliquer des personnes avec un large éventail d'expertise dans des dossiers pertinents, couvrant les systèmes de production animale dans une gamme étendue d'environnements et de situations, ainsi que des personnes ayant une expertise dans les aspects procéduriers et organisationnels de la mise en œuvre des systèmes de données à l'échelle nationale. Une expertise technique sera nécessaire pour les aspects variés des systèmes d'élevage du bétail et de production des aliments pour animaux, de statistiques agricoles et des bases de données spatiales. Le groupe de travail doit aussi inclure des représentants des parties prenantes concernés par les divers aspects des activités de production et de disponibilité des aliments pour animaux. Parmi eux, des éleveurs de bétail, des représentants du gouvernement et du secteur privé, des ONG, ainsi que des chercheurs et des experts du domaine. Le groupe peut être particulièrement important pour les systèmes de parcours et pastoraux où les aliments pour animaux sont partagés.

### **1.1 Identifier et recruter les membres de groupe de travail**

Ces membres-clé peuvent inclure:

- Des personnes avec compétences et connaissances en statistiques agricoles et analyse des systèmes agricoles;
- Des personnes avec une connaissance approfondie des systèmes animaux sur parcours et en association élevage du bétail-cultures végétales;
- Des personnes avec des capacités techniques en GIS, télédétection, concepteurs de base de données, statistiques, échantillonnage, et enquêtes;
- Des personnes avec une expertise pluridisciplinaire, à savoir avec de vastes perspectives, des vues larges, un tempérament intégratif au niveau des systèmes; Ces personnes seront habituées à travailler en équipes coordonnées sur des problèmes pluridisciplinaires; pour les systèmes sur parcours spatialement extensifs, cela suppose des personnes au courant des systèmes d'élevage pastoralistes, de l'écologie, de la gestion de troupeaux, et des pâturages, des calculs des rendements pastoraux, des maladies, et de la socio-écologie. Pour les systèmes basés sur les cultures, il conviendra d'inclure des personnes expertes en productions culturales, en systèmes mixtes cultures végétales-élevage du bétail et en systèmes intensifs de production animale;
- Des personnes issues des associations de fermiers ou d'éleveurs, et d'ONGs pastorales;
- Des responsables des ministères impliquées dans l'agriculture, l'utilisation des sols et l'environnement;
- Des représentants du secteur privé impliqués dans la production d'aliments pour animaux;
- Des représentants des ONGs et des institutions de recherche avec une expérience pertinente, et
- Des défenseurs y compris des individus aptes à faire avancer la mise en œuvre en accord avec les institutions gouvernementales et les groupes d'utilisation finaux potentiels.

### **1.2 Identifier les résultats attendus des SENARABs (Evaluation des besoins)**

Le groupe de travail devra effectuer une évaluation initiale des besoins afin d'identifier les types de système et les données en aliments pour animaux déjà existantes, et ceux qui n'existent pas, mais qui sont nécessaires pour les décideurs. Il peut être nécessaire d'engager des consultants et des experts externe pour participer à cette évaluation, ici, un premier objectif est de définir quelle est l'information utile pour les décideurs. Quelles sont les questions auxquelles les données pourraient apporter une réponse. Quels sont les objectifs des SENARABs. L'évaluation va considérer comment l'information sera conforme, gérée, utilisée et mise à jour. Les résultats spécifiques seront identifiés et évalués en termes de contenu d'information d'intérêt des données et du coût potentiel de production de celles-ci. La faisabilité de production des résultats des données désirées sera évaluée de façon préliminaire.

Les résultats souhaitables d'une NFAS peuvent inclure des bases de données statistiques, ou un processus dynamique d'évaluation, ou un système qui permet de prévoir les situations futures des aliments pour animaux. Ces résultats seront identifiés dans les termes suivants:

- Le format et le mode de présentation, cartes, documents, sites webs, bases de données et,

- Des variables spécifiques pouvant être rapportées, par exemple:
  - biomasse totale, disponible et accessible des aliments pour animaux;
  - situation d'équilibre des aliments pour animaux, nombre d'animaux pouvant être nourris en fonction des aliments pour animaux disponibles ou accessibles;
  - produits animaux pouvant être fournis à partir des aliments pour animaux disponibles: lait, viande, autres produits;
  - anomalies dans la disponibilité de la biomasse des aliments pour animaux, ou les déviations à partir de la normale;
  - variabilités temporelles saisonnières ou annuelles, et dynamiques dans les disponibilités en aliments pour animaux;
  - projections futures de disponibilité en aliments pour animaux;
  - incertitude des mesures et niveaux de confiance statistiques.

### **1.3 Concept initial pour le système d'inventaire**

La conception du système d'inventaire va impliquer des processus d'agrément sur la terminologie, les approches, les méthodes et les outils. Ceci peut se réaliser à travers des réunions, des ateliers de planification et des manuscrits révisés intérieurement et extérieurement. Les composants des ressources en aliments pour animaux à considérer doivent être explicitement identifiés. Les terminologies pour les catégories d'aliments pour animaux et les processus de production actuellement utilisés ne sont souvent pas compris, définis avec précision, ou agréés. La gamme d'approches ou méthodes et d'outils est vaste, et toutes les approches ne peuvent être adaptées pour la situation des aliments pour animaux disponible à portée de main. La disponibilité en données va varier entre les régions et les pays. Entre les parcours et systèmes à bases de cultures, il existe une large divergence dans les termes et approches et les types de données nécessaires et disponibles. La gamme d'approches est envisagée dans les études de cas (chapitre 7-15). De plus, il est à prévoir que surviendront des situations dans laquelle les approches actuelles devront être modifiées ou élargies. Finalement, les sources et flux de données, ainsi que le traitement analytique doivent être liés au personnel approprié avec l'expertise adéquate. Le personnel doit être identifié et son rôle clairement défini et compris par essence, la conception d'une SENAA repose sur l'approche systèmes, au sens le plus exact. Un système est un ensemble de composants et de processus interactifs. Dans ce cas, ils sont reliés entre eux par des flux de données. Les flux et processus sont contrôlés par un personnel spécifique.

Les étapes à suivre dans le processus de conception impliquent de:

- Définir les systèmes cibles des animaux et des aliments pour animaux, leur typologie et leur terminologie
  - réviser les typologies et terminologies disponibles;
  - choisir et affiner la typologie;
  - mettre au point un premier glossaire de terminologie.
- Développer un concept initial pour les systèmes d'inventaire
  - identifier les flux de données d'ensemble, et les modèles pour les bases de données, les concepts de décisions et spécifier les capacités en algorithmes;
  - identifier les méthodes en outils, les algorithmes, les modèles et les courants de traitement de données et développés, si nécessaire;

- identifier les participants et leurs rôles (sources de données, utilisateurs de données, analystes, liaisons institutionnelles, partenariat).

## **2. Définir les paramètres clé de classification, développer un système de classification, et observer les convergences entre classes**

L'objectif de développer une classification des systèmes de production des animaux est d'établir un cadre de calcul des disponibilités en aliments pour animaux, en accord avec la classe du système de production ceci améliorera la précision de l'évaluation nationale, si les systèmes au sein des nations se désagrègent de telle manière qu'ils permettent les calculs pour des types de systèmes de production fonctionnellement non similaires. Si des systèmes fonctionnellement non similaires sont rassemblés, les calculs en aliments pour animaux seront vraisemblablement moins précis.

### **2.1 Identifier les paramètres clé aptes à capturer l'essence des différents systèmes de production animale.**

Le système de classification sera fondé sur des paramètres clé; ceux-ci seront choisis dans le but de capturer les différences fonctionnelles clé entre les systèmes de production des animaux. Par exemple, Les groupes fonctionnels de systèmes de production animale peuvent être basés sur les types d'animaux, sur les races, sur les caractéristiques biophysiques, les localisations géographiques et le degré d'intégration avec une commercialisation locale suivant des standards internationaux. Il sera opportun d'identifier un ensemble minimal de paramètres qui doivent être rassemblés pour obtenir une précision acceptable.

### **2.2 Développer la classification des systèmes de production animale**

Le défi sera ici d'obtenir un niveau acceptable, et utile de combinaison. Une classification élargie peut démarrer avec la distinction entre les parcours spatialement extensifs, les systèmes mixtes animaux-culture, et les systèmes industrialisés sans terre. La question est de savoir ce qu'est le niveau de combinaison acceptable, à titre d'exemple les systèmes associés cultures/animaux peuvent être subdivisés en systèmes bovin/riz, blé/buffle, porc/riz, si cette subdivision est basée sur des différences significatives dans les besoins des animaux en aliments et les sources de celles-ci.

### **2.3 Développer une compréhension accrue des différences et des convergences des différents systèmes de production animale**

Développer des processus pour stimuler la réflexion vers une compréhension meilleure des systèmes de production animale et de leur dynamique au sein d'un pays (ou d'une région), et, dans un large contexte, du rôle clé des aliments pour animaux. Des différences et des convergences clé vont progressivement devenir apparentes, avec l'affinement de l'analyse des systèmes au fil du temps. Comme résultat, le système de classification et le SENAA bâti sur celles-ci, va également devenir plus précis. Ce processus d'amélioration de la compréhension peut s'accomplir à travers diverses approches, comme le travail en réseau, des ateliers, des activités de formation, et des révisions interne et externe.

### **3. Identifier les méthodes, les outils et les ressources nécessaires**

#### **3.1 Évaluer les méthodes et les outils nécessaires en termes de capacité technologiques**

Les méthodes et outils à utiliser dans les SENAA proviendront des technologies existantes et disponibles. Elles ne sont pas conçues sur des technologies non accessibles. Ainsi, la technologie requise doit être évaluée en relation avec les possibilités des technologies disponibles. Ces dernières vont varier entre les pays, entre les régions et les institutions au sein de ces pays. Par exemple, certaines régions peuvent avoir de fortes capacités à utiliser les données GIS ou satellitaires, d'autres seront dépendantes des différentes technologies conventionnelles de terrain, et enfin, certaines peuvent intégrer les deux approches à divers degrés. De même, les capacités d'informatisation et de traitement des données peuvent également varier.

#### **3.2 Évaluer les ressources nécessaires à la production et au maintien du système**

Les SENAA doivent être conçus à la lumière des ressources nécessaires à la production et au maintien du système. Celles-ci comprennent l'expertise, l'infrastructure, l'organisation, le temps de travail et le financement pour chacun d'entre eux sera pris en considération. Alors que les personnes vivant dans le pays possèdent une connaissance générale de l'expertise et des infrastructures existantes, il sera utile de caractériser et de quantifier celles-ci, car elles sont liées aux besoins en ressources. Le temps de travail du personnel nécessaire et disponible va dépendre de facteurs multiples. Si le travail est effectué au sein d'une institution ou d'une unité gouvernementale, par exemple, le temps de travail du personnel devra être libéré et il sera requis pour d'autres besoins organisationnels. Les besoins en financement doivent être quantifiés, et leurs sources identifiées. Que va coûter le développement et le maintien des SENAA? D'où viendra le financement?

#### **3.3 Formuler des algorithmes et décrire des modèles sous forme de brouillons ou de fiches préliminaires**

Le SENAA va inclure modélisation et informatisation, au fur et à mesure que des données brutes seront traitées et combinées pour produire des résultats significatifs. Les procédures mathématiques exactes devront être exposées pour extraire les données, elles ne devront pas nécessairement être complètement développées dans la phase de *planification*. Elles pourront être présentées sous forme de brouillons ou de fiches préliminaires, et elles seront complètement élaborées dans la *phase d'établissement*. Les modèles et algorithmes peuvent, par exemple, être présentés sous forme de diagrammes de flux, avec des processus de traitement informatisés, identifiés en termes d'intrants de données et de produits qui en proviennent.

### **4. Identifier les besoins en données et les stratégies d'échantillonnage**

#### **4.1 Identifier les besoins de données et les sources de données potentiellement disponibles**

La conception du SENAA va inclure des spécifications pour les intrants sous forme de données et leurs sources. Les données entrantes doivent être caractérisées en termes: de ce qui sera mesuré, comment et combien de fois cela sera mesuré, et quel sera le degré de précisions de la mesure. A ce stade, une évaluation préliminaire sera effectuée sur

les sources potentielles de données, et le mode de fourniture et d'accès. Elles incluront vraisemblablement des données de terrain sur les aliments pour animaux, des données de télédétection sur la biomasse fourragère, des données GIS pour un grand nombre de variables, taux de production de cultures et coefficients de récoltes, et des données sur le système de production animale en provenance des enquêtes de ménage.

#### ***4.2 Inventorier les ensembles de données courantes, les méthodes et les outils, et conduire une évaluation des besoins ou une analyse***

Ici, le travail réel d'inventaire d'ensemble de données, méthodes, et outils doit être mené dans le contexte d'une évaluation de besoins. Les inventaires vont vraisemblablement avoir besoin d'évaluer de nombreuses et potentielles sources de multiples données à introduire. Ces sources devront être évaluées en termes de facilité, fiabilité et coût. Il en sera de même pour les méthodes et outils existants.

#### ***4.3 Développer une stratégie d'échantillonnage pour les enquêtes de ménages afin de définir une ligne de base***

Il est hautement probable que beaucoup de données à introduire proviendront d'enquêtes de ménages qui, ensuite, seront transposées aux villages, régions, et, finalement au pays. Par conséquent, le schéma d'échantillonnage sélectionné devra inclure des critères à même de sélectionner des systèmes représentatifs au sein du pays. Ces derniers seront identifiés en fonction de la classification des systèmes de production animale reprise ci-dessus. Les enquêtes de ménage fourniront des données sur les types d'animaux et leurs effectifs, leurs approches et sources d'alimentation, et leur économie. La stratégie d'échantillonnage sera statistiquement bien conçue, de sorte que les résultats d'une étude de cas puissent être extrapolés à un type plus large et plus intégral de production.

#### ***4.4 Identifier la ressource et les intrants logistiques nécessaires pour la collecte de données et les programmes d'échantillonnage***

La collecte de données et les programmes d'échantillonnage ont été identifiés ci-dessus, mais les ressources et les intrants logistiques pour ces programmes doivent également être explicitement identifiés. Étant donné que de grandes superficies sont en cours de couverture à un niveau national, les besoins ressources peuvent être assez significatifs et, vont vraisemblablement représenter une contrainte pour l'intensité d'échantillonnage à réaliser. Ainsi, dès que les ressources ont été identifiées, il est probable que les schémas d'échantillonnage devront être révisés à la lumière des contraintes. Ceci sera spécialement le cas où dans les systèmes spatialement extensifs de parcours, du fait que de grandes étendues de terrain ne disposant que de peu d'infrastructures, doivent être couvertes. Dans ces zones, la télédétection sera utile à la fois pour les parcours, et les régions de cultures; ce qui explique que, pour avoir accès à ce traitement de données, les ressources doivent être soigneusement identifiées.

#### ***4.5 Développer les flux de traitement de données***

Les données obtenues de sources multiples devront être traitées à travers des bases de données et des procédés informatiques. La conception de base de données est centrale

par le SENAA. Un effort important doit être consenti pour élaborer la structure de base de données et le procédé d'informatisation afin de transférer les données primaires en données utiles pour évaluer les disponibilités en aliments pour animaux à un niveau national. Suivant l'organisation du SENAA, les données pourront être traitées centralement ou dans plusieurs centres de distribution à travers le pays, avant d'être renvoyés à un centre national de traitement.

### **5. Mener des études de faisabilité sur des approches alternatives**

Alors que le SENAA sera conçu aussi soigneusement que possible, il n'est pas garanti que ce concept soit utilisable. Une fois mis en pratique, jusqu'à ce que les procédures du SENAA soient réellement mises à l'essai, leur faisabilité restera incertaine. L'exécution d'un premier essai du concept va probablement révéler des secteurs présentant des insuffisances difficiles à prévoir. Dès lors, il peut être prudent d'effectuer des études de faisabilité de différents aspects du SENAA, pouvant conduire à des révisions du concept. Ce qui peut amener à reconsidérer des méthodes, des outils, et des moyens de fournir le produit final alternatif. Les études de faisabilité peuvent aussi inclure des analyses de la sensibilité des produits finaux à ces approches alternatives. Ceci peut aider à sécuriser les financements pour établir et maintenir les SENAA, car de telles études mettent en évidence que certains composants de ces évaluations menées à leur fin requièrent des produits supplémentaires afin de produire les résultats désirés.

### **6. Produire des rapports stratégiques**

La production de rapports stratégiques ou de livres blancs représente une importante étape "intermédiaire". En particulier, il sera utile de produire un article de grande diffusion focalisé sur les questions et problèmes soulevés par le développement et l'établissement du SENAA. Un tel article attirera l'attention sur l'utilité et l'importance du SENAA et mettra en évidence les défis à son exécution. Ceci servira de point focal pour le groupe travaillant sur le SENAA, pour les parties prenantes qui doivent en retirer des bénéfices, et pour toutes les parties intéressées, incluant la presse qui diffusera l'information auprès du public, et aux décideurs politiques ayant de l'influence sur les décisions nationales de financement.

### **7. Développer des partenariats régionaux fonctionnels**

#### **7.1 Identifier les parties prenantes et les partenaires pour l'exécution et l'institutionnalisation**

Le rôle des parties prenantes et des partenaires sont délégués en fonction des résultats attendus, et des types d'intrants qu'ils peuvent fournir.

Les parties prenantes et les partenaires sont au centre de la mise en œuvre des SENAA, car ils vont indubitablement jouer un nombre important de rôles au courant de l'opération et de ses utilisations. Ils peuvent, par exemple, être fournisseur de données, ou être facilitateurs auprès des sources de données. Ils vont également jouer un rôle dans l'institutionnalisation. Le SENAA va devenir un important intervenant dans le système national de production animale, sur lequel s'appuieront à la fois producteurs et consommateurs. Ainsi, il devra avoir un siège social et un système de support fiables.



### **7.2 Analyses des parties prenantes et des partenaires en termes de produits désirés, de conflits potentiels, de synergies, de recoupements, et de domaines d'intérêt.**

Les parties prenantes et les partenaires ont divers rôles, contributions, capacités et produits désirés. Pour que ces entités fonctionnent en synergie, il sera nécessaire d'analyser leurs caractéristiques. Parmi les rôles potentiels et les résultats désirables, il peut y avoir des synergies, des conflits ou des chevauchements. Ceci peut être résolu en déléguant des rôles spécifiques à chaque entité afin de minimiser les conflits et de maximiser les synergies. En effet, ceci représente un autre exemple d'une analyse de systèmes, dans lequel interagissent plusieurs entités afin d'aboutir à un produit final supérieur à la simple addition de ses composants.

### **7.3 Etablir des liens entre les communautés locales ou les districts et les partenaires clé potentiels**

Les partenaires au niveau des communautés locales ou des districts seront importants à la fois comme sources et utilisateurs de données. La tâche d'établir des moyens de liaison à ce niveau vers les partenaires représente un projet substantiel et devra être identifié comme tel. Pour l'accomplir, devront être prévues les ressources monétaires, logistiques et humaines en tant que partie du plan.

### **7.4 Proposer et agréer formellement les partenariats**

Les partenariats doivent être formalisés et agréés afin de les rendre tangibles et qu'ils puissent s'engager, prendre la responsabilité de l'opération et la mener à terme. Les agréments développent les rôles et responsabilités, tant du partenaire que du SENAA. Celui-ci aura également des responsabilités vis-à-vis des partenaires. Les autorités reconnues ou les chefs de file devront signer, mais avec le support de leurs groupes, particulièrement si des ressources importantes sont impliquées.

## **8. Acquérir les financements pour l'infrastructure nécessaire (ordinateurs, labos, etc.), le recrutement et le personnel**

Le financement pour l'infrastructure et le personnel sont régis pour établir et faire fonctionner le SENAA. Il doit s'obtenir dans la phase de planification.

## **9. Etablir ou utiliser les cadres institutionnels existants**

Un cadre institutionnel doit être créé. Il représentera la colonne vertébrale de la SENAA comme organisation; Les détails de la SENAA seront construits sur ce cadre. Le cadre peut être compris comme une simple organisation, ou comme une coalition d'organisations avec divers rôles et responsabilités. Il peut inclure des collaborations régionales, compte tenu de la nature transfrontalière de plusieurs systèmes de production animale spatialement extensifs.

## **10. Développer un portail initial interactif de données et un site web afin de disséminer l'information provenant de la phase de planification**

Les résultats de la phase de planification seront communiqués aussi efficacement que possible. Ils seront disponibles sur internet via un site web. D'autre part, un prototype de portail et un site web fournisseurs de données seront installés et représentés ou soumis un bêta test. Le site web informant les utilisateurs et facilitant l'accès aux données représentera une

pièce centrale du SENAA. A la fin de la phase de planification, les utilisateurs auront accès à une version prototype, procurant un retour d'information sur les capacités planifiées et pouvant tester certaines de ses fonctions préliminaires, en utilisant des ensembles de données test dans leur format antérieur.

## **5.3 PHASE D'ÉTABLISSEMENT**

### **5.3.1 Objectifs**

#### **1. Exécuter les concepts développés durant la phase de planification afin de bâtir un système d'inventaire des aliments pour animaux complètement opérationnel fournissant l'information sur une base régulière**

Ceci représente le premier objectif de la phase d'établissement. Le but est d'exécuter les plans et d'établir la première version du SENAA. Il est prévisible que les questions vont surgir et devront être résolues afin d'améliorer cette première version; un processus point par point est présenté ci-dessous pour effectuer cette opération.

#### **2. Créer des inventaires d'aliments pour animaux et conduire des évaluations des équilibres des aliments pour animaux au niveau local du district**

Les premiers produits du SENAA seront produits localement au niveau du district. Les premières évaluations seront menées dans un sous-ensemble local selectif et représentatif. Les résultats seront évalués et rendus disponibles pour une révision externe et interne.

#### **3. Relever au niveau national les approches, les méthodes, les outils planifiés**

Une fois le SENAA testé et affiné, au sein d'un sous-ensemble de représentants locaux, il pourra être effectué à travers le pays. La première évaluation à échelle nationale sera, en fait, la somme de toutes les évaluations régionales.

### **5.3.2 Intrants**

Le succès de la phase d'établissement dépendra de la quantité d'intrants, dont la plupart ont résulté comme produits de la phase de planifications.

#### **1. Les plans et concepts de la phase de planification, incluant terminologies, approches, méthodes et outils**

Ici, les plans et concepts développés durant la phase de planification seront mis en œuvre pour la première fois. Ils seront suivis d'aussi près que possible, mais il est probable que des modifications devront être apportées au fur et à mesure que l'exécution avance.

#### **2. Le financement assuré pendant la phase de planification**

Le SENAA ne peut être effectué sans un financement suffisant. La phase de planification avait prévu une estimation des coûts pour l'exécution, et des sources de financement auront été identifiées. Celles-ci doivent maintenant être activées.

#### **3. Le cadre institutionnel établi**

Le cadre institutionnel doit être mis en place, car il représente la base pour les partenariats et collaborations nécessaires à la mise en œuvre du SENAA. Il consistera de partenariats

fonctionnant régionalement, un portail interactif de données, et un site web. Les deux derniers faciliteront la communication, l'information et le partage des données.

#### **4. Un organisme technique au sein du cadre des institutions existantes**

Un organisme technique va superviser l'ensemble des opérations du SENAA. Alors que cette entité sera nouvelle, il devra très probablement fonctionner dans le cadre des institutions existantes, comme les ministères, les laboratoires nationaux, les universités et le secteur privé car ceux-ci possèdent déjà le niveau d'expertise le plus élevé disponible dans le pays. L'organisme technique peut être identifié au Groupe de Travail identifié à l'étape 1.2. de la phase de planification, ou il peut représenter un prolongement de celui-ci

#### **5. Capacités existantes et infrastructures identifiées**

Celles-ci ont été identifiées pendant la phase de planification, mais non nécessairement développées, ni au niveau local ni national. Sur ces bases, des facilités pourront être mises en place.

#### **6. Base de données existantes identifiées**

Leur existence a été identifiée, mais elles doivent être en place et opérationnelles.

#### **7. Outils et méthodologies identifiés et préliminairement développés**

Durant les phases de planification, ils ont été identifiés et développés sous forme de prototypes.

### **5.3.2 Processus point par point**

Un processus point par point est présenté ici pour établir un SENAA. Les points sont seulement présentés pour servir de directives pour une séquence logique d'actions conduisant à une évaluation fonctionnelle. Indubitablement, l'importance, la nécessité et le niveau d'investissement suggérés ici, vont varier entre pays, et entre régions au sein d'un pays, en fonction des besoins et capacités de proximité.

#### **1. Etablir et former le personnel**

Au démarrage, le personnel doit être installé afin de mettre en œuvre l'établissement du SENAA, y compris son développement réel. Ensuite, rapidement, le personnel devra traiter les données, provenant de sources locales et régionales, d'autres institutions existantes et plates-formes de télédétection. Il sera responsable de la circulation des données du niveau local au niveau national où les données locales seront traitées et synthétisées pour former l'évaluation nationale. Tout ce personnel peut avoir besoin d'un certain degré de formation.

#### **2. Développer les capacités techniques requises et les infrastructures au-delà de ce qui existe déjà**

Le développement de ces ressources doivent survenir au début de la phase d'établissement; Il sera efficient du point de vue coût et temps, afin de construire ou d'emprunter les facilités nécessaires. La manipulation des données et les facilités et capacités informatiques sont critiques. Du matériel de télédétection et des logiciels peuvent être requis. Une infrastructure

est nécessaire pour effectuer les enquêtes de ménages et l'échantillonnage des ressources en aliments pour animaux. Les ressources nécessaires peuvent inclure le transport, l'espace de laboratoire, le bureau et de logement.

### **3. Développer des spécifications techniques détaillées et documentées**

Elles seront:

- types de données à collecter;
- procédures de collecte de données;
- procédures pour le contrôle de qualité;
- procédés d'analyse et d'interprétation;
- processus de production de données;
- algorithmes, procédures de circulation des données;
- systèmes de bases de données y compris les métadonnées;
- procédures de rédaction de rapports;
- interprétation des produits des systèmes d'évaluation, à savoir quand et où ils peuvent apporter une aide et leurs limitations.

Le développement complet des spécifications techniques sur les concepts produits dans la phase de planification peut survenir au démarrage de la phase d'établissement. Quoique ces spécifications aient pu être développées dans les derniers stades de la phase de planification, ce niveau de conception détaillée requiert des ressources qui ne peuvent avoir été libérées jusqu'à la phase d'établissement. Ces ressources comportent le personnel, les infrastructures et le financement. Il sera important de documenter les spécifications, afin de les standardiser et de les reproduire. Une documentation formalisée procure également une base pour l'analyse, la discussion, et les efforts d'amélioration ciblés de manière précise.

### **4. Développement ultérieure des sources de données**

Si les sources de données sont inexistantes (intrants) ou si les sources existantes ont besoin d'être modifiées pour mieux convenir aux besoins des SENAA, alors elles devront être développées. L'ensemble de la SENAA dépend évidemment des données provenant de sources multiples. Elles incluent les données de terrain, de GIS, de télédétection et celles obtenues d'autres sources, comme les bureaux de district et les Ministères de l'Agriculture et du Commerce. En conséquence, des arrangements institutionnels peuvent être nécessaires pour l'accès aux données.

### **5. Développer des outils et méthodologies**

Ceux-ci ont été identifiés et décrits dans la phase de planification (intran7). Pendant la phase d'établissement, ils doivent être complètement développés et testés. Les outils et méthodologies seront développés pour le traitement des données, l'informatisation, les GIS, la télédétection et les enquêtes de terrain, par exemple. Le personnel impliqué dans le développement des outils sera varié à parties égales et sera probablement dispersé entre différents groupes travaillant sur divers aspects du SENAA. Puisque les données vont circuler entre différentes unités, et que les activités seront coordonnées, il sera utile, sinon nécessaire d'établir des groupes travaillant en unités croisées.

## **6. Mettre en route la première opération de conduite d'un SENAA**

La première mise en œuvre du SENAA sera effectuée sans aucun doute suivant un mode expérimental, dans lequel les procédures seront testées, évaluées et affinées. Étant donné que les aliments pour animaux sont dynamiques, variables suivant les saisons et les années, l'évaluation devra inclure des estimations des ressources en aliments pour animaux mises sur tableaux et sur cartes dans une série temporelle débutant sur la base d'une année récente. Il sera important de tester la capacité du système de saisir l'ensemble de la variabilité. Le système doit démontrer sa capacité à incorporer et traiter des données nécessaires sous diverses conditions car les aliments pour animaux varient en quantité et qualité.

## **7. Délivrer et disséminer les résultats de l'évaluation**

Les produits seront disséminés aux parties prenantes, universités et tout autres utilisateurs terminaux. Un portail de données interactives et un site web seront approvisionnés et activés afin de rendre les données disponibles à quiconque. Les avis seront fournis sur l'usage correct des données.

## **8. Valider le système d'évaluation**

Une variété de tests pourra être conçue afin de valider la disponibilité estimée en aliments pour animaux. Les estimations seront contrôlées vis-à-vis d'ensembles indépendants de données, à savoir des ensembles qui n'ont pas été employés comme intrants. Par exemple, les aliments pour animaux estimés à partir des données sur l'utilisation du sol ou sur le climat seront comparés à des estimations fournies à partir de données de commercialisation ou de production animale. Lorsque les résultats proviennent de données de télédétection ou ont été informatisées à partir de données auxiliaires (comme précipitations, utilisations des sols) une méthodologie sera mise en place pour vérifier les résultats de l'évaluation vis-à-vis des données véridiques de terrain. Des études de validation seront conçues en utilisant un cadre structuré d'échantillonnage afin de s'assurer de la représentativité à travers l'ensemble de la diversité au sein des systèmes de production.

## **9. Évaluer les systèmes d'évaluation**

Conduire une analyse des capacités et déficiences d'un système, incluant une évaluation des besoins pour de nécessaires ajustements. Évaluer si les systèmes est capable de produire des données opportunes et précises, utiles pour les utilisateurs finaux. La couverture des données est-elle adéquate et représentative? Les ressources disponibles peuvent-elles être mieux utilisées et distribuées? Évaluer l'efficacité et les facteurs pouvant réduire l'assimilation, le traitement et le compte rendu des données.

## **10. Institutionnaliser les systèmes d'évaluations et s'assurer des mécanismes pour le maintien de l'infrastructure nécessaire à son application continue.**

Cette étape implique:

- l'identification du partenaire exécutif national;
- l'établissement d'une équipe coordinatrice institutionnalisée. La structure institutionnelle peut être de niveau national. Cependant, les problèmes transfrontaliers

régionaux sont importants dans les systèmes de parcours spatialement extensifs et affecteront progressivement les systèmes basés sur les cultures du fait d'un marché plus utilisé par les producteurs d'animaux;

- l'établissement d'une ligne budgétaire par le gouvernement central afin de supporter le système, de pair avec les capacités de mobiliser nécessairement les ressources, le capital et les dépenses récurrentes, et;
- l'établissement d'un programme régional de formation pour le personnel qui va exécuter le système, de même que pour les utilisateurs terminaux qui utilisent les produits du système.

### **11. Former les parties prenantes à un usage correct des données fournies**

Les parties prenantes doivent être formées à un usage correct des données. Ceci doit inclure la compréhension de la portée visée et du pouvoir et inversement, les limitations de données. Les développeurs et participants des SENAA doivent évidemment posséder la meilleure compréhension de ces problèmes. Cependant les analystes extérieurs et les consultants pourront développer l'expertise nécessaire à la formation.

### **12. Développer des mécanismes pour promouvoir le partage du savoir et de l'expérience avec d'autres pays, via un réseau international ou à travers des organisations régionales**

Partager l'expérience, le savoir et les idées avec d'autres pays va fournir l'occasion d'apprendre. La fertilisation croisée des idées va encourager des solutions créatives pour le bénéfice de chacun. Un réseau international de SENAA pourrait représenter la voie à suivre à cet effet. Le réseau pourrait avoir un site web commun ou un forum d'échange d'information et d'idées. Des réunions de réseau pourraient être tenues tous les ans ou tous les deux ans. Le partage de l'information peut aussi se réaliser via les organisations régionales existantes avec des membres bien établis, par exemple, les organisations agricoles, de producteurs d'animaux, et autres professionnelles: sociétés scientifiques, ou ONGs concernées par les intérêts de diverses parties prenantes.

## **5.4 PHASE DE MISE A JOUR**

### **5.4.1 Objectifs**

#### **1. Développer un processus pour s'assurer que le SENAA se maintient et qu'il utilise une technologie de pointe et produit des résultats pertinents pour les demandes courantes**

Le SENAA a besoin d'être maintenu, amélioré, et mis à jour, concomitamment avec les avancées technologiques. Ceci s'applique aussi bien pour les changements institutionnels que pour les technologies.

#### **2. Identifier qui et quelles sont les ressources pour maintenir le système**

Pour que le SENAA soit stable et durable, il lui faut un toit et une équipe de tuteurs de superviseurs. Ceci va entraîner l'établissement d'un titre de propriété; Il entrainera aussi le développement d'une source durable des revenus, peut-être gouvernementale, mais aussi de sources privées, particulièrement des utilisateurs terminaux.

### **3. S'assurer que le système fournisse une information de qualité, mise à jour à des intervalles de temps pertinents**

Le SENAA doit être évalué régulièrement pour s'assurer que les données fournies soient actualisées et précises. Plus l'information est liée à l'actualité, plus utile et plus puissante elle sera pour les décideurs, la ponctualité sera évaluée en relation avec les importantes échelles temporelles de variations dans les disponibilités en aliments pour animaux. Des fluctuations significatives peuvent survenir chaque mois, chaque saison ou chaque année. Complémentairement aux changements rapides dus au climat, conditions de croissance, l'attention sera attirée sur les variations rampantes dues à des paramètres sous-jacents comme l'utilisation des sols, les changements dans la pratique d'alimentation d'animaux, et même les changements sociétaux.

#### **5.4.2 Processus point par point**

##### **1. Assurer le financement pour le contrôle continu, la maintenance du système et sa mise à jour**

Le SENAA va requérir une source de financement pour fonctionner et se maintenir sur le long terme; L'utilité des résultats par application du système devra être démontrée aux sources potentielles du financement. Cela dépendra des réactions des utilisateurs, ainsi que des résultats des évaluations du SENAA; Il sera important de démontrer qu'il existe une base bien établie d'utilisateurs, et que les résultats du SENAA appuient en quelques sorte les productions animales et le bien-être humain.

##### **2. Rapporter les approches, les méthodes, les outils validés, ainsi que la terminologie agréée**

Les utilisateurs, les développeurs et autres parties intéressées doivent avoir accès au SENAA dans le détail, autant qu'ils le souhaitent. Les opérations du SENAA doivent être décrites de manière transparente, de sorte que toutes les parties puissent comprendre de quoi il s'agit, quelles sont ses actions, quels sont les intrants dont il a besoin, et quels sont les produits qu'il peut fournir. Approches, méthodes et outils seront décrits en termes à la fois simples et techniques. La terminologie technique sera clairement définie: autrement, les documentations utilisant ces termes paraîtront opaques aux lecteurs.

##### **3. Développer un processus pour obtenir les réactions des utilisateurs terminaux, des agences de financement, des experts externes**

Le processus de retour d'information va probablement entraîner des enquêtes, des ateliers et des révisions indépendantes. Un panel de conseil externe et/ou un comité de pilotage pourra être installé pour assimiler les résultats du processus et formuler des recommandations pour l'amélioration du système.

##### **4. S'assurer que l'état courant des connaissances de pointe, et les structures institutionnelles sont employées dans l'inventaire, à la fois au niveau de l'acquisition des données ainsi que de leur interprétation et de leurs analyses**

Le personnel du système d'évaluation doit être mis à jour des dernières avancées de la science, via une formation, ainsi qu'une participation à la recherche et à des conférences.

Des révisions internes seront effectuées. Un panel de conseil externe ou un comité de pilotage pourra être installé pour évaluer périodiquement le système à cet effet.

**5. Conduire des revues semestrielles des systèmes, identifier ses forces et ses faiblesses, les domaines où il pourrait être amélioré, et où il existe un manque de données**

Des revues annuelles ou semestrielles seront conduites afin de s'assurer que le SENAA est actualisé sous tous les aspects. Les revues externes par des experts procurent vues et savoir rafraichissants, tandis que les revues par les parties prenantes et les utilisateurs terminaux apportent des réactions sur les performances du système en relation avec les besoins et les attentes. Les revues internes sont de grandes valeurs, en ce sens que les participants au système ont une connaissance en profondeur des déficiences et des insuffisances des données du système. Les revues doivent être constructives plutôt que simplement critiques.

**6. Affiner la terminologie, les approches, les méthodes et les outils**

Ce sont les tâches centrales de la mise à jour des SENAA. La terminologie devra être affinée au fur et à mesure que les facteurs impliqués dans la production des aliments pour animaux et sa disponibilité seront mieux connus. Une connaissance accrue va conduire à des définitions et termes plus précis. Les approches, méthodes et outils seront améliorés grâce au savoir emmagasiné à travers l'expérience et aux avancées technologiques. L'expérience va aider à comprendre ce qui fonctionne ou ne fonctionne pas. De nouvelles idées vont surgir, lorsque le SENAA va fournir des nouvelles vues dans les systèmes nationaux des aliments pour animaux. Il est à prévoir que de nouvelles sources de données vont apparaître et que de nouvelles capacités informatiques vont se développer.

**7. Développer des relations entre les paramètres-clé des systèmes de production animale et les résultats observés à partir des sites de contrôle**

Au fil du temps, les données des évaluations peuvent être analysées pour trouver des relations générales entre les paramètres-clé des systèmes de production et les disponibilités en aliments pour animaux entre les sites. Les paramètres-clé peuvent être de nature biophysique, organisationnelle ou économique. L'objet est ici de développer une compréhension accrue des facteurs primaires gouvernant la disponibilité en aliments pour animaux. Ces analyses scientifiques pourront en effet être menées à terme et publiées pour une large audience. Cette compréhension meilleure provenant de ces analyses pourra servir à renforcer les systèmes de aliments pour animaux, ainsi que renforcer la résistance du secteur entier de la production animale.

**8. Procurer une formation continue et un renforcement des capacités**

Un personnel bien informé et qualifié sera requis pour maintenir les systèmes fonctionnels dans le futur. Une expertise sera requise dans la connaissance des systèmes de production animale, mais aussi dans le matériel informatique, les logiciels, les bases de données et l'administration. Un financement doit être mis en place pour cette formation. Des liens avec des universités seront, à cet égard, bénéfiques, car le savoir peut en résulter, tout comme la connaissance des approches usuelles peut être transmise aux facultés et étudiants.



**9. S'assurer que le système peut s'adapter aux besoins changeants au sein du pays**

Les utilisateurs terminaux peuvent augmenter en nombre et se diversifier, tout comme ils peuvent changer. Le système doit s'adapter à ces changements à travers de nouvelles approches. Ceci peut s'accomplir par des évaluations des besoins récurrents. Par-dessus tout, le SENAA continuera seulement à exister s'il continue à satisfaire les besoins des utilisateurs et parties prenantes.



## 6. Références pour les Sections I et II

- Agridea.** 2011. *Wirz Kalender 2011. A set with two handbooks*. ISBN 978-3-7245-1656-9.
- Alcamo, J., Kreileman, E., Krol, M., Leemans, R., Bollen, J., Minnen, J.V., Schaeffer, M., Toet, S., de Vries, B.** 1998. Global modelling of environmental change: an overview of IMAGE 2.1. In R. Alcamo, R. Leemans, E. Kreileman, eds. *Global Change Scenarios of the 21<sup>st</sup> Century. Results from the IMAGE 2.1 Model*. Elsevier, Oxford, pp. 3–94.
- Alkemade, R., Bakkenes, M., Bobbink, R., Miles, L., Nelleman, C., Simons, H. & Tekelenburg, T.** 2006. GLOBIO 3: Framework for the assessment of global terrestrial biodiversity. In A.F. Bouwman, T. Kram & K. Klein Goldewijk, eds. *Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4*. Netherlands Environment Assessment Agency (MNP), Bilthoven, The Netherlands.
- Anandan, S., Raju, S.S., Angadi, U.B. & Ramachandra, K.S.** 2005. Status of livestock and feed resources of Malnad Region in Karnataka. *Anim. Nutr. Feed Technol.*, 5: 99–105.
- Angadi, U.B., Raju, S.S., Anandan, S. & Ramachandra, K.S.** 2005. Database on availability and requirements of animal feed resources in the country. *Indian J. Anim. Sci.*, 75: 1083–1086.
- Asner, G.P. & Archer, S.R.** 2010. Livestock and the global carbon cycle. Chapter 5 In H. Steinfield, H.A. Mooney, F. Schneider & L.E. Neville, eds. *Livestock in a changing landscape Vol. 1*. Island Press, Washington, D.C., USA.
- Blümmel, M., Duncan, A., Poole, J., Gerard, B. & Valbuena, D.** 2010. Livestock: the good and the bad. *Proceedings 7th Biennial Animal Nutrition Association Conference - Animal Nutrition Strategies for Environmental Protection and Poverty Alleviation*. Odisha University of Agriculture and Technology, Bhubaneswar, Odisha, India, 17–19<sup>th</sup> December, 2010. pp. 16–20.
- Bouwman, A.F., Van der Hoek, K.W., Eickhout, B. & Soenario, I.** 2005. Exploring changes in world ruminant production systems. *Agric. Systems* 84:121–153.
- Bruinsma, J.E.** 2003. *World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective*. Earthscan Publications, London.
- Coughenour, M.B.** 2008. Causes and consequences of herbivore movement in landscape ecosystems. Chap. 3. In K. Galvin, R. Reid, R. Behnke & N.T. Hobbs, eds. *Fragmentation of semi-arid and Arid Landscapes: Consequences for Human and Natural Systems*. Springer. The Netherlands.
- Cramer, W.** 1999. Comparing global models of terrestrial primary productivity (NPP): overview and key results. *Glob. Change Bio.* 5 (Suppl. 1): 1-15.
- de Leeuw, P.N.** 1997. Crop residues in tropical Africa: trends in supply, demand and use. In C. Renard, ed., *Crop residues in sustainable mixed crop-livestock farming systems*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) India. CAB International, Wallingford, UK.
- Delgado, C., Rosegrant, M., Steinfeld, H., Ehui, S. & Courbois, C.** 1999. *Livestock to 2020: The next food revolution*. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington D.C., USA.

- Devendra, C.** 1982. Malaysian animal production in perspective. *Proc. VIth Ann. Conf. Malaysian Society of Animal Production*, pp. 201-219.
- Devendra, C.** 2009. Intensification of integrated oil palm – ruminant systems: enhancing productivity and sustainability in South East Asia. *Outlook Agric.*, 38: 71–81.
- Devendra, C. & Leng, R.A.** 2011. Feed resources for animals in Asia: issues, strategies for use, intensification and integration for increased productivity. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 24: 303–321.
- Dikshit, A.K. & Birthal, P.S.** 2010. India's livestock feed demand: estimates and projections. *Agric. Econ. Res. Rev.* 23:15-28.
- Eickhout, B., van Meijl, H. & Tabeau, A.** 2006. Modelling agricultural trade and food production under different trade policies. In A.F. Bouwman, T. Kram & K. Klein Goldewijk, eds. *Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4.* Netherlands Environ. Assessment Agency (MNP), Bilthoven, The Netherlands.
- Erenstein, O. & Thorpe, W.** 2010. Crop-livestock interactions along agro-ecological gradients: a meso-level analysis in the Indo-Gangetic plains, India. *Environ. Dev. Sustain.* 12:669-689.
- EPA.** 1994. *International anthropogenic methane emissions: estimates for 1990.* EPA 230-R-93-010, US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- FAO.** 1984. *FAO production yearbook, Vol. 38.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO.** 1994. *FAO production yearbook, Vol. 48.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO.** 2001. *Livestock geography: An introductory atlas of animal resources.* FAO, Rome, Italy.
- FAO.** 2006a. *World agriculture: Towards 2030/2050: Interim report. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups.* FAO, Rome, Italy.
- FAO.** 2006b. *Livestock's long shadow.* Livestock Environment and Development (LEAD), FAO, Rome, Italy.
- FAO.** 2007. *Gridded livestock of the world 2007,* G.R.W. Wint & T.P. Robinson. 131 pp. Rome, Italy.
- FAO.** 2010. *World census of agriculture 2000.* FAO statistical development series 12. FAO, Rome, Italy.
- FAO.** 2011. *World livestock 2011 – Livestock in food security.* Rome, FAO, Italy.
- Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T. & Falkowski, P.** 2004. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 305: 367–371.
- Frank, D. A., McNaughton, S.J., & Tracy, B.F.** 1998. Ecology of the earth's grazing ecosystems. *BioScience* 48: 513-522.
- Gerber, P., Robinson, T., Wassenaar, T., & Steinfeld, H.** 2010. Livestock in geographic transition. Chapter 4, In H. Steinfeld, H.A. Mooney, F. Schneider & L.E. Neville, eds. *Livestock in a changing landscape Vol. 1.* Island Press, Washington, USA.
- GRUMP.** 2005. *Global urban-rural mapping project (GRUMP).* Available at <http://beta.sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>. Center for Int. Earth Science Inform. Network (CIESIN) of the Earth Inst., Columbia University, New York, USA.
- Haan, C. De, Steinfeld, H. & Blackburn, H.** 1996. *Livestock and the environment: Finding a balance. A Study coordinated by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, the United States Agency for International Development and the World Bank.* WRENmedia, Suffolk, U.K. Available at [www.fao.org/docrep/x5303e/x5303e00.htm](http://www.fao.org/docrep/x5303e/x5303e00.htm).

- Haan, C. De, Gerber, P. & Opio, C.** 2010. Structural change in the livestock sector. Chapter 3  
*In* H. Steinfeld, H.A. Mooney, F. Schneider, L.E. Neville, eds. *Livestock in a changing landscape*  
*Vol. 1*. Island Press, Washington, USA.
- Haberl, H., Erb, K.H., & Krausmann, F.** 2007a. Human appropriation of net primary production (HANPP) – Entry prepared for the *Internet Encyclopaedia of Ecological Economics*. Available at <http://www.ecoeco.org/publica/encyc.htm>.
- Habib, G.** 2010. Best practices in animal feed production and management in SAARC countries. SAARC Agricultural Centre, Farmgate, Dhaka, Bangladesh.
- Habib, G., Siddiqui, M.M. & Suhail, S.** 2003. Livestock action plan: Livestock management, feeding, and health in Northwest Frontier Province, Pakistan. Report on FAO Project TCP/PAK/0168. NWFP Agricultural University, Peshawar, Pakistan.
- Harberl, H., Erb, K.H. Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., Gingrich, S., Lucht, Q. & Fischer-Kowalski, M.** 2007b. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *PNAS*, 1–4: 12942–12947.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A., Mwangi, S., Wood, S., Kruska, R., Dixon, J., Bossio, D., Steeg, J., van de Freeman, H.A., Xianglin, Li, Sere, C., McDermott, J., Peters & M., Rao, P.P.** 2009. *Drivers of change in crop-livestock systems and their potential impacts on agro-ecosystems services and human well-being to 2030*. CGIAR systemwide livestock programme, ILRI, Nairobi, Kenya.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, S., Wood, A., Mwangi, S., van de Freeman, H.A., Bossio, Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy Rao, MacMillan, S., Gerar, B., McDermott, J., Sere, C. & Rosegrant, M.** 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327: 822–825.
- Imhoff, M.L., Bounoua, L., Ricketts, T., Loucks, C., Harriss, R. & Lawrence, W.T.** 2004. Global patterns in human consumption of net primary production. *Nature*, 429: 870–873.
- Joyce, L. A.** 1989. *An analysis of the range forage situation in the United States: 1989–2040*. General Technical Report RM-180. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 137 pp.
- JRC (Joint Research Centre of the European Commission).** 2003. *GLC 2000: Global Land Cover Mapping for the Year 2000*. European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Ispra, Italy.
- Katigile, J.A., Said, A.N. & Dzwowela, B.H.** 1987. Animal feed resources for small-scale livestock producers: Proceedings of the second pasture network for Eastern and Southern Africa (PANESA) workshop. International Development Centre, Ottawa, Canada.
- Kossila, V.** 1988. The availability of crop residues, in developing countries in relation to livestock populations. *In* J.D. Reed, B.S. Capper, & P.J.H. Neate, eds. *Plant Breeding and the Nutritive Value of Crop Residues*. Proceedings of a Workshop, 7–10 December 1987, International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, pp. 29–39.
- Kruska, R.L., Reid, R.S., Thornton, P.K., Henninger N. & Kristjanson, P.M.** 2003. Mapping livestock-orientated agricultural production systems for the developing world. *Agric. Syst.* 77: 39–63.
- Long, Ruijun.** 2011. Role of herbivores in integrated agriculture in China. International Centre for Tibetan Plateau Ecosystem Management, Lanzhou University, China. Pers. Comm., paper presented in Aberystwyth, UK.

- Maehl, J.H.H.** 1997. The National Perspective: A Synthesis of Country Reports Presented at the Workshop. In C. Renard, ed. *Crop Residues in Sustainable Mixed Crop/Livestock Farming Systems*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) India. CAB International, Wallingford, UK.
- McIntyre, B.D., Herren, H.R., Wakhungu, J., & Watson, R.T.** 2009. *Agriculture at a Crossroads Global Report*. IAASTD International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development. Island Press. Washington D.C., USA.
- McNaughton, S. J.** 2001. Herbivory and trophic interactions. In J. Roy., B. Saugier & H.A. Mooney, eds. *Terrestrial Global Productivity: Past, Present, Future*. Academic Press, San Diego, pp. 101-122.
- Mitchell, J. E.** 2000. *Rangeland resource trends in the United States: A technical document supporting the 2000 USDA Forest Service RPA Assessment*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-68. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 84 pp., USA.
- Mudgal, V. D. & Pradhan, K.** 1988. Animal feed resources and current patterns of utilisation in India. In C. Devendra, ed. *Proceedings of non-conventional feed resources and fibrous crop residues in India*. International Development Research Centre, Ottawa, Canada. pp. 139-146.
- Pica-Ciamarra, U., N. Morgan & D. Baker.** 2012. Core livestock data and indicators" results of a stakeholder survey. A paper of the World Bank, FAO, ILRI Livestock Data Innivation in Africa Project, with support from the Gates Foundation (available at: [http://www.fao.org/ag/againfo/home/documents/2012\\_PAP\\_Core\\_Livestock\\_Indicators\\_120503.pdf](http://www.fao.org/ag/againfo/home/documents/2012_PAP_Core_Livestock_Indicators_120503.pdf) ).
- Pimental, D., P.A. Oltenacu, M.C. Nesheim, J. Krummel, M.S. Allen & S. Chick.** 1980. The potential for grass-fed livestock: resource constraints. *Science*, 207: 843-848.
- Potter, C. S., Randerson, J.T., Field, C.B., Matson, P.A., Vitousek, P.M., Mooney, J.A. & Klooster, S.A.** 1993. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochem. Cycles*, 7: 811-841.
- Rae, A. & Nayaga, R.** 2010. Trends in consumption, production, and trade in livestock and livestock products. Chapter 2 In H. Steinfield, H.A. Mooney, F. Schneider & L.E. Neville, eds. *Livestock in a changing landscape Vol. 1*. Island Press, Washington, USA.
- Raghavan, G. V., Krishna, N. & Reddy, M.R.** 1995. Priorities for feed resources use in the semi-arid Tropics. In C. Devendra & P. Gardiner, eds. *Global agenda for livestock research. Proc. of the Consultation for South Asia region*, Patancheru, India, International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya, pp. 37-52.
- Raju, S.S., Anandan, S., Angadi, U.B., Ananthram, K., Proasad, C.S. & Ramachandra, K.S.** 2002. Assessment of animal feed resource availability in southern Karnatak Region. *Indian J. Anim. Sci.*, 72: 1137-1140.
- Ramachandra, K. S., Raju, S.S., Anandan, S. & Angadi, U.B.** 2005. Animal feed resources and its impact on livestock production in India. *Indian Dairyman*, 57: 39-47.
- Ramachandra, K.S., Taneja, V.K., Sampath, K.T., Anandan, S. & Angadi, U.B.** 2007. *Livestock feed resources in different agro ecological zones of India: Availability, requirement and their management*. National Institute of Animal Nutrition and Physiology, Bangalore, India, 100 pp.

- Reid, R. S., Bedelian, C., Said, M.Y., Kruska, R.L. Mauricio, R.L. Castel, V., Ison, J. & Thornton, P.K.** 2010. Global livestock impacts on biodiversity. Chapter 8 *In* H. Steinfeld, H.A. Mooney, F. Schneider & L. E. Neville, eds. *Livestock in a changing landscape Vol. 1*. Island Press, Washington.
- Rosegrant, M.W., Cai, X. & Cline, S.A.** 2002. *World water and food to 2025: Dealing with scarcity*. IFPRI, Washington DC., USA.
- Sabine, C.L., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D.C.E., Chen C-T.A., Field, C.B., Gruber, N, Le Quere C., Prinn, R.G., Richey, J.E., Romero, P., Sathaye, J.A. & Valentini, R.** 2004. Current status of past trends of the global carbon cycle. Pp. 17–45 *In*: Field, C.B., Raupach, M.R., eds. *The Global Carbon Cycle – Integrating Humans, Climate, and the Natural World. SCOPE 62, Island Press, Washington*.
- Savory, A.** 1988. *Holistic resource management*. Washington, DC, USA: Island Press. Pp. 545.
- Sere, C., Steinfeld, H.** 1996. *World livestock production systems. Current status, issues and trends*. Animal Production and Health Paper 127, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Shrestha, H. R. & Pradhan, D.R.** 1995. Research priorities for animal agriculture by agro-ecological zones in Nepal. *In* C. Devendra & P. Gardiner, eds. *Global agenda for livestock research*, Proceedings of the Consultation for South Asia region. Patancheru, India, International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya, pp. 85–102.
- Simpson, J.R.** 2003. China's long-term production potential evaluated. *Feedstuffs*, 75(40): 20–22.
- Simpson, J.R.** 2006. *China's dairy industry: Current situation and long-term projections*. Presented at WERA-101: Assessing China as a market and competitor 2006 Conference on China's evolving agricultural economy: Biotechnology, food markets and policy liberalization Washington, D.C. April 24–25, 2006.
- Simpson, J.R.** 2010a. Land Use, Production to Shape China's Future (Second segment of a three-part series). *Feedstuffs*, 82(41): 14–15.
- Simpson, J.R.** 2010b. Feedstuffs Play Key role in China's Food Needs (Third segment of a three-part series). *Feedstuffs*, 82(42): 16–17.
- Simpson, J.R., Cheng, X. & Miyazaki, A.** 1994. *China's Livestock and Related Agriculture: Projections to 2025*. CAB International, Wallingford, UK.
- Slayback, D. A., Pinzon, J. E., Los, S. O. & Tucker, C. J.** 2003. Northern hemisphere photosynthetic trends: 1982–99. *Global Change Biol.*, 9: 1–15.
- Speedy, A.W.** 2003. Global production and consumption of animal source foods. *J. Nutr.*, 133: 4048S–4053S.
- Steinfeld, H., Mooney, H.A., Schneider, F. & Neville, L.E.** 2010. *Livestock in a changing landscape Vol. 1*. Island Press, Washington D.C., USA.
- Steinfeld, H., Wassenaar, T. & Jutzi, S.** 2006. Livestock production systems in developing countries: status, drivers, trends. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, 25: 505–516.
- Thorpe, W., Erenstein, O., Singh, J., & Varma, A.** 2007. Crop-livestock interactions and livelihoods in the Gangetic plains of Bihar, India. Research report 12. ILRI, Nairobi, Kenya.

- Thornton, P.K., Jones, P.G., Owiyo, T., Kruska, R.L., Herrero, M., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekele, N. & Omolo, A., with contributions from Orindi, V., Otiende, B., Ochieng, A., Bhadwal, S., Anantram, K., Nair, S., Kumar, V. & Kulkar, U.** 2006. *Mapping climate vulnerability and poverty in Africa*. Report to the Department for International Development, ILRI, PO Box 30709, Nairobi 00100, Kenya. Pp 171. [Online] Available at <http://www.dfid.gov.uk/research/mapping-climate.pdf>. ILRI, Nairobi.
- Thornton, P. K., Kruska, R.L. Henninger, N., Kristjanson, P.M. & Reid, R.S.** 2003. Livestock and poverty maps for research and development targeting in the developing world. *Land Use Policy*, 20: 311–322.
- Thornton, P.K., Kruska, R.L., Henninger, N., Kristjanson, P.M., Reid, R.S., Atieno, F., Odero, A.N. & Ndegwa, T.** 2002. *Mapping poverty and livestock in the developing world*. Available at <http://www.ilri.org/InfoServ/Webpub/Fulldocs/>.
- Vitousek, P.M., Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H. & Matson, P.A.** 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience*, 36: 368–373.
- Wheeler, R.O., Cramer, G.L., Young, K.B. & Ospina, E.** 1981. *The world livestock product, feedstuff, and food grain system*. Winrock International Technical Rep., Morrilton, Arkansas.
- Wirsenius, S.** 2003. Efficiencies and biomass appropriation of food commodities on global and regional levels. *Agric. Syst.*, 77: 219–255.
- World Bank.** 1989. *Sub-Saharan Africa: From crisis to sustainable growth*. Washington DC, USA.
- WRI.** 1990. *World resources 1990–1991*. World Resources Institute/Oxford University Press, New York, USA, and Oxford, UK.



SECTION III

# Études de cas

*Cette section présente un nombre d'études en profondeur de cas d'approches courantes pour évaluer les situations et les bilans en aliments pour animaux.*

*Tout d'abord, la demande mondiale en aliments d'origine animale est évaluée en utilisant des bases de données de dernière génération sur les changements globaux de population humaine, sur les rations et l'utilisation du sol.*

*Ceci est suivi par probablement l'exemple le plus sophistiqué d'un système national d'évaluation des aliments pour animaux, à savoir celui développé en Suisse depuis des dizaines d'années. Cette étude de cas fournit un exemple de ce qui peut être accompli avec l'aide de bases nationales de données agricoles hautement élaborées.*

*L'étude du cas indien fournit des vues sur l'approche d'un pays, pour évaluer les aliments pour animaux dans un ensemble extrêmement diversifié de systèmes de production animale impliquant l'emploi de quantités élevées de sous-produits agricoles.*

*Les quatre cas suivants abordent des systèmes de production animale spatialement extensifs de parcours et de pâturages en Afrique et en Asie. Par contraste aux systèmes intensifs suisse et indien, ceux-ci font un usage important des données de télédétection.*

*Le Système d'Alerte Précoce pour les Animaux (SAPA) qui a été appliqué dans la région du Gobi en Mongolie va plus loin en utilisant des modèles pilotés par des données climatiques et biophysiques afin d'évaluer les risques de disette en aliments pour animaux dans un avenir proche.*

*Fait suite un chapitre sur l'estimation des bilans en aliments pour animaux, dans lequel les besoins nutritionnels animaux sont considérés plus en détail, tant sur le plan de leur qualité, que de leur quantité.*

*Un chapitre sur l'emploi d'un modèle de simulation de l'écosystème afin d'évaluer spatialement les systèmes animaux extensifs, intègre plusieurs des approches enseignées ci-dessus, tout en considérant la dynamique des systèmes et leur effet des herbivores sur la végétation et les sols.*

*Le chapitre de conclusion passe en revue la méthodologie de pointe pour l'évaluation des situations en aliments pour animaux pour les pâturages et parcours.*

# 7. Croissance de la demande en denrées alimentaires d'origine animale: implications pour la production d'aliments pour animaux

*Tim Robinson et Harinder P. Makkar*

Animal Production and Health Division, FAO, Rome, Italy

Email: Tim.Robinson@fao.org

## 7.1 INTRODUCTION

Chaque année, l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture des Nations Unies (FAO) produit sa publication phare: *Etat de l'insécurité alimentaire dans le monde* (le plus récent, FAO, 2010a; FAO, 2011a). Alors que le sujet d'actualité varie d'année en année, le thème central demeure combien de personnes restent sous alimentées à travers le monde. Ce nombre est réévalué annuellement par l'emploi d'une approche par tableau de balance nutritionnelle.

Des situations nationales y sont établies pour la nourriture disponible pour la consommation humaine, concernant un large groupe de matières premières végétales et animales, avec le contenu calorique de chacune d'entre elles. Ces données sont utilisées pour calculer la disponibilité totale des calories par pays. Etant donné que les besoins caloriques minimaux varient suivant les groupes d'âges et de genre, les données structurales de population sont utilisées pour estimer les besoins caloriques totaux pour l'ensemble de celle-ci. Les données provenant des enquêtes de ménage, employées typiquement pour la mesure de la pauvreté, servent pour estimer la distribution spécifique des calories par pays. Ensuite, à partir du total des calories disponibles, est estimée la partie de la population qui se trouve en dessous des besoins minimaux en énergie, et donc en état de sous-nutrition.

Ci-dessous, est expliqué comment sont estimées les quantités de nourriture à usage humain, à la fois actuellement et dans le futur. Sont alors décrits deux aspects séparés de cette analyse qui, tous deux, soulignent l'importance de la précision des mesures, et du contrôle de la production des aliments pour animaux; tout d'abord, l'estimation de la fourniture et de la demande des cultures à usage animal, et d'autre part, l'estimation de la demande en matières premières animales et ses prévisions de croissance.

## 7.2 FOURNITURE ET DEMANDE DE MATIÈRES PREMIÈRES A L'HEURE ACTUELLE ET DANS LE FUTUR

L'approche pour l'estimation des quantités de nourriture disponible pour la consommation humaine utilise le cadre des comptes d'utilisation des fournitures,<sup>5</sup> structuré comme suit:

Demande (Usage Domestique Total)

= aliments disponibles pour la consommation humaine + usages industriels non alimentaires + aliments pour animaux + déchets (+ différences)

= production + (importations – exportations) + (stocks d'ouverture – stocks de fermeture)

Une année de référence est choisie pour laquelle la demande et les balances commerciales sont calculées pour chaque matière première et pour chaque pays. Pour cette année de base, le CUF s'appuie sur les estimations de production. Les échanges commerciaux nets, les aliments pour animaux, les semences, les déchets et l'usage industriel sont estimés; le résidu représente les aliments destinés à la consommation humaine. Une composante majeure du travail de préparation des données est de démêler l'élément de production du CUF pour l'année de base en ses composants constitutifs. La procédure plutôt complexe est décrite en détail par Alexandratos (1995), mais, plus simplement, la production culturale requiert l'estimation des surfaces cultivées, de l'intensité de culture et des rendements. La production animale requiert les effectifs totaux, en taux de prélèvements et en poids de carcasses (ou le rendement par animal pour le lait et les œufs).

Production culturale = superficie plantée x densité des cultures x rendement

Production de viande = nombre d'animaux x taux de prélèvement x poids carcasse

Production lait et œufs = nombre d'animaux x rendement par animal

Pour faire de futures prédictions, la nourriture disponible pour la consommation humaine directe est projetée en termes per capita provenant des données de l'année de base, un ensemble de fonctions sur la demande estimée en aliments (Courbes d'Engel)<sup>6</sup> pour chaque matière première dans chaque pays, ainsi que des hypothèses sur la croissance du produit intérieur brut (PIB). Des estimations de la performance économique sont tirées des *Perspectives Économiques du Monde en 2006* de la Banque Mondiale (World Bank, 2006), qui fournissent des projections du PIB per capita jusqu'à 2015 (Alexandratos *et al.*, 2006). La projection de demande alimentaire totale est alors obtenue en multipliant les niveaux projetés per capita par les taux projetés de population, tires du *World Population Prospects 2002* révision (UN, 2003), qui estime la proportion de croissance de la population mondiale de 6,07 milliards en 2002, à 8,13 milliards en 2030 et 8,92 milliards en 2050.

## 7.3 L'IMPORTANCE DES ÉVALUATIONS FIABLES D'ALIMENTS POUR ANIMAUX POUR LES MATIÈRES PREMIÈRES FOURRAGÈRES

Il a été mentionné ci-dessus, que, pendant l'année de base, la nourriture disponible pour l'alimentation humaine est estimée au résidu, après avoir pris en compte des échanges

<sup>5</sup> Les comptes d'utilisation des fournitures sont des données temporelles de séries sur les statistiques, sur la fourniture (production, importation, et changement dans les stocks) et l'utilisation (exportations, semences, aliments pour animaux, usage industriel, aliments, et autres) qui sont rassemblées physiquement pour permettre à la production alimentaire de satisfaire la disponibilité d'aliments pour la consommation humaine.

<sup>6</sup> Une courbe d'Engel décrit comment une dépense ménagère sur un service ou un bien particulier varie avec le revenu familial.

TABLEAU 7.1

**Production, estimation en aliments pour animaux et pourcentage utilisé comme aliments pour animaux pour cultures sélectionnées en Inde**

	2000			2030			2050		
	Prod	Aliments	Prop	Prod	Aliments	Prop	Prod	Aliments	Prop
Légumineuses	13 020	1 125	8,6	14 616	1 600	10,9	14 413	2 000	13,9
Blé	72 446	869	1,2	114 000	4 000	3,5	135 000	11 000	8,1
Sucre Brut	34 092	829	2,4	56 289	1 200	2,1	68 140	1 800	2,6
Riz Paddy	135 282	541	0,4	168 000	3 000	1,8	177 000	6 000	3,4
Maïs Millet	12 285	210	1,7	24 739	17 500	70,7	34 000	24 500	72,1
Orge	10 067	161	1,6	6 749	500	7,4	4 666	1 200	25,7
Sorgho	1 472	133	9,0	1 522	50	3,3	1 638	50	3,1
Sorghum	8 003	96	1,2	6 014	400	6,7	4 799	600	12,5
Huile & Graines oléagineuses	7 456	66	0,9	12 915	162	1,3	17 107	233	1,4

Note:

Prod = Production en milliers de tonnes

Feed = aliments pour animaux estimés en milliers de tonnes

Prop = Proportion en pourcentage

Source: données basés sur Alexandratos *et al.* (2006).

commerciaux nets, et soustrait pour chaque matière première, la qualité utilisée pour les aliments pour animaux, les semences, les déchets et l'usage industriel, à partir de la production estimée.

De ce fait, il est clair que plus l'estimation de chaque matière culturale destinée aux aliments pour animaux, est précise, plus précise sera l'estimation de la nourriture disponible pour l'alimentation humaine. Afin de donner quelques indications sur l'importance des aliments pour animaux, le Tableau 7.1 fournit quelques données CUF pour des cultures majeures de la production indienne d'aliments pour animaux. Pour les plantes cultivées en Inde en 2000, ce sont les légumineuses qui apportent la plus large contribution à la production d'aliments pour animaux. Cependant, ce modèle est en passe de changer radicalement dans le futur. Les projections suggèrent qu'en 2030, la production en aliments pour animaux sera dominée par le maïs: 70% de cette céréale sera utilisée pour les animaux, les autres céréales comme le blé devraient également devenir beaucoup plus importantes pour la production d'aliments pour animaux.

Du fait que l'estimation de la quantité de nourriture disponible pour la consommation humaine est largement dépendante de la connaissance des quantités qui seront détournées vers l'alimentation animale, il est clair que la mesure et le contrôle de la production d'aliments pour animaux est critique pour une évaluation des populations en état de sous-nutrition.

## 7.4 CROISSANCE DE LA DEMANDE EN ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE

Poussée par l'urbanisation, l'accroissement de la population et l'augmentation des richesses, la demande pour les aliments d'origine animale progresse rapidement (FAO, 2010b). Les

animaux sont un des secteurs agricoles les plus dynamiques, présentant des opportunités potentielles pour la croissance économique et la réduction de la pauvreté dans les régions rurales. Mais les retours sociaux positifs de la croissance du secteur animal peuvent ne pas être omniprésents et, dans certaines régions, peuvent exister des effets sociaux destructeurs, du fait que les petits producteurs qui dépendent de leurs animaux pour leur survie, sont chassés du secteur par la compétition féroce de grands propriétaires jouissant de possibilités importantes d'investissements. A côté de ces problèmes sociaux potentiels, existent des questions environnementales, de santé animale et publique qui doivent probablement être associés à la croissance rapide d'un secteur de l'élevage peu réglementé. Comprendre où une croissance de la demande pour les produits de l'élevage va accidentellement survenir, et où la production va progresser pour satisfaire cette demande croissante, sont ainsi importants pour nombre de raisons. D'où la quantité d'aliments pour animaux supplémentaire va-t-elle provenir?

Les prévisions les plus récentes de la FAO sur la fourniture et l'utilisation des matières premières agricoles prolongent les prévisions antérieures de 2015/2030 (Bruinsma, 2003) à 2030/2050 (Alexandratos *et al.*, 2006). Les nouvelles estimations ont été employées par Robinson et Pozzi (2011) pour changer la carte de la demande pour les produits animaux et les changements de production qui y sont associés nécessaires pour la satisfaire. L'approche mise en œuvre consiste à cartographier la consommation des matières premières animales, basées sur la distribution des populations urbaine et rurale pendant l'année de référence et des dates choisies dans le futur. Pour l'année de base (2000), le Projet Mondial de Cartographie Rurale et Urbaine des Populations (GRUMP) a été employée (CIESIN *et al.*, 2004) mais ajusté de sorte que le nombre total d'habitants dans chaque pays coïncide avec les figures projetées par la FAO (basé sur UN, 2003). Pour les projections de 2030 et 2050, les relevés GRUMP ont été ajustés en multipliant les populations de l'année de base par un facteur de croissance, afin que le nombre total d'habitants par pays s'ajuste aux projections FAO.

Les populations totales urbaines et rurales, pour 2000, 2030, et 2050, ont été également estimées, en se basant sur les proportions d'habitants vivant en zones urbaines, suivant le *World Urbanization Prospects* (UN, 2008). Ensuite, pour chaque pays, les distributions de population urbaine et rurale de GRUMP furent ajustées pour s'accorder à celles d'UN/FAO et cartographiées séparément pour les futures populations urbaine et rurale.

Pour chaque période, la consommation alimentaire nationale a été distribuée également pour la population de chaque pays, et exprimée en consommation par km<sup>2</sup>. Les changements absolus de consommation ont alors été exprimés pour chaque produit en soustrayant les estimations cartographiées pour l'année de base (2000) de celles de 2030 ou 2050. Le Tableau 7.2 montre des changements de consommation de 2000 à 2030 pour chaque produit dans les régions du monde en développement.

Les résultats reflètent les changements à la fois dans la population et les modèles de consommation. Le facteur le plus frappant est que l'augmentation de la consommation de volailles dépasse largement celle de tous les autres produits animaux dans toutes les régions du monde. Le changement le plus spectaculaire est le croît de cette demande en Asie du Sud: 725%. Ceci est encouragé par l'augmentation du croît de cette demande en Inde ou un croît stupéfiant de 850% est projeté pendant cette période de 30 ans.

TABLEAU 7.2  
Croissance de la demande en produits animaux de 2000 à 2030

Region	Bœuf		Lait		Mouton		Porc		Volaille		Oeufs	
	Abs	Prop	Abs	Prop	Abs	Prop	Abs	Prop	Abs	Prop	Abs	Prop
Asie du Sud-Est Pacifique	8 798	130	23 765	132	1 669	58	28 075	63	22 522	143	10 188	45
<i>Chine</i>	<i>6 888</i>	<i>132</i>	<i>15 936</i>	<i>143</i>	<i>1 537</i>	<i>56</i>	<i>22 050</i>	<i>54</i>	<i>14 609</i>	<i>121</i>	<i>6 810</i>	<i>34</i>
Europe de l'Est et Asie Centrale	290	11	4 364	15	204	40	112	5	2 310	108	684	28
Amérique Latine et Caraïbes	7 302	58	39 818	72	239	54	4 405	100	14 434	126	3 246	78
Moyen Orient Afrique du Nord	1 929	112	17 913	111	1 287	103	9	52	6 296	243	1 799	148
Asie du Sud	3 367	84	118 942	126	1 722	115	950	160	11 491	725	5 947	294
<i>Inde</i>	<i>1 338</i>	<i>51</i>	<i>79 330</i>	<i>119</i>	<i>588</i>	<i>85</i>	<i>921</i>	<i>160</i>	<i>8 865</i>	<i>844</i>	<i>4 251</i>	<i>280</i>
Afrique Sub Saharienne	3 768	113	20 939	107	1 883	137	1 106	155	3 235	170	1 727	155
Toutes Régions	25 454	81	225 741	97	7 004	88	34 656	66	60 287	170	23 590	70
Pays à revenu Élevé	2 441	15	31 312	31	275	33	2 935	22	12 414	65	1 911	24

## Notes:

'Abs': Croît absolu de la consommation annuelle de 2000 à 2030 en milliers de tonnes; 'Prop': croît exprimé en % de la consommation en 2000; Les régions sont définies en accord avec la classification de la Banque Mondiale 2010.

Source: Adapté de Robinson et Pozzi (2011).

Un regard plus attentif sur le croît projeté de la demande en viande de volaille en Inde démontre que celle-ci augmenterait de 8 865 400 tonnes de 2000 à 2030. Cela amène plusieurs questions importantes. D'où va venir cette viande additionnelle? Comment sera-t-elle produite? Et quelles ressources seront-elles mobilisées pour le produit? Les projections FAO n'anticipent pas cet accroissement de la demande satisfait par les importations, mais à travers une augmentation de la production. De plus, comme l'augmentation de la demande sera largement due à un accroissement de la richesse et de l'urbanisation (Robinson et Pozzi, 2011), il est raisonnable de supposer que ceci va aller de pair avec une rapide intensification du secteur avicole. A leur tour, se posent les questions: combien de aliments pour animaux additionnels faudra-t-il? Et combien de terres seront-elles nécessaires à la production de celles-ci?

Un calcul brut des aliments pour animaux à cet effet, peut être effectué comme suit, en supposant que le poulet représente la principale volaille consommée en Inde. En se basant sur un rendement carcasse de 75%, et d'une conversion alimentaire de 2,3 il a été estimé que 27 187 227 tonnes de aliments pour animaux  $([8 865 400 + 0,75] \times 2,3)$  supplémentaires seront nécessaires annuellement en 2030, par rapport à 2000.

La composition des aliments pour poulet varie souvent avec la saison et les prix des ingrédients; les valeurs typiques sont reprises au Tableau 7.3, compilé à partir de l'information fournie dans USDA (2004). Etant donné le poids requis pour chaque ingrédient,

TABLEAU 7.3

**Composition des aliments pour animaux pour poulet de chair en Inde; coefficient de production de céréales pour les ingrédients (voir texte pour explication et sources de données) et estimations de la production et des surfaces cultivées pour satisfaire la demande additionnelle en poulet de chair**

Ingrédient	Proportion (%)	Poids (tonnes)	Rendements (tonnes/ha)	Surface (ha)
Maïs	55	14 952 975	1,8216	8 208 704
Riz	10	2 718 723	2,8507	953 704
Soja	30	8 156 168	0,8222	9 919 932
Graines oléagineuses	5	1 359 361	0,2997	4 535 740
Total	100	27 187 227		23 618 079

Source: Robinson *et al.* (2012).

et leurs rendements respectifs attendus, (estimation 2000 à partir des projections FAO), la superficie cultivée additionnelle nécessaire à la production de chaque ingrédient peut alors être estimée (Tableau 7.3).

Ceci résulte en une surface additionnelle totale estimée de quelques 23,6 millions d'hectares, soit une surface proche de celle du Royaume Uni (24,2 millions d'hectares).<sup>7</sup> En réalité cependant, une partie de l'accroissement de la production de viande de poulet, sera satisfait à partir de la basse-cour, des systèmes de picorage qui ne demandent aucune terre supplémentaire et il est aussi probable que les céréales cultivées spécifiquement comme aliments pour animaux seront partiellement remplacées par des sous-produits industriels.

D'autre part, on peut considérer que les aliments pour animaux ou leurs composants ci-dessus peuvent s'importer, et qu'il y aura certainement une intensification des cultures génératrices elles-mêmes d'aliments pour animaux. Les estimations 2000 de rendement en maïs prévoient 1,8 tonnes/ha, ce qui est très bas, comparé à la plupart des standards; 3,2 tonnes en Thaïlande, 4,4 en Chine et 8 aux USA par exemple (USDA, 2004). Il existe clairement beaucoup d'espace pour l'intensification de la production de maïs, mais en Inde semi-aride, des augmentations significatives de rendement requièrent une irrigation, ce qui pose d'autres questions. D'où va venir l'eau? Quels seront les effets d'une récolte avec plus d'eau de pluie, à la fois sur les fonctions environnementales locales et des effets à plus grande échelle sur la disponibilité en eau?

En fixant la limite supérieure des besoins en terres pour la production des aliments pour animaux, jusqu'à satisfaire les cibles de production pour le croît de la demande, ce type d'analyse met en évidence que les besoins supplémentaires en terres et en eau pour satisfaire cette demande en aliments d'origine animale dans les cités bourgeonnantes de certaines parties du monde, sont vraisemblablement immenses. Les changements dans l'utilisation des sols pour cette satisfaction peut considérablement miner les écosystèmes, non seulement localement, sur les lieux de production des aliments pour animaux, mais aussi à l'échelle mondiale.

<sup>7</sup> [www.listofcountriesoftheworld.com](http://www.listofcountriesoftheworld.com).



Dans ce contexte, il paraît approprié que les ressources en aliments pour animaux, particulièrement celles estimées à ravitailler les systèmes de production intensifs en rapide croissance des pays en développement, soient soigneusement évaluées et contrôlées, afin que des politiques appropriées soient développées et mises en œuvre pour assurer une croissance durable du secteur animal. Le fameux consultant en gestion, Peter Druckert dit: "Si vous ne pouvez pas les mesurer, vous ne pouvez pas les gérer". L'évaluation des aliments pour animaux disponibles vont générer l'information sur combien et quand différents aliments pour animaux sont disponibles, ce qui va permettre de prendre les meilleures décisions de politique et de gestion en ce qui concerne l'utilisation de ces ressources. De plus, cette information va améliorer l'efficacité et la rentabilité de l'industrie de l'alimentation animale et aider les chercheurs à formuler des stratégies d'alimentation durables. De tels efforts vont, à leur tour, se traduire par l'amélioration de la sécurité alimentaire. Par ailleurs, une meilleure information sur la disponibilité des aliments pour animaux va faciliter la prise en charge des situations d'urgence comme des sécheresses ou des inondations. Des évaluations spatiales et temporelles des aliments pour animaux présentes et prévues, y compris les fourrages, pourra aider dans la gestion des désastres et dans la prise de décisions. L'information sur la disponibilité et l'utilisation des aliments pour animaux peut également être mieux utilisée pour déterminer les relations entre intrants et production, comme cela a été fait pour les protéines comestibles par rapport aux apports protéiques pour divers pays (Tableau 7.7 en FAO, 2011b). De tels résultats peuvent être plus précis si des systèmes propres d'inventaire des aliments pour animaux sont en place. L'estimation des aliments pour animaux peut également améliorer la précision des estimations des impacts des animaux sur l'environnement, non seulement à travers les transformations dans l'usage des sols, mais aussi dans l'estimation des émissions de gaz à effets de serre associés à la production animale.

## 7.5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alexandratos, N.** 1995. *World agriculture: Towards 2010, an FAO study*. Chichester and Rome: John Wiley and Sons and Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Alexandratos, N., Bruinsma, J., Bödeker, G., Schmidhuber, J., Broca, S., Shetty, P. & Ottaviani, M.G.** 2006. *World agriculture: Towards 2030/2050*. Interim report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Bruinsma, J.** 2003. *World agriculture: Towards 2015/2030*. London and Rome: Earthscan and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- CIESIN, IFPRI, WB & CIAT.** 2004. *Global rural-urban mapping project (GRUMP), Alpha version*. Palisades, NY: Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University; International Food Policy Research Institute (IFPRI); The World Bank (WB) and Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Available at <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/>.
- FAO.** 2010a. *The state of food insecurity in the world 2010: Addressing food insecurity in protracted crises*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 56 pp.
- FAO.** 2010b. *The state of food and agriculture 2009: Livestock in the balance*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 176 pp.
- FAO.** 2011a. *The state of food insecurity in the world: How does internal price volatility affect domestic economics and food security?* Rome, Italy. 51 pp.
- FAO.** 2011b. *World livestock 2011 – Livestock in food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Robinson, T.P. & Pozzi, F.** 2011. *Mapping supply and demand for animal-source foods to 2030*. Animal Production and Health Division (AGA) Working Paper 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- UN.** 2003. *World Population Prospects. The 2002 Revision*. United Nations, New York, USA.
- UN.** 2008. *World Urbanization Prospects. The 2007 Revision*. United Nations, New York, USA.
- USDA.** 2004. *India's poultry sector: Developments and prospects*. United States Department of Agriculture (USDA), Economic Research Service, Agriculture and Trade Report WRS-04-03.
- World Bank.** 2006. *Global Economic Prospects 2006*. Washington DC: The World Bank.
- World Bank.** 2010. *World Development Report 2010: Development and climate change*. Washington DC: The World Bank.

# 8. Le bilan en aliments pour animaux de la Suisse

*Silvano Giuliani et Daniel Erdin-Winkler*

Swiss Farmers' Union, SFU Statistics, 5201 Brugg, Switzerland

Email: daniel.erdin@sbv-usp.ch

## 8.1 INTRODUCTION

### 8.1.1 Historique

En Suisse, la Division des Statistiques de l'Union des Fermiers Suisses ("Schweizerisches Bauernsekretariat") a entamé ses efforts pour préparer un inventaire des aliments pour animaux en 1911-1913. Mais, ils n'ont été effectués sur une base régulière annuelle qu'à partir de 1933. A partir de cette date, l'inventaire a compris trois sections: le premier spécifiait les besoins énergétiques et les unités amidons et en protéines digestibles: le second déterminait la fourniture en ingrédients alimentaires et le troisième déterminait la quantité des ingrédients importés. Cet inventaire en aliments pour animaux a continué sous cette forme jusqu'aux années 1970. Une révision fondamentale a eu lieu dans les années 1980 avec l'établissement d'un plan national alimentaire pour les périodes de crise.

Des séries périodiques révisées furent calculées à rebours jusqu'à 1976. Les unités amidons furent remplacées par l'énergie métabolisable pour les ruminants et les besoins énergétiques furent calculés par production (énergie nette pour la lactation, énergie nette pour la croissance, etc.) pour chaque catégorie d'animaux.

La dernière révision fut effectuée en 2008 et 2009, conduisait à la méthode actuelle pour l'établissement de Bilan Suisse des aliments pour animaux, présenté ci-après.

### 8.1.2 Objectif du bilan en aliments pour animaux

L'usage précoce des inventaires en aliments pour animaux doit être considéré à la lumière des premières et seconde Guerre Mondiale. La Suisse fut encerclée à deux reprises par les forces belligérantes et l'approvisionnement alimentaire s'avéra souvent difficile. En conséquence, il s'avéra essentiel de dresser un inventaire des ressources alimentaires disponibles et des systèmes de production afin d'optimiser la production agricole. Durant la Guerre Froide, cet aspect prévisionnel demeura important. Même à l'heure actuelle, il a gardé son importance dans le cadre du "Ravitaillement Economique National" (National Economic Supply, 2011), une structure gouvernementale pour la gestion des crises d'approvisionnement. Aujourd'hui différents scénarios de crises pouvant amener des déficits en aliments à usage humain ou animal peuvent être imaginés: sécheresses sévères provoquant des récoltes déficitaires et diminution du niveau des eaux du Rhin amenant la restriction des importations de fret volumineux (e.a. céréales, carburant) sur la voie fluviale venant de la mer du Nord, accidents d'usines nucléaires ou attaques terroristes et événements de type guerriers à grand impact. Les révisions effectuées dans les années 1980 continuent à être fondées sur ces considérations.

Simultanément, de nombreuses nouvelles applications ont été découvertes pour le Bilan des aliments pour animaux, spécialement liées à des questions sensibles sur l'environnement: production de gaz à effet de serre, balances nutritionnelles et flux de biomasses. Le bilan Suisse en aliments pour animaux produit également des données pertinentes permettent d'évaluer l'importance économique de la production d'aliments pour animaux au sein du Système National de Comptabilité du Bureau Fédéral des Statistiques (Swiss Statistics, 2011). Cependant, la sécurisation de l'approvisionnement en aliments à usage humain et animal a été mise en place, et, eu égard, à la crise alimentaire de 2007/2008, a gagné une importance nouvelle. En conclusion, le bilan en aliments pour animaux procure toujours une information importante et basique aux décideurs.

## 8.2 MÉTHODOLOGIE

Le but fondamental du bilan Suisse en aliments pour animaux est d'évaluer les disponibilités alimentaires pour les animaux de ferme, à savoir leur approvisionnement. Tout ce qui peut être consommé par les animaux est inclus dans les ingrédients alimentaires. En pratique, cette liste est limitée surtout pour des raisons hygiéniques. En Suisse, les ingrédients peuvent parvenir de sources variées. La part la plus importante est cultivée et récoltée à cet effet (principalement le fourrage et le grain à usage animal). Toutefois les animaux utilisent une multitude de produits, dont une grande partie est représentée par des sous-produits ou des abats provenant du traitement alimentaire. Certains de ces produits servent de matériaux bruts pour l'industrie des aliments pour animaux. Le Bilan des aliments pour animaux considère les composants avant transformation et mélange dans l'industrie alimentaire animale. La figure 8.1 montre les flux d'ingrédients.

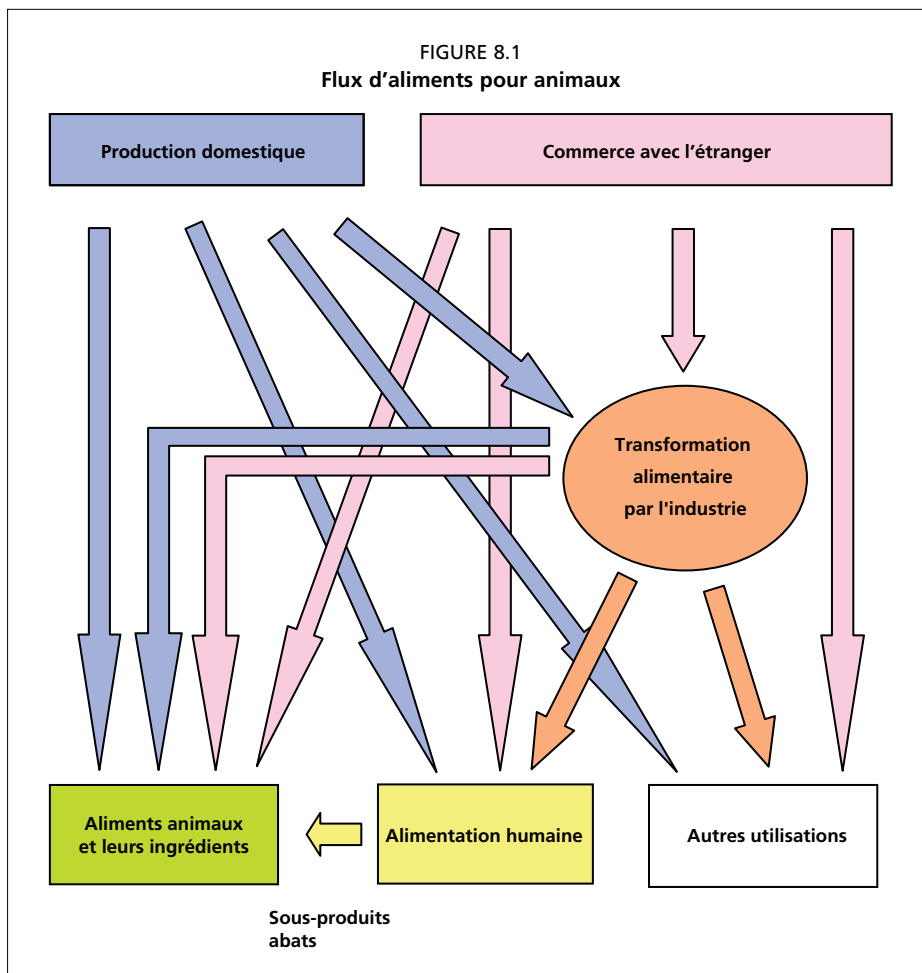
Le bilan des aliments pour animaux calcule les ingrédients disponibles pour les animaux pendant une année calendaire du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre. De plus, les besoins du cheptel animal sont calculés sur la base d'un recensement des animaux et comparée avec l'offre disponible en ingrédients. Ceci sert au contrôle de qualité. S'il existe de fortes différences entre les deux résultats statistiques, elles doivent être vérifiées pour des erreurs potentielles de précision. La formule pour le calcul des ingrédients disponibles est la même pour chaque produit:

*Ingrédients disponibles = Production domestique – Changement dans les stocks + Ingrédients importés - Ingrédients exportés - Aliment importé pour animaux de compagnie – Changement de stocks importés + Sous-produits extraits de matériaux bruts importés.*

Le bilan des aliments pour animaux a un cadre fixe (produits, catégories des cheptels, valeurs alimentaires) qui change seulement lors des révisions, et une composante variable (quantités, proportions dans la distribution des ingrédients entre les catégories d'animaux) qui est adaptée aux changements annuels. La liste des produits et la structure hiérarchique de la liste des aliments pour animaux a été établie sur base du *Handbook for compiling supply balance sheets animal feed: supply* (EUROSTAT, 2002). La nomenclature a été élargie en fonction des conditions Suisses. Les aliments pour animaux ont été groupés comme suit:

Ingrédients commercialisables:

- Ingrédients d'origine végétale (e.a. orge)
- Sous-produits de transformation (e.a. pulpes de betteraves)



Ingrédients normalement non commercialisables:

- Ingrédients d'origine animale
- Fourrages annuels (e.a. collets de betteraves)
- Fourrage cultivé pérenne (e.a. ensilage d'herbe)
- Sous-produits de cultures (e.a. feuilles de betterave)
- Autres (e.a. abats)

La quantité disponible de chaque produit est distribuée entre les différentes catégories d'animaux, qui sont identiques à celles décrites dans le manuel EUROSTAT:

- Bovins (avec vaches dans un sous-groupe)
- Ovins et caprins
- Porcins
- Volailles
- Autres: Équins, Lapins Cerfs, Chevreuils, Daims.

Pour chaque produit, la distribution clé en accord avec les catégories de cheptels doit être définie. Tout d'abord, le fourrage (herbe fraîche, foin, ensilage herbacé) est réparti

entre les animaux consommateurs de ce type d'aliment. Les produits utilisés intégralement par une certaine catégorie sont répartis en fonction de cette spécificité. Ensuite, les autres produits sont distribués d'après les informations fournies par l'industrie alimentaire animale. A ce stade, existe un premier contrôle: les quantités sont comparées aux besoins de chaque catégorie d'animaux. Si nécessaire, la distribution est corrigée. Dès que les quantités correspondent, la quantité d'énergie et de protéine attribuée à chaque catégorie est également comparée aux besoins. Le contrôle n'est pas aisé à interpréter car la quantité de fourrage peut varier grandement d'une année à l'autre.

Les différents ingrédients possèdent différentes propriétés. Une combinaison peut seulement s'effectuer si est trouvé un dénominateur commun. La mesure la plus importante est celle de la matière sèche. Additionnellement, l'énergie brute et la protéine brute sont prises en considération. Les valeurs alimentaires appropriées sont utilisées pour chaque catégorie:

#### **Bovins, Ovins et Caprins**

- Énergies métabolisables pour ruminants
- Énergie nette pour la lactation
- Énergie nette pour la croissance
- Protéine absorbable au niveau intestinal

#### **Porcins**

- Énergie digestible pour porcins
- Protéine brute

#### **Volailles**

- Énergie métabolisables pour volailles corrigée par N
- Protéine brute

#### **Autres**

- Énergie digestible pour équins
- Protéines digestible pour équins

Les publications Agroscope de la Station Suisse de recherche Liebefeld-Posieux ont été retenues comme sources des valeurs alimentaires. Celles-ci sont seulement modifiées au cours des révisions. Les valeurs sont enregistrées dans une base de données et reliées aux différents produits de la liste d'ingrédients.

Les données annuelles du bilan en aliments pour animaux sont complétées dans une base de données. Les données du commerce extérieur sont immédiatement importées dans la base de données correspondante. Les autres données doivent être entrées manuellement. Un projet existant qui développe une base de données sur l'équilibre des denrées à usage humain peut également servir de source pour les sous-produits de l'industrie alimentaire. Par ailleurs, ces données doivent également être entrées manuellement.

### **8.3 SOURCES DE DONNÉES ANNUELLES**

Les données du commerce extérieur (import, export, aliments pour animaux de compagnie) proviennent de l'Administration Fédérale Suisse des Douanes. Tous les produits importés à des fins d'alimentation animale et donc déclarés sont pris en considération. Les ingrédients exportés et les aliments pour animaux de compagnie doivent être déduits des importations qui en résultent. La liste des produits de l'administration des Douanes est plus élaborée que

celle du bilan en aliments pour animaux. De ce fait, un produit de celle-ci peut coïncider avec de multiples produits de la liste du commerce extérieur.

L'information pour la production domestique provient de plusieurs sources:

- Les indications pour les aliments pour animaux d'origine végétale ont pour origine les statistiques de production (légumineuses), des bilans des entreprises (pomme de terre, céréales, ou des estimations des statistiques SFU (graines oléagineuses, fourrages transformés).
- Sous-produits de l'industrie alimentaire: information en provenance de l'industrie ou estimation à partir des statistiques SFU. En Suisse, l'industrie de broyage possède ses propres statistiques qui couvrent les sous-produits. Les sous-produits de brasserie sont estimés à partir de la production de bière indiquée par l'industrie brassicole. La quantité de sous-produits par l'industrie sucrière procure l'information sur la production de betterave sucrière. Les quantités de pommes et poires sont contrôlées par l'Office Fédéral d'Agriculture. Les sous-produits de la production oléagineuse sont estimés sur base de la production et des taux appropriés de rendement.
- Les ingrédients d'origine animale sont presque tous interdits en Suisse. La quantité de produits laitiers utilisée pour les animaux est estimée sur base des statistiques laitières élaborées pour les Statistiques SFU ensemble avec le secteur laitier.
- Les quantités de betteraves fourragères proviennent des statistiques de production et celles du maïs sur pied et ensilé des statistiques fourragères (statistiques SFU).
- Les quantités de fourrage pérenne proviennent des statistiques fourragères (statistiques SFU).
- Les sous-produits de culture (principalement tiges et feuilles de betteraves sucrières), sont estimés sur base des statistiques de production.
- les autres ingrédients (légumes, fruits, abats) sont estimées par les statistiques SFU.
- Il en est de même pour le maïs fourrager et la production du fourrage herbacé.

Les sous-produits provenant de la transformation de matières brutes importées sont calculées en utilisant les mêmes méthodes et appliquées pour le calcul des sous-produits issus à partir des matières brutes domestiques (e.a - à partir des cultures de légumes, comme ci-dessus).

La composante finale est la variation des stocks d'ingrédients domestiques et importés. Il n'existe pas d'enquête systématique et les statistiques SFU utilisent seulement les données de l'organisation responsable, la Réserve Suisse. Pour des produits domestiques, sont pris en compte seulement les stocks de céréales, de légumineuses et de tourteaux oléagineux. Pour les produits importés, sont introduits les stocks de riz (brisures), de graines oléagineuses et de sous-produits de la production d'amidon.

Il n'est pas toujours aisé de séparer les aliments pour animaux de compagnie des aliments pour animaux. Ceci est particulièrement vrai pour la production domestique, car il n'y a pas de données disponibles. Cependant, ces quantités ne semblent pas vraiment significatives.

#### **8.4 CALCUL DE LA PRODUCTION FOURRAGÈRE (ALIMENTS FIBREUX)**

Ce calcul est basé sur les statistiques de production de maïs fourrager et de la production herbagères (fraîche, foin, ensilage, séchée artificiellement), fournie annuellement par les statistiques SFU. Les termes suivants sont utilisés pour la production fourragère:

- Rendement brut = biomasse de surface

- Rendement de terrain = rendement récolté – les pertes sur terrain
- Rendement net = rendement de terrain - pertes dues à la conservation

Les termes pour l'utilisation du fourrage sont:

- Consommation fourragère = rendement net fourni aux animaux pendant l'année considérée
- Ingestion fourragère = consommation – pertes d'alimentation (gaspillage)
- Besoins fourragers = quantités de fourrage nécessaires pour les besoins d'entretien, de croissance, de production, de gestation des animaux.

Ci-après l'ensemble des paramètres utilisés pour la production fourragère (approche de production):

- Altitude des régions utilisées pour la production fourragère et leur potentiel productif correspondant
- Superficies utilisées provenant des statistiques SFU
- Rendements estimés basés sur les enquêtes des statistiques SFU
- Contenu en matières sèche et qualité des espèces fourragères
- Conditions météorologiques.

La production est estimée pour l'année calendaire pour le type de région, comme suit:

$$\text{Production} = \text{surface} \times \text{rendement annuel/unité de surface}$$

Les régions sont classifiées d'après les zones officielles de production: plaines, collines, montagnes I-IV. Régions et zones de production proviennent des statistiques SFU. Les rendements moyens sont estimés d'après les rendements standards rapportés par les statistiques SFU. Les rendements standards sont alors corrigés d'après les conditions météorologiques, comme identifiées partiellement à partir des données collectées dans des enquêtes régulières. La production estimée de matière verte est convertie en matière sèche.

Parallèlement, la quantité de fourrage est également estimée sur base de son utilisation (approche par utilisation). Les facteurs d'influence correspondants sont:

- Durée de la période de fourrage vert
- Utilisation du fourrage
- Prélèvement du cheptel en matière sèche
- Durée de la saison de pâturage en régions montagneuses (Alpes)
- Capacité de stockage de fourrage (foin, ensilage)
- Pertes sur les terrains dus à la conservation, durant la période d'alimentation

L'approche par utilisation estime la consommation de fourrage par année calendaire. Elle calcule celle-ci suivant le type de fourrage. Le maïs est divisé en maïs vert et en ensilage. L'herbe reste regroupée selon le type d'utilisation ou de conservation: alpages, autres pâturages, herbe fraîche (distribuée à l'auge), herbe séchée artificiellement, foin (1<sup>ère</sup> coupe et suivante) et ensilage. Certains de ces produits sont ensuite répartis selon la qualité.

Alors que l'approche par production couvre seulement la production domestique, l'approche par utilisation considère également le fourrage importé. La différence entre les deux s'exprime dans la quantité qui doit être importée, ou couverte par les stocks. Sur une période de plusieurs années, il doit y avoir en équilibre entre production et utilisation qui s'exprime comme suit:

$$\text{Bilan fourrager de l'année actuelle} = \text{rendement sur le terrain} - \text{pertes de conservation} + \text{surplus de l'année précédente} + \text{surplus de fourrage importé (il n'y a quasiment pas de fourrage exporté)} - \text{consommation de fourrage par le cheptel animal.}$$



**TABLEAU 8.1**  
**Unités de mesure pour l'estimation des besoins suivant les catégories de cheptel**

Catégorie Cheptel	Unité Cheptel	Unité énergétique	Unité Protéique
Bovins, entretien et Elevage	Effectif vaches et taureaux	Energie nette de lactation	Protéines absorbées dans l'intestin
Bovins, gestation	Effectif vaches	Energie nette de lactation	Protéines absorbées dans l'intestin
Bovins, production laitière	Tonnes de lait corrigées en M.G.	Energie nette de lactation	Protéines absorbées dans l'intestin
Bovins en alpage	Nbre de jours en alpage	Energie nette de lactation	Protéines absorbées dans l'intestin
Veau à l'engrais	Jours d'engraissement	Energie métabolisable	Protéines digestibles
Autres bovins	Nbre de jours de croissance/engraissement	Energie nette pour le croît/engraissement	Protéines absorbées dans l'intestin
Ovins, élevage	Nbre d'animaux	Energie nette de lactation	Protéines absorbées dans l'intestin
Ovins, engraissement	Durée d'engraissement (jours)	Energie nette de croissance	Protéines absorbées dans l'intestin
Caprins, élevage	Nbre d'animaux	Energie nette de lactation	Protéines absorbées dans l'intestin
Caprins, engraissement	Durée d'engraissement (jours)	Energie nette de lactation	Protéines absorbées dans l'intestin
Porcins, élevage	Nbre d'animaux	Energie digestible	Protéines brutes
Porcins, engraissement	Durée d'engraissement (jours)	Energie digestible	Protéines brutes
Volailles	Tonnes d'ingrédients	Energie métabolisable	Protéines brutes
Equins	Nbre d'animaux	Energie digestible	Protéines digestibles
Lapins	Tonnes d'ingrédients	Energie digestible	Protéines brutes
Autres ruminants	Nbre d'animaux	Energie nette pour la Croissance	Protéines absorbées dans l'intestin

Le résultat est le plus souvent positif en bonnes années et négatif pendant les mauvaises. Le bilan entre les apports et les sorties sera dressé sur une période de plusieurs années. Du fait que le même pâturage puisse être exploité plusieurs fois par an, l'appartenance au type de conservation est quelquefois arbitraire et est contrôlée par le calcul des besoins.

## 8.5 ESTIMATION DES BESOINS

“Les besoins estimés” expriment la valeur de contrôle de la quantité d'ingrédients estimée disponible. Il incorpore les effets qualitatifs et quantitatifs du fourrage. Il est particulièrement utile car il assure les distributions des quantités disponibles selon les catégories de cheptel (Tableau 8.1).

Les besoins du cheptel sont calculés selon les recommandations de la Station de Recherches Agroscope Liebefeld-Posieux. Certaines de ces recommandations sont tirées de “Wirzkalender” (Agridea, 2011), un manuel pour fermiers. Pour chaque catégorie de chep-

tel, les besoins en matière sèche, en énergie et en protéines sont estimés. Les besoins en énergie et protéines sont calculés en unités appropriées pour chaque catégorie de cheptel.

Il n'existe pas d'unité de mesure uniforme pour les différentes catégories de cheptel. Les variétés (effectifs, durée d'engraissement, etc.) sont spécifiques à chaque type d'animal.

Comme déjà régulé antérieurement, la délimitation des aliments pour animaux de compagnie est quelquefois difficile. Les statistiques officielles sur le cheptel excluent les animaux de compagnie ainsi que les propriétaires à cheptel réduit et peu de terres cultivées. Généralement les animaux de compagnie ne sont pas importés, mais ont un certains poids dans les catégories lapins et équins.

## 8.6 CALCULS ET PUBLICATION

Les statistiques SFU calculent le bilan annuel en aliments pour animaux, une fois par an. Le bilan provisoire est calculé à la fin de l'année  $t + 1$ . Si nécessaire, le bilan pour l'année  $t - 1$  est révisé.

Les résultats du bilan des aliments pour animaux sont publiés annuellement dans *Recensements et Estimations pour l'Agriculture et la Nutrition* (USP, 2009). Les résultats sont présents dans trois tableaux:

- Tableau 1: Liste des produits, avec les résultats de plusieurs années et les quantités de matière fraîche, matière sèche, énergie brute et protéine brute.
- Tableau 2: Liste des produits avec l'origine des ingrédients et des quantités de matière fraîche, énergie brute, et protéines brutes pour une année.
- Tableau 3: Utilisation des ingrédients pour plusieurs années, selon les catégories de cheptel, avec la matière sèche, et les valeurs alimentaires appropriées pour chaque catégorie de cheptel.

Les besoins estimés ne sont plus publiés. Ils servent exclusivement comme valeurs de contrôles et d'assistance dans le processus.

## 8.7 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Agridea.** 2011. *Wirz Kalender 2011. A set with two handbooks*. ISBN 978-3-7245-1656-9

**EUROSTAT.** 2002. Office for Official Publications of the European Communities. 2002. *Handbook for compiling supply balances sheets – animal feed: supply*. ISBN 92-894-3741-3.

**National Economic Supply.** 2011. *Homepage*. Available at [www.bwl.admin.ch/index.html?lang=en](http://www.bwl.admin.ch/index.html?lang=en).

**Swiss Statistics.** 2011. *National economy site*. Available at [www.bfs.admin.ch/bfs/portal/en/index/themen/04.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/en/index/themen/04.html).

**USP (Union Suisse des Paysans).** 2009. *Statistische Erhebungen und Schätzungen (Statistiques et évaluations concernant l'agriculture et l'alimentation)*. Union Suisse des Paysans, USP Statistique. Brugg, Switzerland.

# 9. L'inventaire indien des aliments pour animaux

*Samireddypalle Anandan et Koratikere T. Sampath*

National Institute of Animal Nutrition and Physiology (ICAR), Adugodi, Bangalore-560 030, India

Email: anandsrp@yahoo.co.in

## 9.1 INTRODUCTION

### 9.1.1 Logique

De nombreuses études ont démontré que des pénuries en aliments pour animaux se sont révélés des contraintes majeures pour améliorer la productivité du cheptel indien. Malgré cela, l'évaluation de ces ressources n'a reçu que peu d'attention, ce qui paraît évident puisqu'aucune agence publique ou privée ne fournit d'information nationale ou régionale sur ce sujet. Une information à jour sur les disponibilités et les besoins s'avère importante non seulement pour une planification à court ou à long terme, mais également pour assurer la sécurité alimentaire nationale. Au cours des années, s'est poursuivi un débat continu sur la situation des aliments pour animaux en Inde et certains chercheurs ont tenté de quantifier les disponibilités et besoins (Sen and Ray, 1941; Mudgal and Pradhan, 1988; Sampath *et al.*, 2005). Toutes les études conduites à ce jour ont démontré avec force que les besoins excèdent les disponibilités, et que le fossé va continuer à s'élargir dans le futur. Toutefois, ces déficits projetés doivent être revus avec un certain degré de circonspection et de réserves. Ceci est spécialement vrai à la lumière de l'importante progression de la production indienne de lait, d'œufs et de viande au cours des vingt dernières années. Ces accroissements ne peuvent seulement être dus à l'augmentation des effectifs animaux; des améliorations de la situation générale de la disponibilité en aliments pour animaux doivent, sans aucun doute, être également importantes. C'est ainsi que l'Institut National de Nutrition et physiologie de Bangalore entreprend une étude systématique pour évaluer les disponibilités et les besoins dans différents états indiens.

Un inventaire des aliments pour animaux dans une zone/région particulière va procurer l'information sur les types de aliments pour animaux disponibles et leurs quantités, qui pourra alors être comparés avec les effectifs animaux existants afin de conclure si cette zone/région est suffisante, en surplus ou déficitaire en aliments pour animaux. Ce genre d'information peut être d'une énorme importance pour les décideurs, les départements gouvernementaux concernés, les ONG et les agences de développement, pour formuler et mettre en œuvre des activités animales rationnelles et s'attaquer à des calamités naturelles, comme les sécheresses et les inondations. Par exemple, améliorer la production d'animaux en améliorant le germoplasme animal ou les soins vétérinaires, est seulement possible lorsqu'existent des aliments pour animaux adéquates. Ceci ne peut être connu qu'en menant à bien des évaluations sur celles-ci. De telles évaluations peuvent également assister les marchands d'animaux, les industries alimentaires animales, et les ministères chargés du commerce à formuler des

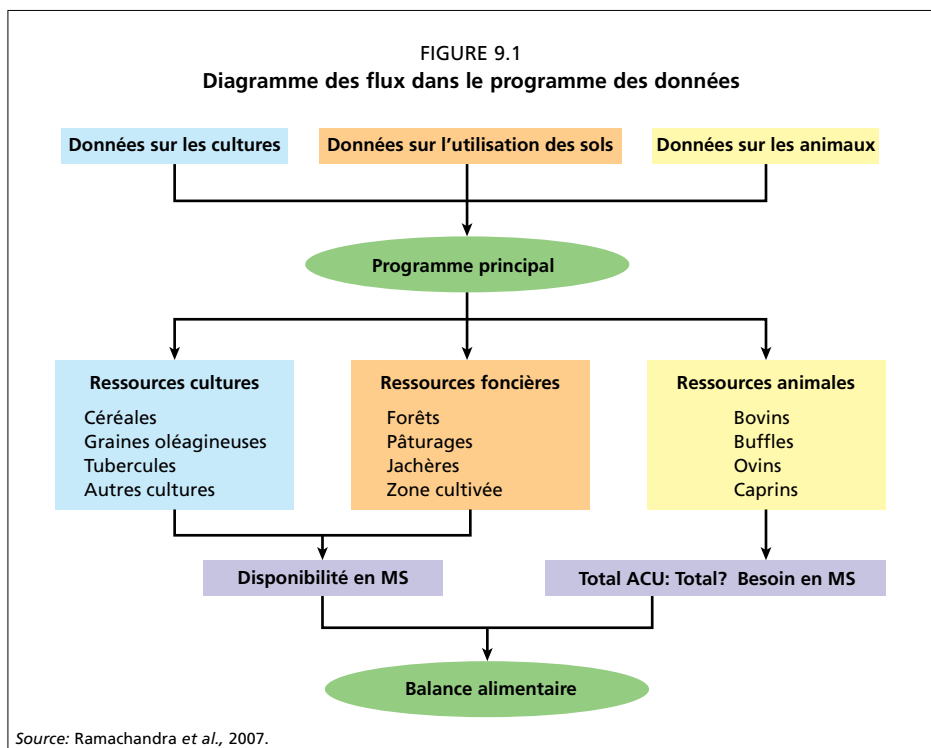
décisions documentées en accord avec la nature et la quantité de matières premières, les aliments pour animaux pouvant être commercialisés localement, les régions propices pour des marchés de aliments pour animaux, impliquées dans les importations et exportations.

## 9.2 MÉTHODOLOGIE

### 9.2.1 Intrants

Il existe fondamentalement trois intrants majeurs pour l'évaluation des aliments pour animaux et leur bilan: I) aliments pour animaux en provenance des cultures; II) fourrage vert en provenance des données de classification des sols; et III) besoin en aliments pour animaux en relation avec les recensements animaux.

Pour arriver à la disponibilité en aliments pour animaux en provenance des cultures, il faut connaître les indices de récolte et les taux d'extraction des différents produits et sous-produits culturaux. L'indice de récolte est le ratio des données des sous-produits culturaux utilisables par tonne de culture primaire récoltée, par exemple, tonnes de paille de blé par tonne de grain de blé. Le taux d'extraction et la fraction de la culture primaire récoltée, par exemple, tonnes de grains de blé utilisé comme aliments pour animaux par rapport à la quantité de tonnes récoltées. De même, le potentiel moyen de production de fourrage cultivé, l'étendue de la surface cultivée en fourrage, le potentiel moyen de biomasse des autres catégories des sols, doivent être conçus pour connaître la disponibilité totale en vert. Pour les catégories où il y a manque d'informations, des efforts seront entrepris pour combler les déficits en consultant des spécialistes en la matière et enregistrer des vraies valeurs. Pour évaluer les besoins en aliments pour animaux, des données



sont nécessaires à partir d'un recensement du cheptel donnant une répartition détaillée par groupes d'âges et par fonction productives (lait, viande, travail).

Généralement, les données de production culturale et de modèles d'utilisation des sols sont publiées annuellement, alors que le recensement d'animaux n'est organisé que périodiquement, à savoir en Inde, tous les cinq ans. De sorte que les figures annuelles sont faites suivant les croûts pour chaque catégorie animale, à partir de chiffres du dernier recensement. Les données de production des cultures, d'utilisation des sols, et de recensement du cheptel pour une région déterminée et une période identique doivent se recouper pour parvenir à l'état des disponibilités en aliments pour animaux. La structure du programme qui intègre et traite les données en intrants est illustré dans le Diagramme 9.1.

### **Intrant 1 – Données de production culturale**

En utilisant la feuille de calcul du Tableau 9.1, différentes sources d'aliments pour animaux, pailles (résidus de cultures, grains, son, balles et tourteaux oléagineux concentrés) peuvent

TABLEAU 9.1

**Indice de récolte\* et taux d'extraction utilisés dans le calcul des aliments pour animaux provenant des données de production culturale en Inde**

Production culture	Indice de récolte		Taux d'extraction	
	SUP culture	Tourteaux oléagineux	Grains	Son/Coques
Riz paddy	1,3	-	0,02	0,08
Blé	1,0	-	0,02	0,08
Sorgho	2,5	-	0,05	-
Millet	2,5	-	0,05	-
Orge	1,3	-	0,10	-
Maïs	2,5	-	0,10	-
Finger millet	2,0	-	0,05	-
Petit mil	2,5	-	0,10	-
Autres céréales	2,0	-	0,10	-
Total Légumineuses	1,7	-	-	0,03
Arachide	2,0	0,70	-	-
Semences <i>Sesamum</i>	-	0,70	-	-
Colza & moutarde	-	0,70	-	-
Graine de lin	-	0,70	-	-
Niger	-	0,70	-	-
Tournesol	-	0,70	-	-
Carthame	-	0,70	-	-
Soja	-	0,70	-	-
Cannes à sucre	0,25	-	-	-
Coprah	-	0,0625	-	-
Coton	-	0,0499	-	-

\* L'indice de récolte est le ratio tonnes de sous-produits utilisables sur tonnes de produit primaire de culture récolté.  
Source: Ramachandra et al., 2007.

être calculés à partir de la production de différentes cultures. Par exemple, à partir de chaque 100 tonnes de grains de blé, peuvent être produites 100 tonnes de paille (100 multiplié par l'indice de récolte 1,0); la production de grains utilisé comme aliments pour animaux sera de 2 tonnes (100 multiplié par le taux d'extraction de 0,02), et la disponibilité en son sera de 8 tonnes (100 multiplié par 0,08). De même la disponibilité en fanes et en tourteaux d'arachide sera respectivement de 2 tonnes de fanes (1 multiplié par 2,0) et 0,7 tonne de tourteau (1 multiplié par 0,7). Le contenu en M.G. des aliments pour animaux ci-dessus est considéré de 90%, sauf pour les bouts de canne à sucre, riches en eau, et où la M.S. est évaluée à 25%.

### **Intrant 2 – Modèles d'utilisation des sols**

Pour évaluer la disponibilité en fourrage vert, les facteurs suivants qui représentent le potentiel de production de biomasse par hectare sont extraits des données de classification des sols. Les données de modèles d'utilisation des sols recouvrent les catégories suivantes: surface cultivées grossièrement, surface forestières, pâturages permanents, terres à l'abandon cultivables, jachères actuelles, autres jachères et terrains de cultures arboricoles diverses où du fourrage vert peut être utilisés pour les animaux.

Parmi les terrains cultivés pour le fourrage, 4% de terrains cultivés grossièrement sont présumés porter du fourrage avec un rendement moyen annuel de 40 tonnes/ha. Donc, en multipliant 4% par 40 tonnes, s'obtient une production de 1,6 tonnes/ha/an. Dans le cas des forêts, il est assuré que seulement 50% d'entre elles sont disponibles dans la production de fourrage avec un rendement moyen de 3 tonnes/ha/an, soit au total, 1,5 tonnes par an (0,5 x 3). Pour les catégories restantes, le calcul est direct et les différents facteurs sont portés dans le Tableau 9.2. Le rendement en vert est calculé à l'état frais et le contenu moyen en M.S. est évalué à 25%.

### **Intrant 3 - Recensement des animaux**

Pour calculer les besoins en aliments pour animaux, des données détaillées de recensement des animaux sont nécessaires, en y incluant les distributions par classe d'âge. Une estimation grossière de la conformité quantitative représente la première étape et ceci

TABLEAU 9.2

#### **Rendement en fourrage vert pour les différents types d'utilisation du sol**

Catégorie d'utilité des sols	Fourrage vert (tonnes/ha/an)
Surfaces de cultures grossières	1,6
Forêts	1,5
Pâturages permanents	5,0
Terres à l'abandon cultivable	1,0
Jachères actuelles	1,0
Autres jachères	1,0
Cultures arboricoles diverses	1,0

Source: Ramachandra et al., 2007.

TABLEAU 9.3  
Facteurs de conversion pour calculer les unités animaux adulte (UBA)

Espèces	Catégorie	Facteur de conversion
Buffle	>2,5 years	1,14
	1,0–2,5 years	0,50
	<1,0 year	0,17
Bovins	>2,5 years	1,00
	1,0–2,5 years	0,34
	<1,0 year	0,11
Ovins/caprins	>1,0 year	0,10
	<1,0 year	0,03
Equins	>3,0 year	0,57
	<3,0 year	0,33
Camelins	>4,0 year	1,00
	<4,0 year	0,57

Source: Ramachandra *et al.*, 2007.

peut être réalisé en évaluant les besoins en matière sèche. Les besoins en M.S. des ruminants (bovins, buffles, ovins, caprins) des équins et des camelins sont calculés sur base d'une unité animale adulte standard (UBA) de 350 kg poids vif, et en utilisant des facteurs de conversion pour les différents âges et espèces (Tableau 9.3). En assumant qu'une ingestion minimale de M.S. de 2% du poids vif, est suffisante, une UBA a besoin de 7 kg de M.S./jour ( $350 \times 0,02$ ). Dès lors, les besoins totaux en M.S. peuvent être calculés en convertissant les effectifs d'animaux en UBA. Le bilan en aliments pour animaux sera alors dérivé en combinant la disponibilité potentielle totale en aliments pour animaux avec les besoins totaux.

### 9.2.2 Intégration de données

Une fois disponibles les données sur la production culturale, sur les indices de récolte pour différentes aliments pour animaux, sur les modèles d'utilisation du sol, et le potentiel moyen de production de biomasse, il est possible de calculer le potentiel total des aliments pour animaux disponibles dans une région. De même, les besoins en aliments pour animaux pour l'ensemble du cheptel d'une région peuvent être calculés sur base des données détaillées sur les différents espèces et classes d'âges. Pour chaque espèce et classe d'âge, les besoins en nutriments sont calculés en termes de matière sèche, d'énergie et de protéines pour une population donnée. A partir des besoins en énergie et protéines pour différentes catégories de cheptel, les besoins en aliments pour animaux en termes de fourrage vert, résidus de cultures et concentrés peuvent être déduits en relation avec les pratiques nutritives prévalentes. La disponibilité en aliments pour animaux et les besoins sont calculés avec un programme développé en Microsoft Access ou Excel.

L'approche complétée point par point pour l'établissement d'un inventaire régional de aliments pour animaux se décompose comme suit:

1. Obtenir les données nécessaires sur la production culturale totale de la région à partir du département concerné ou des statistiques agricoles; l'information est généralement publiée annuellement sous forme de rapports soit sur support papier soit diffusés sur les sites nets des départements respectifs.
2. A partir des données des productions culturelles, dresser la liste de toutes les cultures et de leurs sous-produits, utilisées pour l'animal.
3. Préparer une liste d'indices de récolte et de taux d'extraction de cultures et de leurs sous-produits utilisées pour l'alimentation animale; pour certaines ressources, l'information peut manquer; Les facteurs devront alors être déterminés avec l'assistance d'experts de la culture concernée ou de son secteur de traitement.
4. Etant donné que les aliments pour animaux proviennent majoritairement des cultures, la liste de celles-ci sera aussi exhaustive que possible afin de prendre en compte toutes les ressources (comme dans le Tableau 9.1).
5. Les aliments pour animaux potentiellement disponibles peuvent être déduits des données dans la production culturale en employant les index de récolte et les taux d'extraction.
6. En général, le contenu en matière sèche des cultures et de leurs sous-produits avoisine les 90% et cette valeur peut être employée pour déterminer la disponibilité totale en M.S.
7. L'information additionnelle en termes d'import/export des ressources ou de leur usage alternatif doit être prise en compte afin d'améliorer les précisions de l'évaluation.
8. La proportion des superficies cultivées à fins fourragères et leur production moyenne doivent être connues pour estimer la production de fourrage vert.
9. Lorsque celle-ci ne provient pas des catégories des sols cultivés à cette fin, les modèles d'utilisation du sol doivent être identifiés; la superficie des terrains des diverses catégories doit être multipliée par le potentiel moyen de production de fourrage vert afin d'en établir la production totale (comme dans le Tableau 9.2).
10. La M.S. du fourrage vert est variable et la moyenne en est estimée à 25% afin d'établir la M.S. totale disponible.
11. En additionnant les aliments pour animaux totales en provenance des cultures et en fourrage vert donne la disponibilité totale en aliments pour animaux pour une région.
12. Les besoins en aliments pour animaux pour les ruminants, les équins et les camelins peuvent être évalués par conversion des différentes espèces et catégories d'animaux en Unités Animal Adulte (UAA) en se basant sur des facteurs de conversion comme indiqué dans le Tableau 9.3.
13. Les besoins totaux annuels peuvent être calculés à partir du total d'UBA en multipliant celui-ci par 365 (nombre de jours/an) et 7 (en estimant un taux d'ingestion de M.S. de 2% pour une UBA d'un poids vif de 350 kg).
14. En comparant la disponibilité totale en aliments pour animaux avec les besoins, permet d'estimer l'état de suffisance, de pénurie ou de surplus pour une région donnée.



15. Une région peut être classifiée en fonction de la disponibilité en M.S. Généralement une disponibilité de moins de 2% peut être considérée comme déficitaire, entre 2% et 3% comme adéquate, et plus de 3% excédentaire.

L'approche ci-dessus est une version simplifiée dans laquelle l'équilibre quantitatif en aliments pour animaux est déterminé pour les ruminants, les équins et les camélins. Les besoins des autres espèces animales, comme les porcins et les volailles peuvent être ajustés afin d'établir le bilan total. L'approche procure un cadre pouvant être élargi afin d'y inclure plus de détails et évaluer ainsi l'adéquation quantitative des aliments pour animaux pour toutes les espèces de cheptel.

Évaluer de façon précise les besoins qualitatifs et quantitatifs en aliments pour animaux nécessite une information détaillée en fonction du recensement animal (âge, classe fonctionnelle = lactation, gestation, viande, travail, ...) et les besoins relatifs en nutriments, les productivités moyennes, les poids moyens corporels, etc. Après avoir évalué les besoins totaux en nutriments en termes de M.S. protéines et énergie, le contenu de ceux-ci dans les aliments pour animaux disponible et les pratiques d'alimentation prévalents doivent être pris en compte pour arriver au bilan en aliments pour animaux. Une connaissance basique de la nutrition animale, eu égard aux besoins animaux en nutriments et du profil nutritionnel des aliments pour animaux est essentielle pour mener à bien cet exercice. Alternativement, des nutritionnistes animaux peuvent fournir les données nécessaires à calculer précisément le bilan en aliments pour animaux.

### 9.3 MISE À JOUR DE L'INVENTAIRE

Les tâches associées au maintien et à la mise à jour de l'inventaire comprennent la mise à jour des changements associés à la production culturale, les modèles d'utilisation du sol et le recensement des animaux. Si les données sur la production des cultures et l'utilisation des sols sont disponibles annuellement, le recensement des animaux est organisé à intervalles périodiques et les figures annuelles peuvent être extrapolées à partir des données du dernier recensement et du taux annuel du croît accumulé. L'addition complémentaire de nouvelles ressources en aliments pour animaux (s'il en existe) les changements dans le taux d'extraction de certains des sous-produits après changements de moyens de transformation, et les changements en imports/exports doivent être pris en compte. Un grand nombre de sous-produits agricoles et d'espèces animales liées à l'aquaculture et à la compagnie n'ont pas été prises dans l'évaluation. Il serait nécessaire de les inclure. De plus, l'évaluation et son amélioration sont des processus continus; l'information a besoin d'être mise à jour et alfinée au fur et à mesure des progrès rendus disponibles.

Finalement, la précision de l'évaluation peut être appréciée en reliant les effectifs totaux des animaux et leurs productions à la disponibilité totale en aliments pour animaux. Ceci est basé sur le fait que, s'il est possible de maintenir un certain effectif et d'assurer un certain taux de production, cela suppose que les aliments pour animaux nécessaires à cet effet sont disponibles. Plus les besoins pour la maintenance et la production et la disponibilité totale en aliments pour animaux sont proches, plus grand sera la précision. Si une grande différence apparaît entre disponibilités et besoins, c'est qu'il existe de la place pour améliorer l'évaluation.

#### 9.4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Mudgal, V.D. & Pradhan, K.** 1988. Animal feed resources and current patterns of utilization in India. In *Proceedings – Symposium on non-conventional feed resources and fibrous agricultural residues: strategies for expanded utilization*. Hisar, India. pp.139–146.
- Ramachandra, K.S., Taneja V.K., Sampath, K.T., Anandan, S. & Angadi, U.B.** 2007. *Livestock feed resources in different agro-ecosystems of India: Availability, requirement and their management*. National Institute of Animal Nutrition and Physiology, Bangalore, India.
- Sampath, K.T., Ramachandra, K.S. & Anandan, S.** 2005. Livestock feed and fodder resources of India and strategies for their judicious utilization. *Indian J. Anim. Sci.* 75:1438–44.
- Sen, K.C. & Ray, S.N.** 1941. Animal husbandry and crop planning in India. *Science and Culture* 6:684–89.

# 10. Système de surveillance pastorale et inventaire des aliments pour animaux du Sahel

*Frédéric Ham et Erwann Fillo*

Fundación Acción Contra el Hambre, ACF-Spain, C/ Caracas 6, 1º, 28010 Madrid, Spain

Email: f.ham@accioncontraelhambre.org or fham@achesp.org

## 10.1 INTRODUCTION

La région Sahelo-Saharienne est caractérisée par de vastes zones de pâturages et une haute variabilité spatio-temporelle de précipitations. Une grande fraction de la population humaine subsiste grâce à des systèmes pastoraux extensifs caractérisés par les larges déplacements saisonniers liés à la disponibilité de deux ressources naturelles: l'eau et le pâturage.

L'étendue des espaces pastoraux, l'accès difficile aux ressources pastorales et la très faible densité démographique requièrent un mode de sécurité alimentaire et de contrôle de la vulnérabilité de la population différent des zones où l'élevage est sédentaire. Dans cette optique, les données GIS et de télédétection doivent être employées car elles facilitent un suivi efficace des ressources pastorales. La sécurité alimentaire pastorale repose sur l'élevage et donc sur le bilan des aliments pour animaux dans la région.

Durant plusieurs années, ACF International (Action Contre la Faim), en collaboration avec les systèmes d'alerte précoce au Mali et au Niger a développé un Système Pastoral d'Alerte Précoce consistant en outils basés sur le GIS permettant d'évaluer la vulnérabilité des populations pastorales. Des améliorations récentes de ce système ont permis d'évaluer la vulnérabilité des populations pastorales à une échelle régionale et ainsi de contribuer à des Systèmes d'Alerte précoce pour les régions pastorales Sahélo-Saharienne.

## 10.2 INTRANTS

### 10.2.1 Général

Le Système Pastoral d'Alerte Précoce développé par ACF possède le potentiel de contribuer aux inventaires des aliments pour animaux dans les régions Sahelo-Sahariennes car il est spécifiquement conçu pour contrôler la disponibilité en aliments pour animaux en zone pastorale. Le système pratique un usage important de l'imagerie satellitaire en temps quasiment réel, de la validation des données au sol, et des cartes de mouvement des animaux. Des outils informatiques fournissent des cartes aisément utilisables qui facilitent des évaluations quantitatives et dynamiques des aliments pour animaux. Le système a prouvé son efficacité ces dernières années pour avoir contribué au ciblage de populations pastorales en situation vulnérable pour les pastoralistes, mais des améliorations futures sont toujours souhaitables.

TABLEAU 10.1  
SPOT-VEGETATION bandes spectrales

Bandes	Couleur	Longueurs d'ondes
B0	Bleu	0,430–0,740 mm
B2	Rouge	0,610–0,680 mm
B3	Proche infra-rouge (NIR)	0,780–0,890 mm
SWIR	Ondes courtes Infra-rouge (SWIR)	1,580–1,750 mm

## 10.2.2 DONNÉES DE TÉLÉDETECTION

Le Système d'Alerte Précoce développé par ACF utilise les données NDVI (Index de Végétation Différentiel Normalisé) et DMP (Productivité en Matière Sèche) fournies par l'Institut Flamand de Recherche technologique (VITO).

Ces produits proviennent des capteurs Végétation de moyenne résolution des satellites SPOT 4 et SPOT 5 lancés en 1998. L'imagerie quotidienne est produite à une échelle mondiale de 1 km x 1 km de résolution. Afin d'éliminer la couche nuageuse, une opération de compositing est réalisée sur une période de 10 jours fournissant une synthèse décadaire: soit trois décades par mois (1-10, 11-20, 21-fin du mois) et 36 décades par an.

Les algorithmes détaillés peuvent être trouvés sur les pages WEB suivantes:

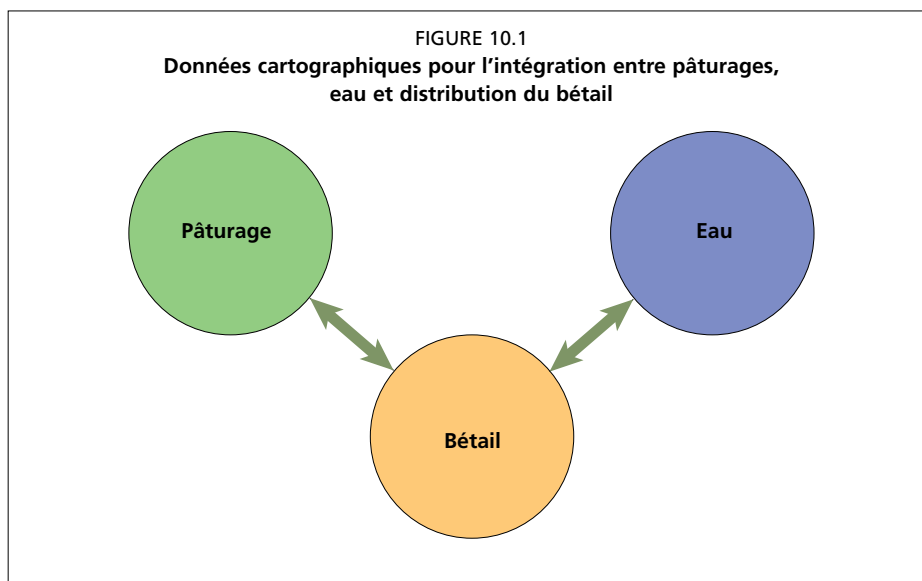
- [http://web.vgt.vito.be/documents/BioPar/g2 -BP-RP-BP053-ProductUserManual-DMPV0-11.00.pdf](http://web.vgt.vito.be/documents/BioPar/g2-BP-RP-BP053-ProductUserManual-DMPV0-11.00.pdf)
- <http://www.vgt4africa.org/PublicDocuments/S10-NDVI-Product-Sheet.pdf>

## 10.3 MÉTHODOLOGIE

### 10.3.1 Général

Le système ACF emploie une approche GIS multi-couches intégrant les données spatiales caractérisant les ressources physiques pastorales et le mouvement du bétail. Le système évalue la biomasse brute produite, mais aussi l'accessibilité de la biomasse en relation avec la disponibilité en eau et les mouvements pastoraux saisonniers. Dans le Sahel septentrional, la biomasse représente la variable prioritaire à considérer lorsqu'on quantifie la disponibilité en aliments pour animaux, étant donné que le fourrage provient directement de la biomasse.

Dépendant de la région et de la saison, l'eau peut ou ne peut pas être disponible à proximité immédiate des zones de pâturage. Les animaux doivent se déplacer à une fréquence suffisante pour avoir accès à l'eau simultanément au pâturage. Dès lors, le contrôle de la disponibilité en eau et des déplacements des animaux vers les pâturages sont tous deux fondamentaux pour un inventaire précis des aliments pour animaux. La biomasse et l'eau sont indiquées avec des variables additionnelles, telles les distributions des animaux et la topographie afin de produire les évaluations des disponibilités fourragères.



### 10.3.2 Processus en deux phases

Deux phases essentielles sont nécessaires pour l'inventaire en aliments pour animaux:

1. Suivi de la biomasse
2. Couverture cartographique
  - a. Cartes hydrologiques
    - i. Eau de surface
    - ii. Puits et forages
  - b. Cartographie des zones de concentration
  - c. Cartes de distribution des animaux
  - d. Topographie

### 10.3.3 Suivi de la biomasse et le Biogenerator

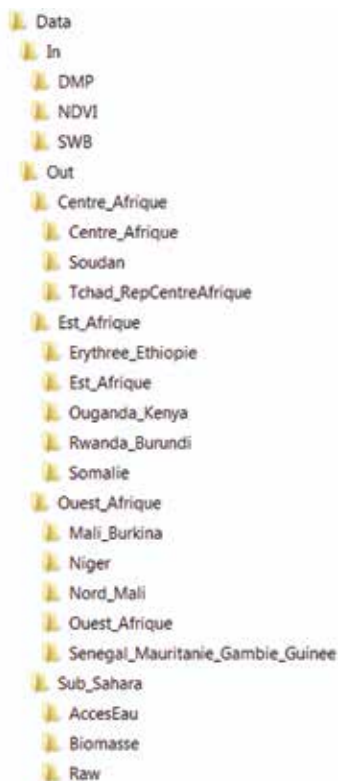
Dans le contexte Nord-Sahélien, la période de production des pâturages s'arrête quelques semaines après la fin des pluies. Ensuite, il est possible de déterminer le bilan fourrager de la région pour l'année en cours. Un outil informatique appelé *Biogenerator* intégrant des images satellitaires a été développé par ACF. Cet outil facilite le calcul de la matière végétale disponible à travers l'ensemble de la région à la fin de la saison des pluies. Les résultats comprennent la production totale annuelle en matière sèche, exprimée en kg de M.S./ha, et l'écart par rapport à la moyenne interannuelle, appelée anomalie de la production en M.S., exprimée en pourcentage.

La suite est extraite d'un manuel non publié, écrit par E. Fillol.

#### **Structure du dossier**

La structure en données entrantes et sortantes est illustrée dans la Figure 10.2a. Les In représentent les données entrantes et le dossier Out renferme les données sortantes.

FIGURE 10.2a  
Structure du dossier de travail du BioGénérateur 2 (v2.1)



### Données entrantes

Le VITO fournit à ACF-Espagne un produit spécifique données décennales appelées PMS (Productivité en Matière Sèche). Ces données sont automatiquement changées sur le serveur ACF-Espagne. L'accès à ces données s'effectue à travers les contacts suivants:

- Alejandro Canet Rodriguez: [acanet@achesp.org](mailto:acanet@achesp.org)
- Frédéric Ham: [f.ham@accioncontraelhambre.org](mailto:f.ham@accioncontraelhambre.org) ou [fham@achesp.org](mailto:fham@achesp.org)

La première étape consiste à charger les données à travers un serveur ftp, en décompressant les archives et en les copiant dans le dossier approprié. Deux champs sont nécessaires pour effectuer le processus: DMP et NDVI (Tableau 10.2).

Ces deux fichiers, une fois décompressés sont respectivement copiés dans les dossiers *Données/In/NDVI*. Les fichiers *img* sont les données image en format brut et les fichiers *ahd* sont les fichiers de tête.

Le BioGénérateur 2 (v2.1) peut fonctionner si une décennie ou plus est manquante. Dans ce cas, un message identifiant la décennie manquante avertit l'utilisateur mais le calcul est effectué. La valeur des décennales manquantes est alors interpolée linéairement.

TABLEAU 10.2  
Nomenclature dossier compressé et décompressé et taille fichier

Produits	Archives compressées	Archives décompressées	Dossier Destination	Taille Fichier Image .img [bytes]
PMS	DMP_aaaammjj.zip	DMP_aaaammjj.img DMP_aaaammjj.hdr	Data/In/DMP/	56 925 660
IDNV	NDVI_aaaammjj.zip	NDVI_aaaammjj.img NDVI_aaaammjj.hdr	Data/In/NDVI/	28 462 830

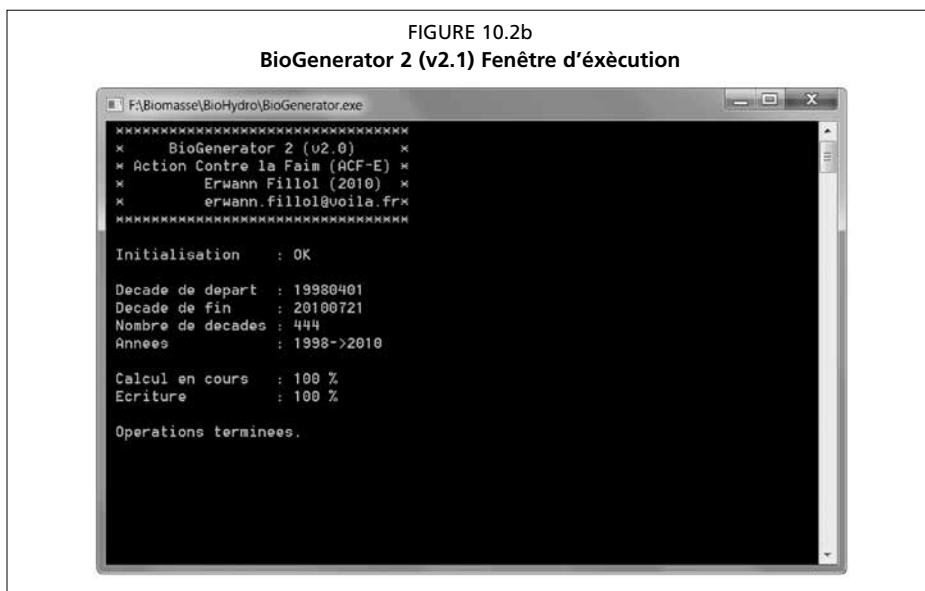
TABLEAU 10.3  
Concordance entre numéro décade et sa date de départ

Numéro Décade	Date	Numéro Décade	Date	Numéro Décade	Date
1	01/01	13	01/05	25	01/09
2	11/01	14	11/05	26	11/09
3	21/01	15	21/05	27	21/09
4	01/02	16	01/06	28	01/10
5	11/02	17	11/06	29	11/10
6	21/02	18	21/06	30	21/10
7	01/03	19	01/07	31	01/11
8	11/03	20	11/07	32	11/11
9	21/03	21	21/07	33	21/11
10	01/04	22	01/08	34	01/12
11	11/04	23	11/08	35	11/12
12	21/04	24	21/08	36	21/12

### Paramètres du BioGenerator

Les paramètres pouvant être chargés par l'utilisateur sont les suivants:

- Paramètre de fonction du filtre spatial d'anomalie de biomasse. Ces paramètres reprennent la taille et les nombres de passage de ce filtre circulaire. Le premier chiffre donne le nombres de passages du filtre et le second donne le rayon en pixels de la fenêtre du filtre. Le filtre peut aussi être désactivé. Le système filtrant des cartes d'anomalies de biomasse révèle rapidement les variations anormales locales.
- La période d'intégration est définie par la première et la dernière décade. Les valeurs entrantes sont la position des décades en 1 et 36 (Tableau 10.3). Au cas où la valeur de la dernière décade est inférieure à celle de la première, l'intégration va jusqu'à la



décade de l'année suivante. Par exemple, les valeurs par défaut 7 et 6 supposant l'intégration pour l'année X est calculée à partir de la décade 01/03 de l'année X jusqu'à la décade 21/02 de l'année X+1 (cf. dans Tableau 10.3). La période d'intégration doit être égale ou supérieure à deux décades.

Les paramètres sont accessibles pour l'utilisateur et peuvent être modifiés. Autrement, les valeurs par défaut seront utilisées en fonction de la date de départ des décades.

### **Exécution du programme**

Le programme est exécuté et une fenêtre s'ouvre pour révéler les paramètres utilisés, les décades intégrées et le nombre d'années considérées à partir de ces séries (Figure 10.2 b).

Un compteur montre la progression des calculs en pourcentage. Deux phases de calcul se succèdent: la première concerne le calcul de la fenêtre sub-saharienne globale. La seconde traite les fenêtres et sous-fenêtres de sorties et procède à l'écriture des fichiers de données sortantes.

En fonction du nombre de décades, et de la vitesse du processeur et du disque dur, le calcul peut prendre deux à trois heures sur un PC standard. La configuration minimale requise concerne surtout la mémoire disponible (RAM) avec un minimum de 16B et un espace de disque minimal de 36B pour chaque année considérée.

### **Données de sortie**

Le BioGénérateur fournit la quantité de biomasse, exprimée en KG de matière sèche par hectare, pour chaque année et également pour la durée moyenne de la période de calcul. Il fournit également des anomalies annuelles (%) sur 13 fenêtres géographiques. Les données de sortie sont produites en format GEOTIFF (.tif) en coordonnées géographiques Lat/Lon WGS-84 avec une résolution spatiale de 1 km. Le Tableau 10.4 affiche les définitions de ces fenêtres géographiques.



TABLEAU 10.4  
**Coordonnées des fenêtres géographiques et tailles en pixel des données  
 de sortie du BioGenerator 2 (v2.1)**

Fenêtres	Sous Fenêtres	Haut à gauche	Bas à droite	Taille (pixels)
Sub-Sahara	Sub-Sahara	-18,000E	52,000E	7841 × 3630
		27,375N	-5,02678611N	
Afrique de l'Ouest	Ouest_Afrique	-18,000E	16,000E	3810 × 2060
		27,375N	9,000N	
	Mali_Burkina	-12,500E	5,5000E	2018 × 1794
		25,000N	9,000N	
	Niger	0,000E	16,000E	1794 × 1458
24,000N		11,000N		
Senegal_Mauritanie_Gambie_Guinée	-18,000E	-4,500E	1514 × 1948	
	27,375N	10,000N		
Afrique Centrale	Centre_Afrique	13,000E	39,000E	2914 × 2466
		24,000N	2,000N	
	Soudan	21,000E	39,000E	2018 × 2354
		24,000N	3,000N	
	Tchad_RepCentreAfrique	13,000E	28,000E	1682 × 2466
24,000N		2,000N		
Afrique de l'Est	Est_Afrique	28,000E	52,000E	2689 × 2578
		18,000N	-5,000N	
	Erythree_Ethiopie	32,000E	48,000E	1794 × 1682
		18,000N	3,000N	
	Ouganda_Kenya	29,000E	42,000E	1458 × 1122
5,000N		-5,000N		
Rwanda_Burundi	28,000E	31,000E	338 × 450	
	-1,000N	-5,000N		
Somalie	40,000E	52,000E	1345 × 1570	
	12,000N	-2,000N		

### Quantités de biomasse

Pour chaque fenêtre et sous-fenêtre géographiques est fourni un fichier reprenant la quantité de biomasse produite annuellement; un second fichier indique la valeur moyenne pour l'ensemble des séries temporelles. La biomasse est exprimée en kilogramme de M.S./ha. Aucune productivité n'est mentionnée pour les zones désertiques et les surfaces en eau. La quantité annuelle de biomasse est calculée comme la somme de la productivité quotidienne durant la saison des pluies [ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jour}^{-1}$ ]. La saison de croissance peut être définie par l'utilisateur. Par défaut, elle démarre avec la première décade de mars jusqu'à la dernière décade de février de l'année suivante.

FIGURE 10.3  
Carte Biomasse [kg.ha<sup>-1</sup>] calculé en Juillet 2010  
(dernière décade)

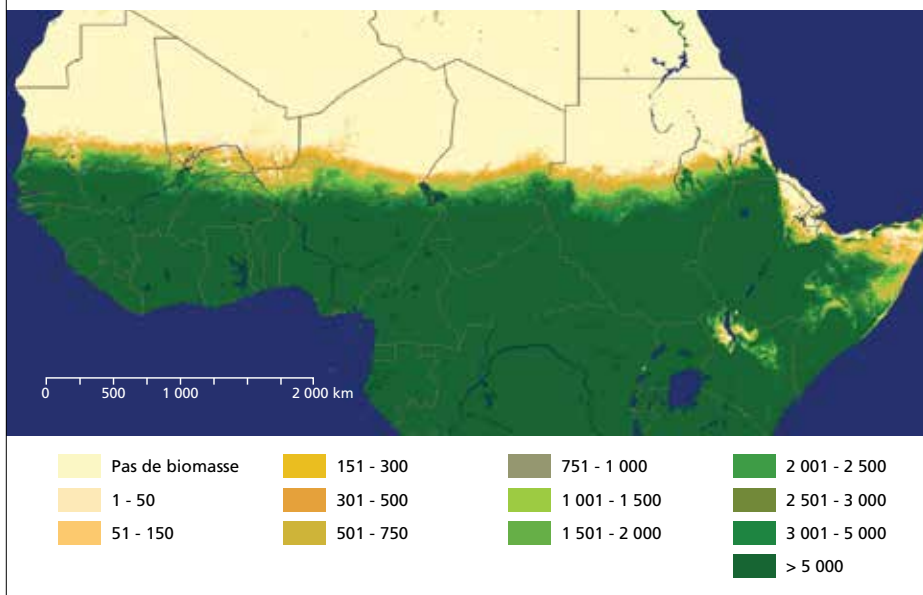
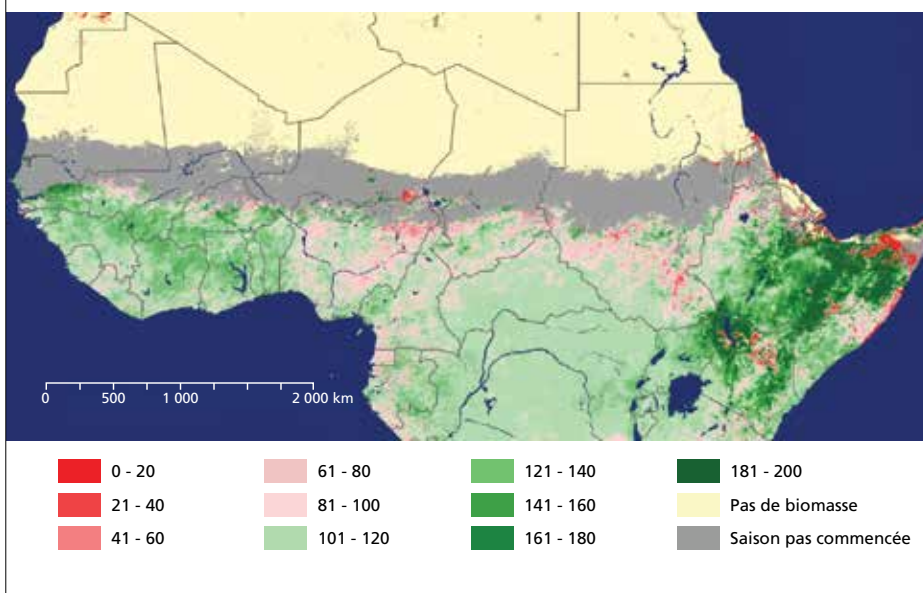


FIGURE 10.4  
Carte d'anomalie de biomasse (pourcent) calculé fin juillet 2010  
(dernière décade 2010)



L'ensemble des données pour la saison de croissance de l'année en cours peut être incomplète. Si plusieurs décades sont manquantes, le calcul de la quantité de biomasse peut être complété en utilisant la productivité moyenne observée. La carte quantitative de biomasse (Figure 10.3) pour l'année en cours (e.a. 2010) est une estimation de la production totale en fonction des décades disponibles.

### **Anomalie de la biomasse**

Pour chaque fenêtre et sous-fenêtre, un fichier de sortie est fourni indiquant l'anomalie de biomasse, représentée par la différence de productivité de l'année en cours et la valeur moyenne calculée sur l'ensemble des séries temporelles. L'anomalie est exprimée en pourcentage.

Pour l'année courante, l'anomalie est calculée en utilisant les décades disponibles à partir du démarrage de la période de croissance (décade de départ choisie par l'utilisateur). Pour obtenir des valeurs d'anomalie significatives, le calcul débute seulement lorsqu'un minimum de 15% de la productivité moyenne a été atteint. Autrement, le pixel reçoit une valeur de 251, ce qui signifie que la période de croissance n'est pas suffisamment avancée pour fournir des valeurs d'anomalie significatives et fiables.

### **Processus de recouvrement**

Ainsi que mentionné antérieurement, le contrôle de la biomasse est essentiel mais non suffisant pour obtenir un inventaire correct de aliments pour animaux.

L'accessibilité au fourrage, la distance à partir des points d'eau et le comportement des animaux sont des facteurs additionnels à considérer. Comme on peut l'observer dans la figure 10.5, il est possible d'obtenir des niveaux plus élevés de précision en ajoutant des couches d'analyse et en améliorant la qualité de chacune d'entre elles.

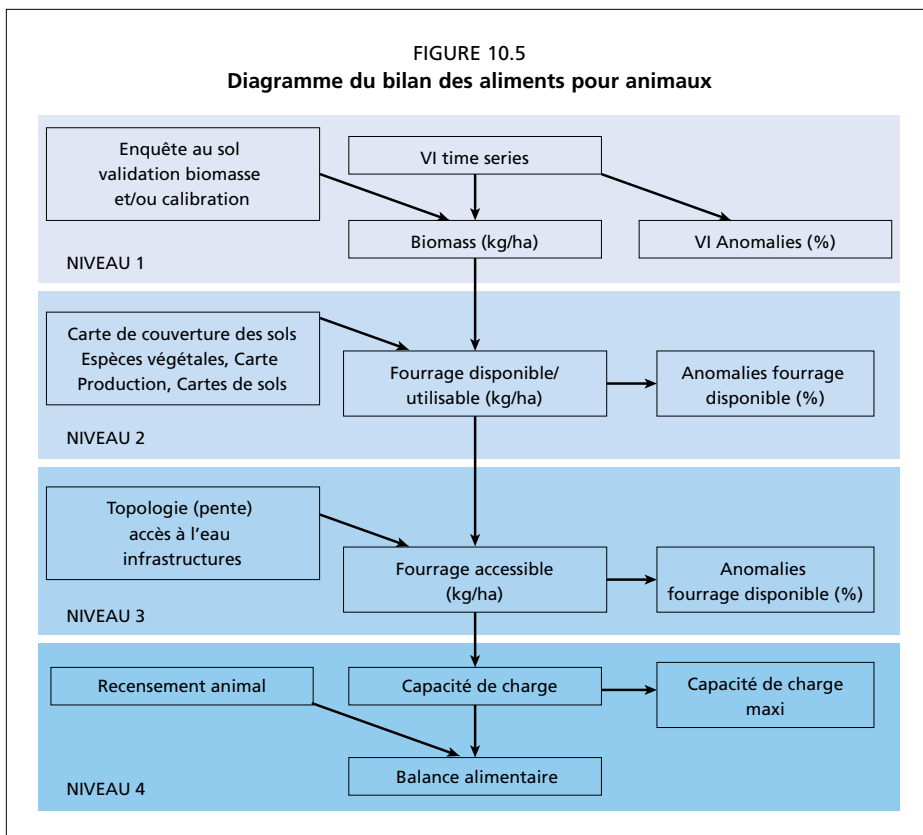
### **Contrôle des eaux de surface**

L'*Hydrogéogénérateur*, développé par ACF entre 2009 et 2010, prend en considération des corpuscules dans les points d'eaux de surface et leur évaluation tout au long de l'année. Le matériel réalise une somme décadaire de cellules pixels détectées et représente une carte de détection d'eaux de surface cumuléesatives. Pour la période entre 2000 et aujourd'hui, pour une année donnée, cet outil produit une carte d'accessibilité à aux l'eaux de surface qui aide à caractériser les zones en considérant le temps de résidence présence de l'eau et leur son influence dans un cercle tampon de 30 km autour des cellules détectées. Le matériel est disponible mais requiert un travail additionnel véritable de terrain pour afin d'être validé.

D'autres outils et systèmes sont également à l'essai et peuvent compléter les systèmes ACF (voir **Références** 10.5 pour études existantes).

### **Données sur les puits et les forages**

Cartographier les puits et les forages peut grandement compléter le processus de suivi des eaux de surface. Etant donné que certaines régions dépendent fortement des eaux de surface pour l'abreuvement des animaux, d'autres relèvent plutôt de la disponibilité des eaux souterraines. Une base de données actualisée peut aider à identifier les zones utilisables pour l'alimentation des animaux.



### ***Cartographier des zones de concentration***

Les déplacements des pasteurs et les zones de concentration peuvent grandement varier, si l'on considère les ressources disponibles. Cependant, les mouvements usuels peuvent être définie et comparés avec les déplacements effectifs de l'année considérée afin d'avoir une meilleure compréhension des stratégies potentielles d'adaptation des éleveurs et aussi, d'être à même d'anticiper les difficultés auxquelles devront plus tard se confronter les populations. Analyser ces modèles est important dans le cadre de l'actualisation des inventaires en aliments pour animaux.

### ***Topographie***

Dans les zones de collines, certaines surfaces fourragères ne sont pas accessibles et, de ce fait, ne seront pas prises en compte dans le calcul de l'inventaire en aliments pour animaux. Recouvrir un Modèle numérique d'élévation peut éliminer cette donnée de fourrage inaccessible du calcul de l'inventaire en aliments pour animaux.

### ***Recensement des animaux***

Un recensement fiable joue un rôle important dans le calcul de bilans en aliments pour animaux comme démontré dans la Figure 10.5.

## 10.4 MISE À JOUR DE L'INVENTIAIRE

Chaque année, en fin de saison des pluies, l'inventaire des aliments pour animaux est actualisé en combinant la biomasse, des cartes des eaux de surface, ainsi que d'autres couches de données. Le suivi en cours sur les déplacements des animaux, des aires de concentration et les effectifs des animaux sont utiles pour identifier les zones potentiellement vulnérables. Tous ces éléments représentent la base d'un inventaire des aliments pour animaux, mais des données et une information complémentaire seront utiles pour produire un produit tout à fait fiable comme indiqué dans la Figure 10.5. Des niveaux plus élevés de précision pourraient être atteints en utilisant des données additionnelles, sous conditions qu'elles soient disponibles.

ACF International tente de développer davantage le système et de le distribuer à d'autres pays aussi bien en Afrique de l'Ouest qu'en Afrique de l'Est. Ces améliorations pourront, à terme, conduire à la mise en place d'un module de vulnérabilité pastorale en Afrique.

## 10.5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baret, F., Weiss, M., Lacaze, R., Camacho, F. & Smets, B.** 2011. Global long time series of LAI and FAPAR essential climate variables from the capitalization of current existing products: principles and validation of GEOV1 products. *EARSeL Symposium*.
- Combal, B., Haas, E. & Bartholome, E.** 2009. *Detection of surface water with spot/vegetation. Monitoring and assessing CILSS countries surface water availability*. Joint Research Centre, European Commission.
- Combal, B., Haas, E. & Bartholome, E.** 2009. *Operational monitoring of water bodies in arid and semiarid regions with SPOT/VEGETATION satellite: Contribution of EUMETCAST and recent research projects*. Joint Research Centre, European Commission.
- D'Andrimont, R., Pekel, J.-F. & Defourny, P.** 2010. *Monitoring water bodies over whole Africa at 250 m resolution: multi-annual analysis of various spatio-temporal dynamics*. Unpublished Poster. Department of Environmental Sciences and Land Use Planning, Université Catholique de Louvain, Belgium.
- Fillol, E. & Metais, T.** 2008. *Evaluation des risques liés aux variations spatiotemporelles de la pluviométrie au Sahel*. Bastide. XIVth IWRA World Water Congress, Montpellier. Action Contre la Faim.
- Fillol, E., Metais, T. & Gomez, A.** 2008. *Using remote sensing to estimate the quantity of biomass in the Mali-Niger Sahel region to assist in the management of pastoral activities*. Action Contre la Faim – Internal report.
- Haas, E., Bartholome, E. & Combal, B.** 2006. *A map of temporary water bodies in Western Africa*. Joint Research Centre, European Commission.
- Haas E., Bartholome, E. & Combal, B.** 2009. *Time series analysis of optical remote-sensing data for the mapping of temporary surface water bodies in Sub-Saharan Western Africa*. Joint Research Centre, European Commission, Journal of Hydrology.
- Haas E.** 2010. *Temporary water bodies as ecological indicators in West African drylands*, Joint Research Centre, European Commission, UCL and IES.

- Ham, F., Metais, T., Hoorelbeke, P., Fillol, E. & Crahay, P.** 2011. One horn of the cow: an innovative GIS-based surveillance and early warning system pastoral areas of Sahel Action Contre le Faim, *In: Risk returns*, pp.127–131, United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat (UNISDR) Publishers, Leicester, United Kingdom.
- Macopiyo, L.A.** 2005. *Spatially explicit, individual-based modelling of pastoralists' mobility in the rangelands of East Africa*. Texas A&M University, USA.
- Metais, T.** 2007. Suivi des paturages au Sahel. *SPOT Magazin*. No. 42. Action Contre la Faim.
- Otto Naes, L., Sullivan, M., Khinmaung, J., Crahay, P. & Otzelberger A.** 2010. *Changing climate changing lives, adaptation strategies of pastoral and agro-pastoral communities in Ethiopia and Mali*. Action Contre la Faim, Tearfund, and IDS.
- Senay, G., Whisenant, S., Asante, K., Angerer, J., Hockett, S., Singh, R., Manohar Velpuri, N. & Alemu H.** 2010. *Enhancing the Livestock Early Warning System (LEWS) with NASA earth-sun science data, GPS and RANET technologies*. Enhanced LEWS DSS – Benchmark Report. NASA. Texas A&M University, USA.
- Smets, B., Eerens, H., Jacobs, T. & Royer A.** 2007. Towards an operational GMES land monitoring core service. BioPar dry matter productivity from SPOT VEGETATION data. *VITO Geoland*, 2.

# 11. Développement et application des techniques de suivi des parcours basées sur l'observation de la Terre en Namibie

*Christophe Sannier*

Systèmes d'Information à Référence Spatiale (SIRS), Parc de la Cimaise I, 27 rue du Carrousel,  
59650 Villeneuve d'Ascq, France  
Email: christophe.sannier@sirs-fr.com

## 11.1 INTRODUCTION

Une proportion significative de la population d'Afrique australe est dépendante de l'élevage comme source de revenus et d'alimentation, et la majorité du bétail dépend exclusivement des parcours pour le fourrage. Dès lors, la surveillance des parcours est un facteur essentiel pour évaluer la sécurité alimentaire. De plus, du fait de la grande variabilité spatiale et temporelle de la croissance végétale dans l'ensemble de la région, il s'avère essentiel de contrôler la végétation des parcours à intervalles réguliers pendant la période de croissance sur de larges superficies afin de se procurer des estimations en temps réel des conditions de végétation. Les données de télédétection sont, de ce fait, particulièrement pertinentes.

Dans le contexte de l'installation d'une évaluation nationale des aliments pour animaux pour la végétation de parcours, différentes approches peuvent être mises en œuvre; elles peuvent se compléter l'une l'autre. Idéalement, ceci formera une série d'étapes, avec des degrés accrus de précision en termes des estimations de quantité et qualité de fourrage disponible. Dans l'optique de ce cas d'étude, le processus peut être mis en œuvre en deux phases séparées:

- La phase initiale comprend la collecte de données obtenues par satellites de manière régulière sur les conditions de végétation à l'échelle de l'ensemble d'un pays. Cela est présenté dans la Phase I ci-dessous. L'avantage de cette approche est qu'elle ne requiert que peu ou pas de données de calibration et peut fournir des estimations régulières tout au long d'une saison de croissance. Elle a été appliquée dans plusieurs pays sud-Africains et est actuellement opérationnelle pour l'Afrique entière.
- Une seconde phase implique une approche plus qualitative pour estimer la production primaire nette à partir de l'intégration des mesures de terrain avec l'imagerie satellitaire. Ces estimations peuvent être reliées à la disponibilité fourragère. Cette approche est présentée en Phase II ci-dessous. Quoique l'exemple soit le Parc National Etosha en Namibie, la méthode peut être appliquée pour l'ensemble d'un pays.

- Dans une troisième phase, qui n'est pas détaillée ici, les estimations nationales peuvent être fournies en développant les estimations pour des types individuels d'usage et/ou de couverture du sol. Ces estimations peuvent alors être extrapolées à une carte nationale usage/couverture des sols. Ce type de carte est normalement produit à partir des données de télédétection, ou fournie par les agences gouvernementales.

## **11.2 PHASE 1: CONTRÔLE EN TEMPS RÉEL DES PARCOURS AVEC NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – ADVANCED VERY HIGH RESOLUTION RADIOMETER (NOAA-AVHRR)**

### **11.2.1 Introduction**

La Namibie est un pays sec semi-aride situé en Afrique du Sud-Ouest d'une superficie totale de 825 000 km<sup>2</sup>. La population vient juste de dépasser les deux millions, mais continue à s'accroître rapidement. Le climat est majoritairement aride et semi-aride avec une pluviométrie moyenne variant de 0 mm dans le désert côtier jusqu'à 600mm dans le Nord Est. Cette pluviométrie est très variable, tant au cours du temps que dans l'espace. 1% des terres du pays conviennent pour l'agriculture, quoique la pression de la population augmente la progression de l'agriculture dans des régions moins propices. Le reste du pays est majoritairement composé de savanes et de déserts. Après le secteur minier, la source nationale de revenus provient d'élevage.

Au cours des vingt dernières années, le pays a été frappé par plusieurs sécheresses, et la combinaison d'années faiblement pluvieuses et une augmentation de la population animale a conduit au surpâturage et, finalement, à la dégradation des sols dans les régions les plus touchées. Il est cependant difficile de prédire si la situation est devenue irréversible ou si elle peut s'améliorer si les pluies reviennent à la normale. Elle a conduit le gouvernement et les bailleurs de fonds à rechercher d'autres pistes pour contrôler l'actuelle végétation des parcours afin de pouvoir prendre de meilleures décisions de gestion.

Des études antérieures (Hutchinson, 1991; Lambin *et al.*, 1993) ont démontré l'avantage de la télédétection par satellite, particulièrement NOAA-AVHRR, pour le contrôle des conditions de végétation par rapport aux méthodes basées sur l'interpolation des données de pluviométrie. Dans le cas de la Namibie, le réseau disponible de pluviomètres n'est pas suffisant pour permettre une interpolation fiable de la variation spatiale de la pluviométrie annuelle de l'ensemble du pays. L'indicateur fourni par satellite le plus largement utilisé par l'activité végétale est l'Index de Différence Normalisée de la Végétation (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI).

Il est besoin de comparer l'actuel NDVI avec des données historiques afin d'évaluer si les conditions de végétation sont meilleures ou pires que d'habitude et, dans le second cas, de savoir si les conditions sont suffisamment extrêmes pour affecter défavorablement cultures et animaux. Les initiatives internationales les plus marquantes (USAID-FEWS<sup>8</sup>, FAO) ont abouti à la mise en place des Systèmes d'Alerte précoce qui compareront les images NDVI actuelles à celles obtenues antérieurement sur des périodes de 10 jours ou à l'image moyenne pour une période de 10 jours de référence (e.a. la période des premiers 10 jour de juin pour toutes les années où il y a des données disponibles) (Hutchinson, 1991; Lambin

<sup>8</sup> Système d'Alerte Précoce contre les Famines.



et al., 1993). La dernière méthode suppose que la variation annuelle du NDVI pour un lieu et une période donnée de 10 jours, suit une distribution de Gauss. Cette hypothèse n'est pas raisonnable parce que la limite inférieure du NDVI est tronquée par la réponse pour les sols mis à nu. Une méthode améliorée et testée par Sannier *et al.* (1998) en Namibie et en Zambie, estime les distributions statistiques des séries temporelles de l'IDNV en appliquant des techniques couramment utilisées en hydrologie pour la production d'événements extrêmes et définit ainsi un indicateur de productivité de la Végétation (Vegetation Productivity Indicator, VPU). Cette section décrit comment cette méthodologie a été développée et adaptée pour les systèmes d'Alerte Précoce de la Namibie (SAP) au Département des Services météorologiques et le Ministère Namibien de l'Agriculture à travers le projet pour l'Environnement de la Namibie Septentrionale.

### 11.2.2 Mise en œuvre du contrôle en temps réel de la végétation en Namibie

Le contrôle de la végétation en temps réel avec une imagerie satellitaire n'est seulement possible que si une réception fiable de données satellitaires est disponible. Durant les dernières décennies, le consortium LARST (Local Application of Remote Sensing Technology) dirigé par l'Institut des Ressources Naturelles a développé des récepteurs de satellite bon marché capables de capter les données NOAA-HRPT (Transmission Haute Résolution de Photos). Le système est composé d'une antenne et d'un receveur connectés à un PC avec une carte acquisition et un logiciel appropriés. Un tel système a été installé à l'Institut d'Ecologie d'Etosha à Okaukuejo où les données NOAA-AVHRR ont été acquises et utilisées pour la production quotidienne d'images NDVI.

Les archives NDVI d'ARTEMIS<sup>9</sup> qui furent utilisées précédemment recouvraient la période 1981-91.

Il est nécessaire d'étendre la couverture temporelle de cette archive pour améliorer la mise en œuvre de la méthode VPI. La base de données Pathfinder AVHRR Land (PAL) du NASA-GSFC (National Aeronautics and Space Administration – Goddard Space Flight Centre) est disponible jusqu'en septembre 1994. Des données additionnelles étaient également disponibles sur le site Internet ADDS (Service de Dissémination des données africaines) de USGS; elles furent traitées de la même façon que les données ARTEMIS pour la période démarrant en août 1995 jusqu'à présent (les données continuent d'être mise à jour). Les données combinées couvrent une période de 15 ans.

Les archives ARTEMIS et PAL ont été comparées par Sannier *et al.* (1998) dans la période de chevauchement, elles ont montré que, même s'il existe une forte relation entre les valeurs IDNV de ARTEMIS et PAL, il existait des différences significatives. Cependant, les valeurs IDNV des archives PAL 1991-94 ont été confrontées aux valeurs ARTEMIS en utilisant une relation de régression. La comparaison des données ADDS avec les valeurs ARTEMIS pour des cibles stables comme les déserts prouvent que ces valeurs étaient directement compatibles avec ARTEMIS. Des images IDNV composées sur des séries de 10 jours maximum furent extraites des différentes sources de données identifiées dans le Tableau 11.1 pour la Namibie et ses environs pour une période de 18 ans.

<sup>9</sup> Advanced Research & Technology for Embedded Intelligence and Systems.

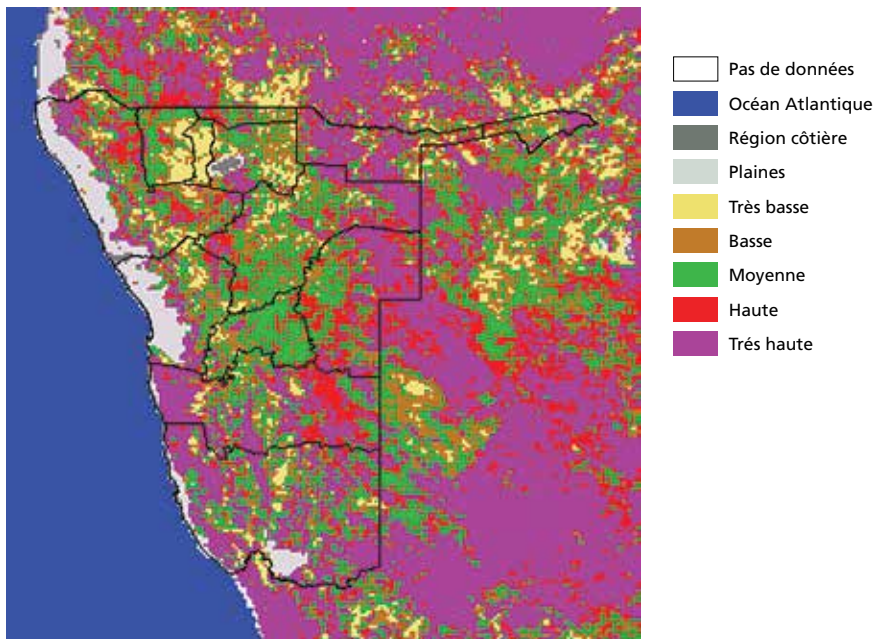
TABLEAU 11.1

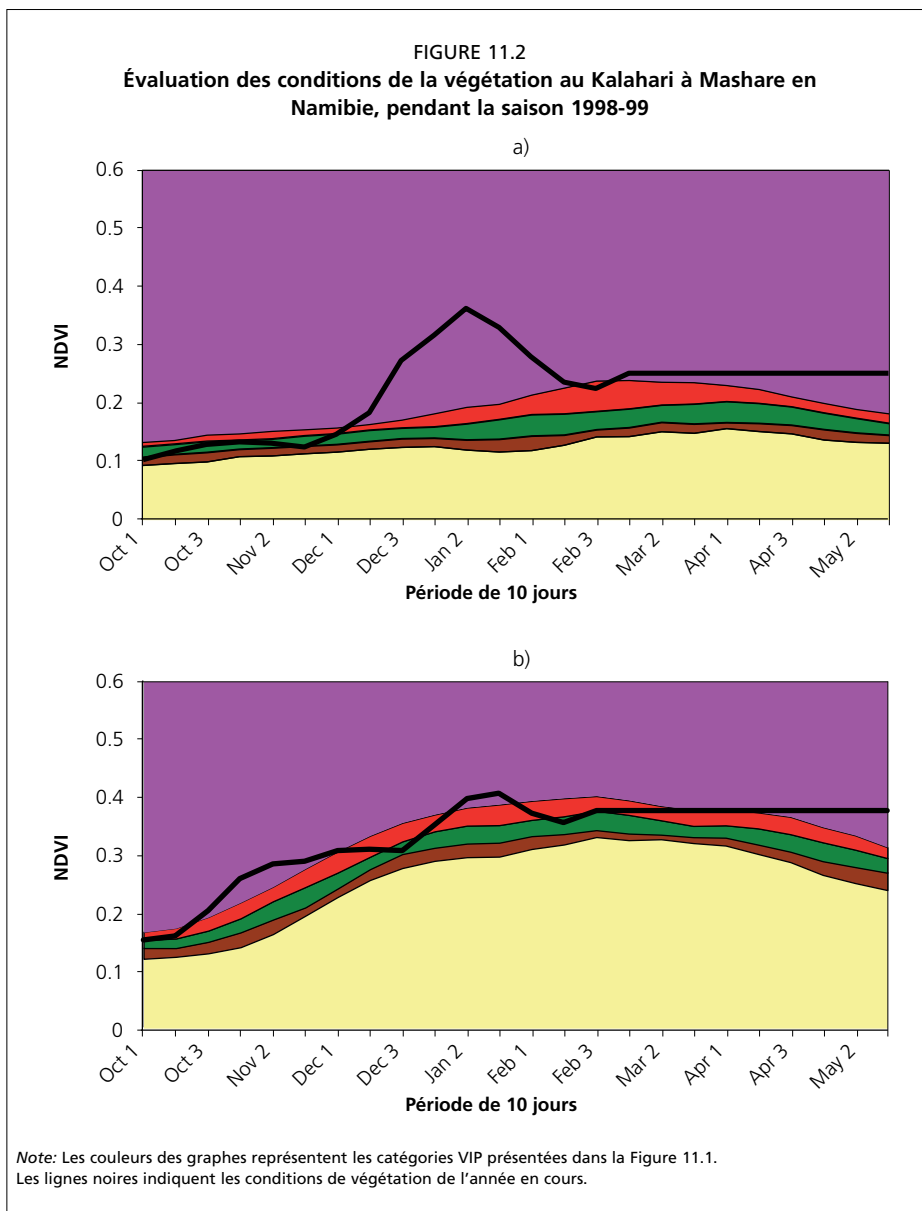
## Sources des données pour la série temporelle de données satellites sur la Namibie

Période	Source des données
1 <sup>ère</sup> décade août 1981 à 3 <sup>ème</sup> décade juin 1991	FAO-ARTEMIS
1 <sup>ère</sup> décade juillet 1991 à 3 <sup>ème</sup> décade juillet 1994	NASA/GSFC PAL
1 <sup>ère</sup> décade juillet 1995 à 3 <sup>ème</sup> décade juin 1997	USGS/FEWS/ADDS

L'algorithme ISODATA (ERDAS, 1995) a été utilisé pour réaliser plusieurs classifications non supervisées d'un maximum de vraisemblance. Ceci a été effectué sur les 36 images décadaires dont la moyenne a été calculée sur 18 années, en faisant varier les paramètres de regroupement et le nombre de classes. Les pixels nuageux furent éliminés dans le calcul de moyennes. Finalement 14 classes ont été choisies pour stratifier la région d'étude pour la méthode VPI. La distribution statistique du NDVI pour chaque période de 10 jours et chaque strate fut déterminée en employant la méthode décrite par Sannier et al. (1998). Ceci pour déterminer les valeurs d'IDNV correspondants aux seuils de probabilité permettant de définir cinq classes d'état de végétation (très basse, basse, moyennes, haute, très haute) dans chaque strate ainsi que représenté dans la Figure 11.1. La Figure 11.2 présente une représentation graphique de ces seuils sur la période de croissance de la végétation et pour deux endroits.

FIGURE 11.1  
Carte VPI de la Namibie - octobre 1999





### 11.2.3 Développements des produits

La méthodologie fut confiée au Ministère de l'Agriculture et au Ministère de l'Environnement et du Tourisme. Un atelier fut tenu à Windhoek pour discuter le format et les voies de transmission des produits, comprenant les cartes, les graphiques et les tableaux statistiques. Une carte de référence pour le niveau ministériel fut identifiée pour la saison des pluies. Elle représente les valeurs VPI maximales obtenus à partir de trois périodes de 10 jours, était simple à utiliser et permettait de réduire la présence des pixels nuageux. Un exemple d'une carte VPI est présenté dans la Figure 11.1.

Les cartes VPI présentent la distribution spatiale des conditions de végétation des parcours pour l'ensemble de la Namibie à un moment particulier dans le temps. Il a également été considéré important de contrôler les conditions de la végétation au cours du temps actuelles sur les profils d'état de la végétation comme présentée dans la Figure 11.2. Ceci complète l'information cartographique et aide dans la production des prévisions saisonnières. Des macros ont été développées pour faciliter la production rapide de ces graphiques pour des endroits stratégiques dans le pays (Gaborone, Kasane, Francistown, Maun, Guanzi and Tsabong). Dans le Kalahari (Figure 11.2a) la réponse de la végétation fut exceptionnellement précoce et élevée tandis qu'à Mashare (Figure 11.2b) la saison de croissance a commencé deux mois plus tard que d'habitude et était toujours comparative-ment plus basse au moment de la dernière image reportée.

Ces méthodes ont été présentées au personnel des services météorologiques et du Ministère de l'Agriculture, qui a été formé à produire des graphes similaires.

Il existait également un besoin d'un produit simple pour indiquer les conditions au niveau des districts agricoles. Le nombre de pixels en dessous des conditions moyennes pour chaque district ont été reportées sur un tableur afin de produire un graphe (Figure 11.3) du pourcentage de chaque district souffrant de conditions potentielles de sécheresses. Cette information contribue à l'identification rapide des districts à problèmes.

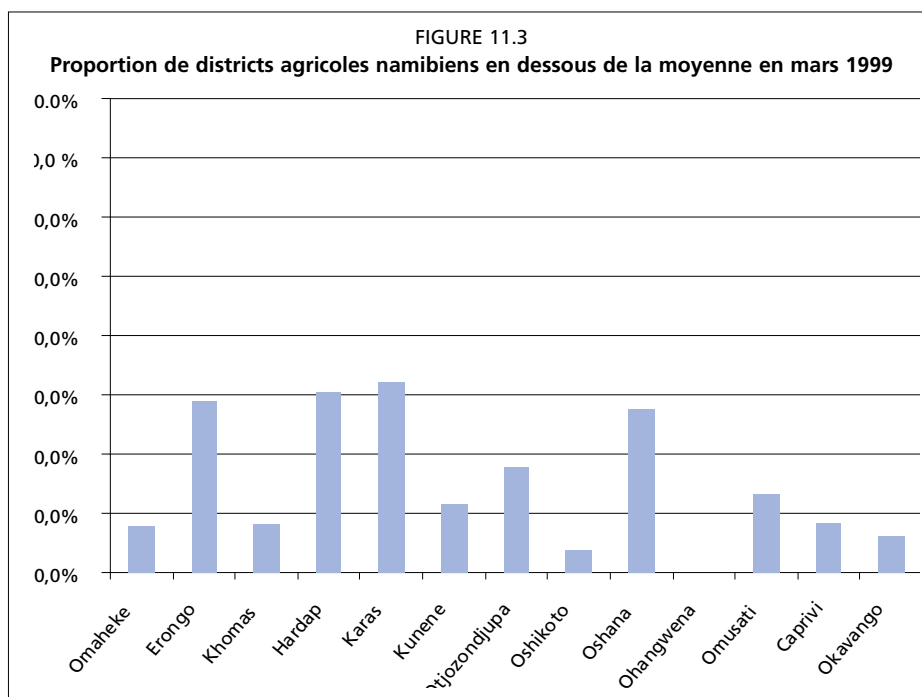
#### 11.2.4 Diffusion et contrôle de terrain des résultats

Des ateliers et des séminaires de formation ont été organisés pour le personnel des Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement et du Tourisme. Des présentations et interprétations des cartes VPI ont été mises à la disposition des membres du SAP namibien afin d'augmenter la connaissance des nouvelles informations disponibles décrites ci-dessus et pour délivrer la formation à leur utilisation. Ceci est un processus continu qui va être étendu aux utilisateurs au niveau des districts, afin d'accroître l'utilisation et l'impact des produits. Les cartes VPI et les produits associés ont également été distribués en Namibie auprès d'un grand nombre d'utilisateurs potentiels à travers des bulletins agro-météorologiques produits à intervalles de 10 jours ou d'un mois par le Ministère de l'Agriculture. Les cartes VPI sont utilisées pour contrôler des conditions potentielles de sécheresse et pour procurer un résumé visuel du statut actuel des parcours namubiens.

Des tournées d'évaluation nationale de la sécheresse sont effectuées au moins deux fois par an par des équipes pluridisciplinaires afin de vérifier l'état des sécheresses au sol. Les cartes VPI peuvent permettre de mieux cibler les visites dans les zones les plus touchées et d'évaluer l'étendue spatiale des conditions identifiées sur le terrain.

#### 11.2.5 Conclusions

La mise en pratique de la méthodologie VPI en Namibie semble avoir très bien fonctionné, et les cartes VPI sont actuellement produites opérationnellement et peuvent être distribuées aux autorités concernées. Le contrôle initial effectué par le personnel NNEP a également démontré que les produits VPI ont effectivement identifié des variations de développement de la végétation, par comparaison à la norme. L'emploi des cartes VPI pour le contrôle de la sécheresse a apporté une contribution significative dans l'appréciation de la sévérité, de l'étendue spatiale des zones affectées, et des mesures d'assurances à apporter. Ces cartes sont à présent utilisées par les gestionnaires des parcours namubiens comme outil de contrôle.



### 11.3 PHASE 2: ASSOCIATION DES DONNÉES DE TERRAIN ET D'OBSERVATION PAR SATELLITE POUR UN CONTRÔLE EN TEMPS RÉEL DE LA VÉGÉTATION DES PARCOURS DANS LE PARC NATIONAL D'ETOSHA

Une des variables clé biophysiques à mesurer dans les évaluations des conditions de végétation dans les parcours est la production de biomasse ou la production primaire nette. Les observations de biomasse peuvent être collectées sur le terrain, mais les méthodes uniquement basées sur le terrain ne sont valables que pour de petites surfaces; elles sont trop coûteuses et chronophages pour un contrôle en temps réel sur des grandes superficies. D'autre part, l'imagerie par satellite peut couvrir de grandes zones quotidiennement en utilisant une imagerie de basse résolution spatiale. Cependant, à elle seule, cette imagerie ne peut fournir que des estimations qualitatives de biomasse. Des estimations quantitatives ne peuvent être réalisées que si les images sont calibrées avec l'aide d'observations de terrain. Cette section présente une méthodologie fondée sur la combinaison d'une imagerie de résolution spatiale moyenne à faible et d'observations détaillées représentatives de la biomasse de terrain.

L'objectif est la fourniture de cartes en temps quasi réel des estimations de biomasse. La méthodologie a été développée dans le Parc National d'Etosha dans le Nord de la Namibie; Etosha couvre une superficie d'environ 23000 km<sup>2</sup>. Le climat est semi-aride avec un quotient de pluies variant de 450 mm à l'Est à 300 mm dans l'Ouest (Le Raux *et al.*, 1988). La particularité principale est la Dépression d'Etosha, un désert salé couvrant approximativement 500 km<sup>2</sup>. Peu ou pas de végétations est présente sur la dépression qui de temps à autre est couverte d'une fine couche d'eau durant la saison des pluies.

Le travail a été effectué en quatre étapes séparées: mesures rapides de la biomasse végétale, sélection de sites de biomasse, stratégie d'échantillonnage pour les sites, et

traitement des observations par satellite. Ces étapes sont résumées ci-dessous mais une discussion plus détaillée de la méthodologie a été présentée par Sannier *et al.* (2002).

Le travail a été effectué en quatre étapes séparées: mesures rapides de la biomasse végétale, sélection de sites de biomasse, stratégie d'échantillonnage pour les sites, et traitement des observations par satellite. Ces étapes sont résumées ci-dessous mais une discussion plus détaillée de la méthodologie a été présentée par Sannier *et al.* (2002).

### 11.3.1 Mesure rapide de la biomasse

La rapidité est requise en priorité pour des raisons économiques (plus d'observations peuvent être réalisées avec des ressources identiques). D'autre part, la croissance végétale est limitée par la pluie; elle se développe très rapidement après des chutes de pluie, et elle est également rapidement consommée par les animaux. Etant donné que l'intention était de faire coïncider les observations sur la biomasse avec l'imagerie satellitaire, il s'avérait essentiel de produire les estimations de terrain sur la biomasse aussi près que possible de la date d'obtention des images, pour estimer la biomasse verte totale par unité de surface. Il a été nécessaire de calculer les contributions des composantes herbacées et ligneuses à l'échelle des pixels. Cela fut réalisé en utilisant une estimation statistique basée sur des observations d'échantillons.

#### **Biomasse herbacée**

L'emploi d'un plateau ou d'un discomètre pâture (Disc Pasture Meter, DPM) pour l'estimation de la biomasse herbacée en Australie a été d'abord démontré par Mitchell (1982). Il présente l'avantage d'être objectif, rapide et facile d'emploi; il a été adopté pour l'évaluation de la biomasse herbacée dans le présent travail. Toutefois, une appréciation est nécessaire lorsque les mesures sont effectuées sur un sol rocheux afin d'éviter de fausses lectures.

Un travail précédent effectué à Etosha par Kannenberg (1995) a produit une courbe de calibration en appliquant le même processus de calibration que Trollope et Potgieter (1986). La courbe inclut des points provenant d'un large éventail de sites et cette courbe simple semble généralement applicable pour les espèces herbacées d'Etosha.

Le modèle linéaire pour la régression a fourni un coefficient élevé de détermination ( $r^2$ ) mais l'éparpillement des points pour la biomasse en-dessous de 2000 kg/ha semble dévier systématiquement sous la ligne de régression avec le risque de surestimer la biomasse en-dessous de ce seuil. Un modèle logarithmique présenté dans la Figure 11.2 et proposé pour le présent travail, représente une amélioration avec un  $r^2$  plus élevé.

#### **Biomasse Ligneuse**

La biomasse verte des plantes ligneuses est généralement estimée en utilisant une relation régressive entre la matière sèche obtenue par récolte directe et une variable morphologique de la plante, telle la hauteur, le diamètre de la tige ou de la couronne. L'espèce ligneuse dominante à Etosha est la mopane (Pieper, 1988) représentant 85% des arbustes et arbres de la savane; il se présente sous ces deux formes. Les données reliant le diamètre des branches du mopane (*Colophospermum mopane*) à sa biomasse foliaire étaient disponibles dans le travail effectué à l'Institut Ecologique d'Etosha (Du Plessis, 1995). Ceci fut appliqué pour créer une Technique rapide de terrain afin d'estimer la biomasse des arbustes et arbres mopane. Le Tableau 11.2 présente la biomasse moyenne de mopane pour les

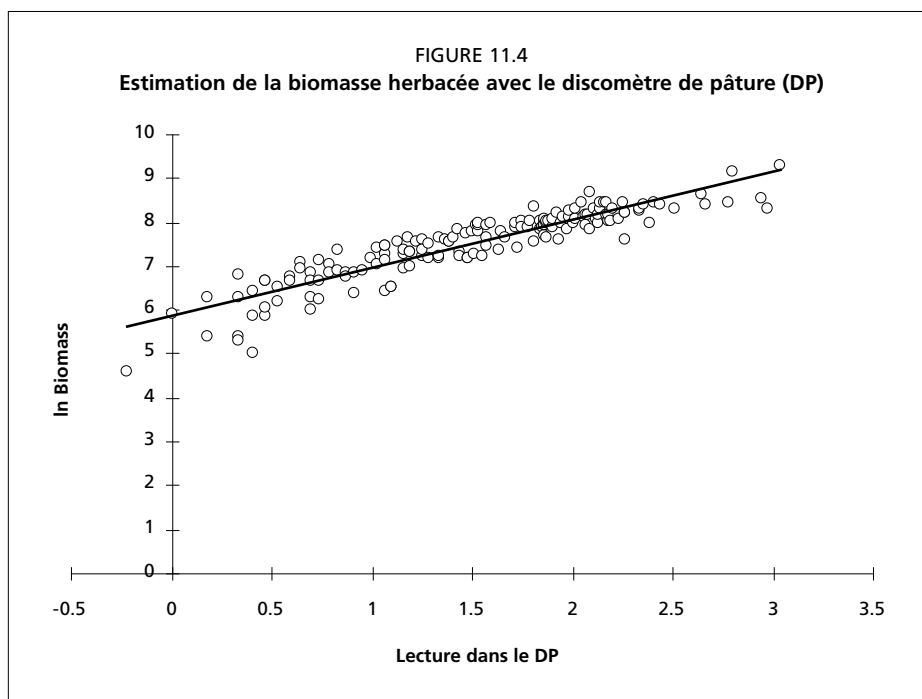
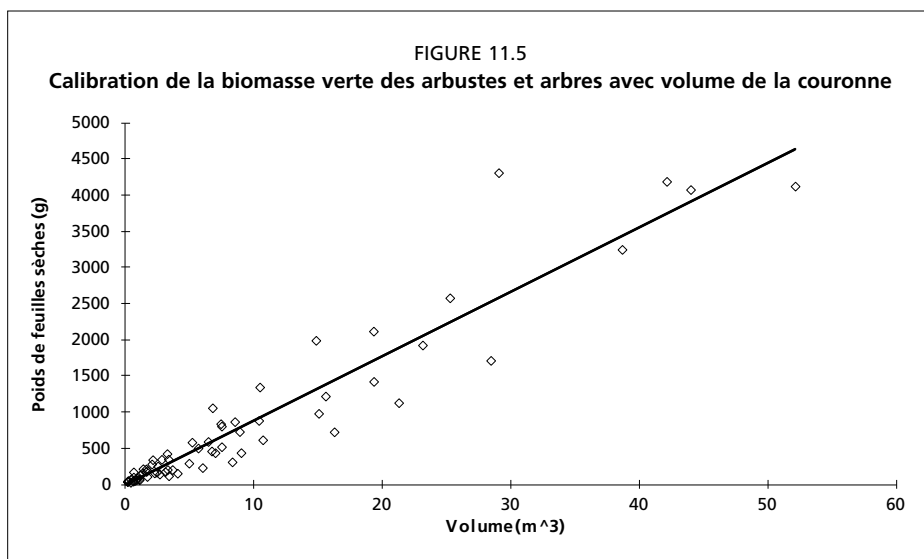


TABLEAU 11.2

**Poids moyens des feuilles sur tiges de mopane, en pleine foliation, classés par taille**

Classe diamètre tiges (cm)	Poids moyens feuilles sèches (g)	Erreur standard (g)
0 à 0,5	1,6	0,1
0,5 à 1	6,9	0,4
1 à 2	28,3	1,8
2 à 3	84,8	8,2
3 à 4	171,2	11,3
4 à 5	239,7	26,4
5 à 6	387,2	81,3
6 à 7		
7 à 8	785,2	83,6
8 à 10	1240,7	209,6
10 à 12	1595,0	223,9
12 à 14	1714,8	190,3
14 à 16	2683,0	216,6
21 à 28	2883,2	774,0

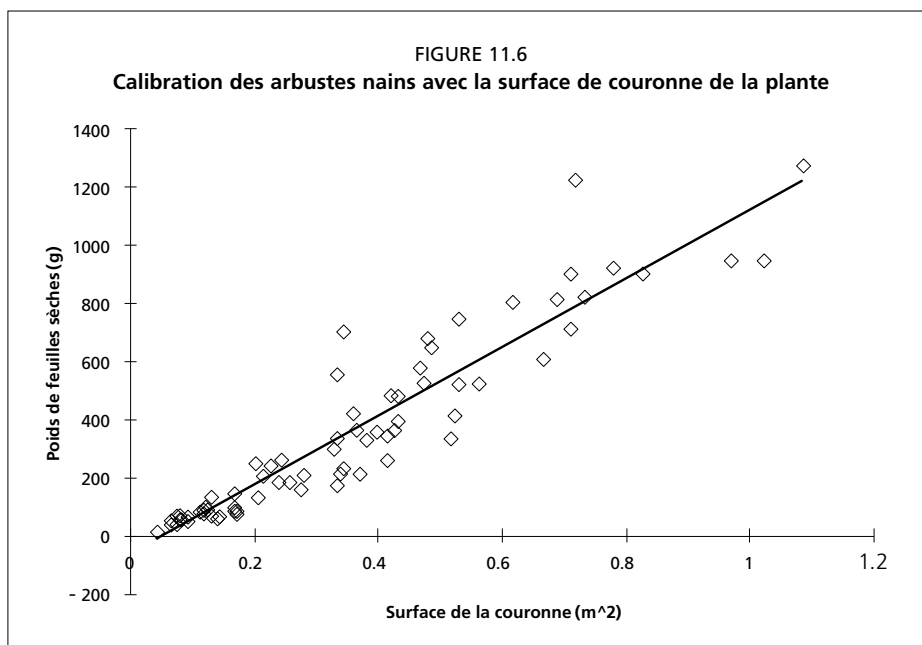


types et branches de diverses tailles, réparties par catégories de taille. La biomasse foliaire d'un échantillon randomisé de 80 arbres et arbustes monopane a été estimée sur le terrain pour comptage du nombre de tiges primaires dans chacune des catégories et en utilisant les poids moyens de feuilles du Tabelaou 11.2. La hauteur de la plante et le diamètre de la couronne ont été également enregistrées dans deux directions perpendiculaires. Le poids estimé de feuilles sèches a été corrélé pour le mieux au volume de la plante, calculé comme un cylindre avec un diamètre égal à la taille moyenne de la couronne et la hauteur égale à la hauteur estimée de l'arbre comme présenté dans la Figure 11.5.

L'arbuste dominant dans les zones steppiques d'Etosha est *leucosphaera* (*Leucosphaera bainesii*) qui représentent 80% du couvert arbustif. À la différence du mopane, aucun travail antérieur sur l'évaluation de sa biomasse n'avait été effectué. Soixante-douze plantes furent sélectionnées au hasard sur le terrain; leur hauteur et les diamètres perpendiculaires de la couronne furent mesurés; les plantes furent ensuite récoltées. Le poids sec total des plantes fut déterminé selon les techniques standardisées de séchage au four. Le poids sec total est considéré plus approprié à utiliser car les plantes disparaissent quasiment complètement durant la saison sèche. De ce fait tout matériel végétal au-dessus de la surface du sol a été considéré comme contribuant entièrement à la production primaire. La meilleure relation entre la biomasse de la plante sèche et les dimensions de celle-ci a été trouvée en utilisant la surface de la couronne, et est présentée dans la Figure 11.6. À la différence du mopane, le volume de la plante n'était pas corrélé au mieux à la biomasse car *leucosphaera* est plus petite, et se développe horizontalement plutôt que verticalement.

La meilleure relation entre la biomasse de la plante sèche et les dimensions de celle-ci a été trouvée en utilisant la surface de la couronne, et est présentée dans la Figure 11.6. À la différence du mopane, le volume de la plante n'était pas corrélé au mieux à la biomasse car *leucosphaera* est plus petite, et se développe horizontalement plutôt que verticalement.





### 11.3.2 Sélection de sites pour la biomasse

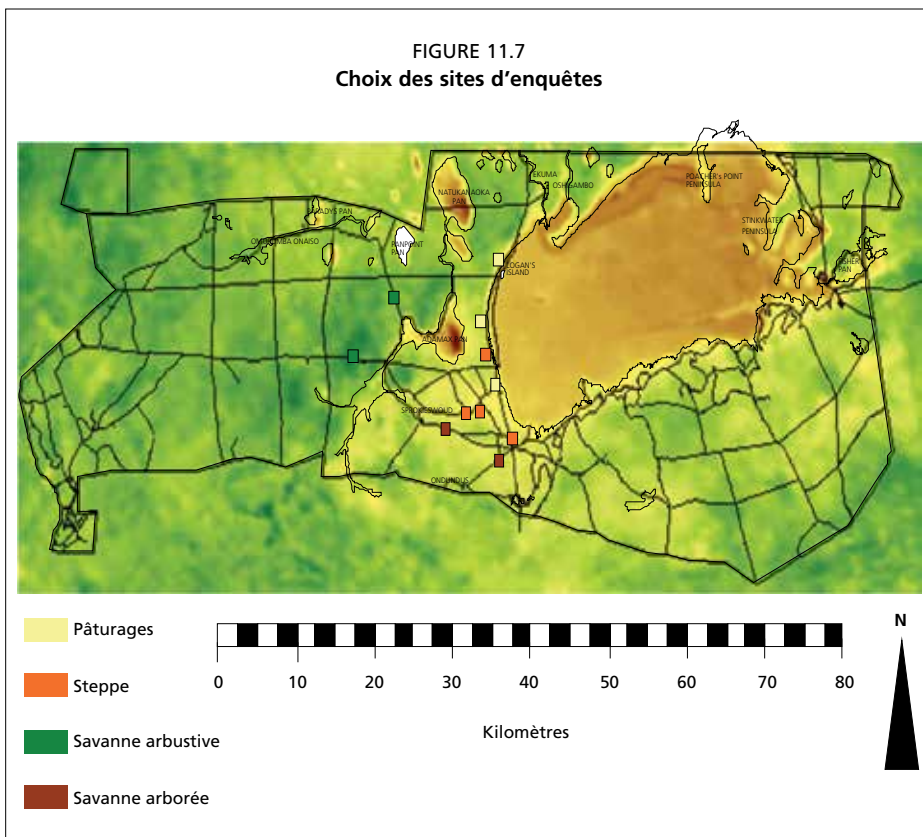
Les critères de sélection des sites ont été qu'ils :

- soient de taille suffisante et intrinséquement homogènes afin de réduire les effets des erreurs dans la colocation entre les observations au sol et par satellite;
- soient accessible,
- reflètent l'éventail des niveaux de biomasse au sein du parc.

Les sites furent choisis afin de refléter la variation des types d'herbages, de steppes et de savanes dans le parc.

La formule établie par Justice et Townshend (1981) donne une directive pour la taille minimale,  $a$ , d'une unité d'échantillonnage en relation avec la précision géométrique :  $a = p(1 + 2l)$  où  $p$  représente la dimension du pixels en unités de distance et la précision géométrique en nombre de pixels. Par exemple, une taille en pixels de 1,1 km pour NOAA-AVHRR et une précision géométrique de 0,5 km en pixels aboutit à une unité d'échantillonnage de 2,2 km de côté. En général, il n'est pas possible d'avoir des sites de calibration suffisamment grands pour satisfaire cet idéal et par le passé, des sites plus petits ont été retenus. Au début, nous avons sélectionné des localisations homogènes de plusieurs km<sup>2</sup> à partir de l'imagerie Landsat TM par photo-interprétation de composites en fausses couleurs et géométriquement corrigés. En choisissant un site de 1 km<sup>2</sup> au milieu d'une zone homogène plus grande, nous espérons minimiser les effets des erreurs de correction géométriques. Ce choix est valide parcequ'il est peu probable que la variation de biomasse de la surface immédiatement voisine soit importante et aussi parce que les pixels voisins ne représentaient pas des mélanges d'autres types de végétation. Le contrôle au sol avec des agrandissements géocodés de l'imagerie TM a permis de vérifier l'homogénéité de sites sélectionnés. Un total de 11 sites a été retenu comme présenté en Figure 11.7.

FIGURE 11.7  
Choix des sites d'enquêtes

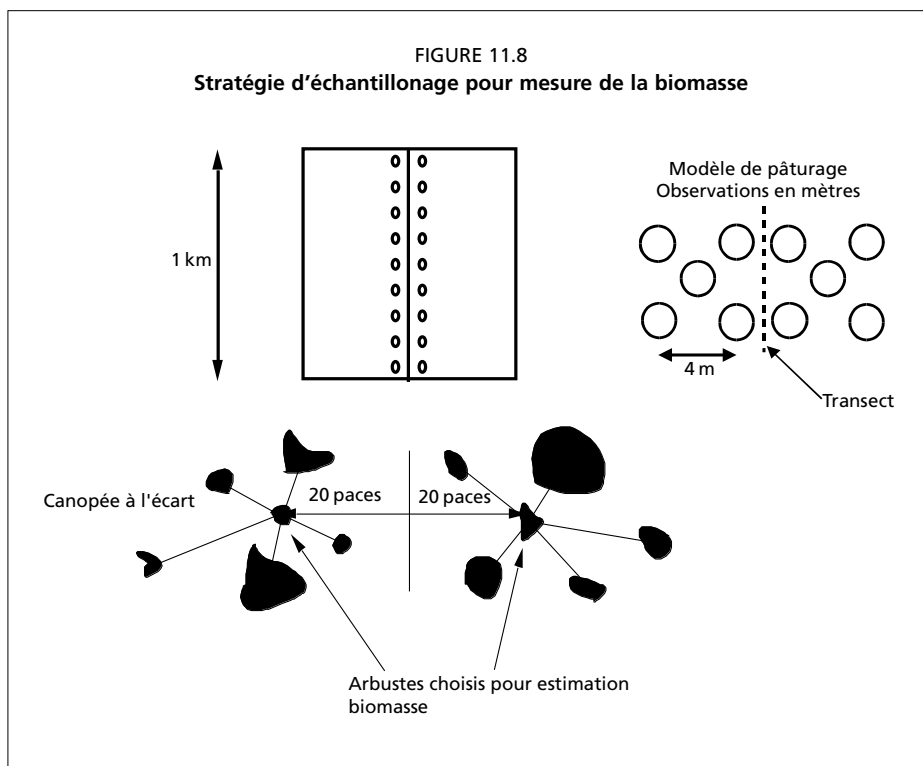


### 11.3.3 Stratégie d'échantillonnage des sites

Un échantillonnage de la biomasse a été effectué le long d'un transect de 1 km à travers le centre de site échantillon de 1 km<sup>2</sup>. Du fait de notre procédure antérieure de sélection, il était présumé que le site était isotopique et homogène, de sorte que la biomasse moyenne le long du transect représentait la moyenne pour l'ensemble de la surface de 1 km<sup>2</sup>. Le schéma d'échantillonnage pour la végétation herbacée est présenté dans la Figure 11.8. Les mesures de production de la matière sèche furent effectuées dans dix endroits également espacés le long du transect. La navigation fut assistée par une copie papier d'une image Landsat TM géocodée au contraste étiré et un GPS portable. Cinq mesures furent prises de chaque côté du transect. Cela a résulté en 100 mesures de productivité de M.S. par site, valeur suggérée par Trollope et Potgieter (1986).

La biomasse de la végétation ligneuse par unité de surface est le produit de la biomasse par plant, par le nombre de plants par unité de surface. Le dernier est estimé en divisant la proportion de la couverture en plants (superficie de la canopée/unité de surface du sol) par la surface de canopée pour chaque plant.

La méthode ratio couronne/ouverture (Westfall and Panagos, 1984; Walker *et al.*, 1988) est très rapide et non biaisée pour estimer le pourcentage de couverture dans une végétation ligneuse (arbres, arbustes, arbustes nains, etc.) sur des superficies relativement étendues à partir d'observations au sol ou de moyens de substitution comme des photos;



elle a été choisie pour cette étude. Deux plantes voisines se trouvant approximativement à la même distance de l'observateur ont été choisies. Le ratio  $\phi$ , la distance entre leurs couronnes ( $G$ ) jusqu'au diamètre de l'une d'elles ( $K$ ) dans l'équation 1.

$$\phi = \frac{G}{K} \quad (1)$$

peut être estimée à l'œil ou au moyen d'une jauge transparente (Westfall and Panagos 1984), ou mesurés sur des photos. Le ratio moyen  $\bar{\phi}$ , pour au moins 25 paires de plants, est utilisé dans l'équation 2, décrite par Walker *et al.* (1988) afin d'estimer le pourcentage couvert par les couronnes,  $C$ :

$$C = \frac{100\pi}{2\sqrt{3}} \left[ \frac{1}{(\bar{\phi} + 1)^2} \right] \quad (2)$$

L'échantillonnage de la végétation ligneuse fut pratiqué sur les 10 endroits le long du transect comme présenté dans la Figure 11.8. Un plant a été choisi au hasard sur chaque côté du transect en marchant perpendiculairement à celui-ci sur 20 pas, en utilisant le véhicule comme référence. Ensuite, le plant le plus proche a été sélectionné pour prendre ses mesures. Le plant de référence fut également utilisé pour effectuer la procédure Houppier/interstive présentée dans la Figure 11.8. A cet effet, cinq autres plants les plus proches ont été choisis et le ratio a été visuellement évalué entre le plant de référence et les mesures des cinq autres.

L'ensemble de la procédure a été répété sur l'autre côté du transect. Au total, pour chaque site, 100 mesures de la production en M.S., 100 estimations du ratio Houppier/interstice, et 20 mesures de plants ont été effectuées.

### 11.3.4 Détermination de la biomasse verte totale du site

L'estimation de la biomasse herbacée par site est simple parce que les mesures des DPM sont directement liées à la biomasse par unité de surface. Les lectures de DPM sont enregistrées sur un tableau. Pour chaque groupe de cinq lectures de DPM, est calculée la moyenne. Ceci permet de créer des observations comparables à celle de la procédure de calibration originale. L'équation de calibration a été appliquée à la valeur moyenne provenant des 20 valeurs de biomasse par site. La biomasse dans l'ensemble du site a été calculée en prenant la moyenne des 20 valeurs de biomasse. La même méthode fut appliquée dans les sites de végétation ligneuse, sans prendre en compte la couverture ligneuse car, souvent, l'herbe se développe en-dessous des arbres et arbustes et une lecture zéro de la DPM a été enregistrée sur un arbuste.

L'estimation de la biomasse ligneuse inclut plusieurs paramètres et le processus de calcul de la moyenne a été considéré avec prudence du fait qu'il n'est pas linéaire. Chaque localisation le long ou sur un transect a été traitée individuellement. Ceci afin de prendre en compte toutes les variations au sein du site et la non linéarité de la méthode du ratio Houppier/interstice. Une valeur de la biomasse a été calculée pour chacun des 20 plants échantillonnés simultanément à cinq mesures de densité (ratio Houppier/interstice). La moyenne de ces cinq estimations de densité a été calculée pour établir une valeur de chaque localisation de plant. Vingt plants et cinq mesures de densité par plant produisent 100 observations de biomasse par site. L'estimation de la biomasse pour l'ensemble du site est représentée par la moyenne arithmétique de ces 100 observations auxquelles il faut ajouter la biomasse herbacée.

La biomasse par plant  $P$ , en kilogrammes, est déterminée par la relation entre les dimensions de la plante et la biomasse antérieurement définie. La densité de couverture  $C$ , est déterminée suivant l'équation (2). Le nombre de plants par hectare,  $N$ , est:

$$N = \frac{10000}{A} \cdot C \quad (3)$$

Finalement, la biomasse ligneuse totale par hectare et plant,  $W_i$ , est égalé à:

$$W = P \cdot N \quad (4)$$

Dans le cas de leucosphaera, le calcul de la biomasse est simplifié car la surface de la couronne est utilisés à la fois dans le calcul de  $P$  et de  $N$ , qui s'annule. Dès lors, pour leucosphaera, la biomasse ligneuse est seulement liée à  $C$  et la pente de la calibration entre la biomasse des plants et la surface.

Pour mopane, où la relation avec la biomasse est basée sur le volume, la biomasse ligneuse est fonction de la pente de la calibration, de la hauteur et de  $C$ . Cela signifie que dès qu'a été établie la relation entre la biomasse et les dimensions du plant, il n'est plus nécessaire de mesurer la superficie des plants afin d'en tirer des estimations de la biomasse ligneuse.

La biomasse ligneuse totale par site est égale à la moyenne des vingt estimations par plant. La biomasse combinée ligneuse plus herbe est obtenue en additionnant les deux estimations.

TABLEAU 11.3  
**Résultats NOAA-AVHRR de la calibration de la biomasse**

Site	Vegetation Type	Date d'enquête	Acquisition de l'image	NDVI	Biomasse (kg/ha)
S4	Herbages	15/02/95	16/01/95	-0,007	0
S6	Herbages	15/02/95	16/01/95	0,001	0
S7	Herbages	15/02/95	16/01/95	0,016	0
S7	Herbages	01/03/95	02/03/95	0,077	1 254
S4	Herbages	01/03/95	02/03/95	0,029	437
S6	Herbages	01/03/95	02/03/95	0,062	1 251
S4	Herbages	10/03/95	10/03/95	-0,023	350
S6	Herbages	21/03/95	21/03/95	0,122	1 506
S7	Herbages	21/03/95	21/03/95	0,135	2 031
S4	Herbages	30/03/95	27/03/95	0,067	553
S6	Herbages	31/03/95	27/03/95	0,140	1 615
S7	Herbages	31/03/95	27/03/95	0,136	1 874
S4	Herbages	25/03/96	19/03/96	0,112	254
S6	Herbages	21/03/96	19/03/96	0,116	1 275
S7	Herbages	25/03/96	19/03/96	0,215	2 357
M1	Savane	20/03/96	18/03/96	0,187	1 046
M2	Savane	27/03/96	06/04/99	0,181	1 175
M3	Savane	28/03/96	06/04/96	0,150	1 375
M4	Savane	03/04/96	06/04/96	0,205	1 352
S1	Steppe	15/02/95	16/01/95	0,018	0
S3	Steppe	15/02/95	16/01/95	0,016	0
S1	Steppe	26/03/96	19/03/96	0,172	985
S2	Steppe	19/03/96	19/03/96	0,103	1 048
S3	Steppe	01/04/96	19/03/96	0,096	1 300
S5	Steppe	02/04/96	19/03/96	0,108	997

Au total, 25 observations de biomasse furent effectuées sur les 11 sites choisis pendant deux saisons ainsi qu'il apparait dans le Tableau 11.3.

### 11.3.5 Traitement de l'imagerie satellite

L'imagerie NOAA-AVHRR qui a été utilisée pour ce travail et a été obtenue en temps réel à partir d'une station réceptrice LARST (Williams and Rosenberg, 1993). Cela nous a permis de produire des images NDVI proches du temps réel, afin de choisir seulement la meilleure image, et de s'assurer que ces images coïncident avec le travail de terrain. Un total de sept images a été sélectionné. Le traitement des données a consisté en une correction radiométrique et géométrique de l'imagerie et le calcul des NDVI.

Les corrections radiométriques se sont basées sur les travaux publiés par Kaufman et Holben (1993) et Los (1993) pour les données NOAA9 et Rao et Chen (1996) pour NOAA14. Ces travaux ont été actualisés ensuite mensuellement sur le site Web NOAA.

Les corrections géométriques ont été basées sur la sélection de points de contrôle à partir de la mosaïque référencée LandsatFM, couvrant la totalité du parc. Cela a rendu possible une précision géométrique de 0,5 pixel, qui est bien meilleure que ce qui pourrait être réalisé en utilisant des paramètres orbitaux du satellite.

Il ne fut pas réalisé de correction atmosphérique ou pour des effets bidirectionnels ne furent appliqués car il fut estimé qu'une sélection soignée de l'imagerie, exempte de nuages et la plus proche possible de Nadir serait plus efficace pour rabaisser au minimum les effets atmosphériques plutôt que d'appliquer une correction approximative. Les méthodes existantes pour corriger les effets atmosphériques supposent souvent des effets constants sur l'ensemble de la scène et nécessitent des données météorologiques au sol qui sont difficiles à obtenir pour une application en temps proche du réel.

Les valeurs digitales (DN) furent extraites de l'imagerie pour chaque longueur d'onde et pour chaque site. Les données furent introduites dans un tableur où furent apportées les corrections radiométriques et les calculs du NDVI. Les valeurs correspondantes de biomasse furent introduites dans le tableau comme il apparaît au Tableau 11.3 et des modèles de régression furent développés comme présentés en Figure 11.9.

La relation reprenant toutes les observations (Figure 11.9a) est moins bonne que celle incluant seulement les sites herbagers (Figure 11.9b). Cela semblait suggérer que différentes relations de régression devaient être mises au point pour chaque type de végétation. Cependant, les données disponibles étaient insuffisantes pour tester cette hypothèse sur d'autre type de couverture, et plus de données doivent être collectées. Néanmoins, la relation groupée s'est avérée hautement significative et a été utilisée pour produire les cartes de biomasse (Figure 11.9b).

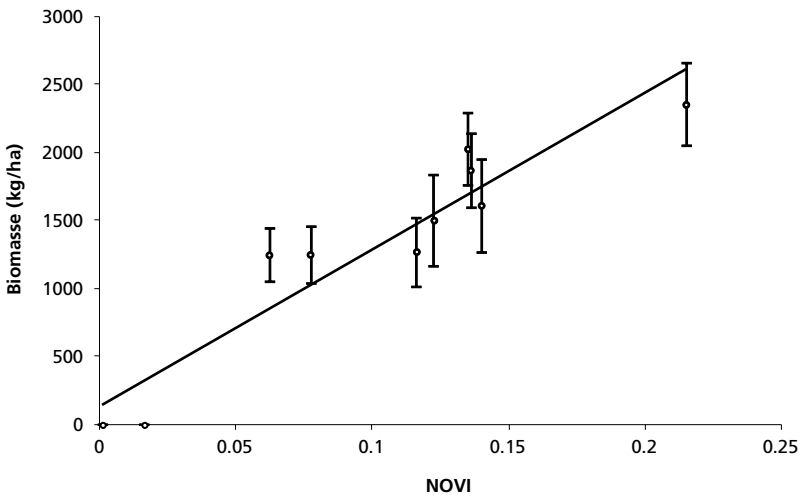
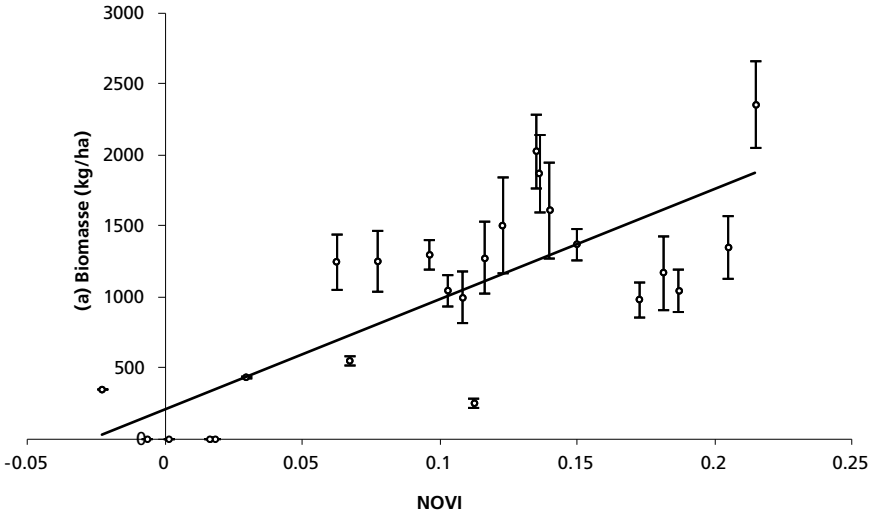
### 11.3.6 Production et application de cartes de biomasse

Les relations globales développées dans la section précédente (Figure 11.9a) peuvent être utilisées pour transformer les images NDVI obtenues à partir de la station réceptrice NOAA HRPT en cartes de la biomasse. Il existe plusieurs manières d'utiliser ces cartes. Du point de vue sécurité alimentaire, cela inclut le contrôle des déplacements des animaux en relation avec la disponibilité en fourrage durant la saison de croissance, ou le contrôle de la charge en animaux d'une année sur l'autre à travers la zone d'étude.

Cependant, une application plus directe des cartes de biomasse est la corrélation entre la charge en combustible et les risques de feu.

Les feux surgissent spontanément dans le parc et sont normalement déclenchés par la foudre (Heady, 1975). Si les conditions sont favorables, les feux peuvent se propager sur de larges étendues et causer des dommages majeurs à la faune sauvage et à la végétation. Cependant, les feux contrôlés sont souvent préconisés pour prévenir l'occurrence de feux sauvages en réduisant la charge en combustible. De plus, les feux contrôlés peuvent profiter aux animaux domestiques et à la faune sauvage à travers des effets positifs sur la régénération de la végétation et la diversité de l'habitat (Heady, 1975; Holechek et al., 1995). Les feux contrôlés sont utilisés dans le Parc National d'Etosha pour les raisons

FIGURE 11.9  
Relation entre NDVI et biomasse pour (a) tous les sites,  
 $n = 25, y = 7735x + 208, r^2 = 0.61 (p < 0.01)$  et  
(b) tous les sites herbagers,  $n = 10, r^2 = 0.89$



Note: Les barres d'erreurs représentent l'écart type de l'estimation de la biomasse de terrain.

décrites ci-dessus, et un certain nombre de blocs ont été créés à cet effet comme présenté dans la Figure 11.10.

Trollope et Potgieter (1986) ont démontré que, dans le Parc National Kruger, la charge de biomasse comme combustible doit atteindre au moins 1500 kg/ha pour que le feu se propage. Dès lors, il est possible d'employer des cartes de biomasse, classifiées en fonction des niveaux de seuils des risques de feux. Ceci est illustré dans la Figure 11.10, où des cartes de biomasse furent dressées en fin de saison des pluies en 1995, 1996 et 1997, à partir des relations de régression combinées NDVI/biomasse utilisant les indiquées dans la Figure 11.9a. Si l'on regarde plus spécialement les années 1995 et 1996 et dans la cadre d'un programme de feux contrôlés, il apparaît que de telles cartes peuvent être utilisées pour cibler des blocs à feu, correspondant à des classes de risques haut à très haut. L'année 1997 fut exceptionnelle car les précipitations tombèrent en excédent de 40-60% par rapport à la moyenne 1981-1996, ce qui explique les niveaux de biomasse extrêmement élevés atteints à travers le parc. Il en a résulté que toutes les conditions furent réunies pour le démarrage d'un feu extensif, ce qui s'est produit en fin de saison sèche et a brûlé près de 21% de la superficie du parc en dehors des dépressions, en sautant plusieurs pares-feux.

Les conditions de 1997 étaient très inhabituelles, mais il est possible que si des feux contrôlés avaient été pratiqués dans les blocs où la biomasse était déjà abondante dans les saisons précédentes, le feu sauvage de 1997 ne se serait pas propagé aussi largement.

### 11.3.7 Conclusion et Développement ultérieur

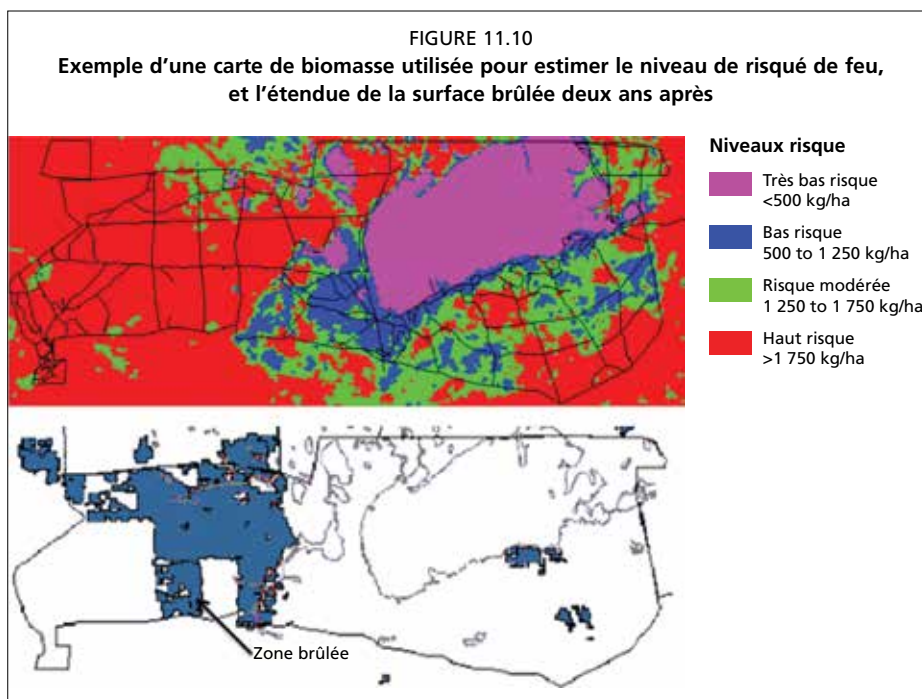
Cette étude a démontré les méthodes pour le contrôle de la quantité de biomasse en temps proche du réel avec l'assistance de NOAA-AVHRR. L'utilité et la fiabilité de la DPM a été prouvée et considérée comme adaptée à la mesure de la biomasse herbacée sur de larges étendues. Cependant, son utilisation ne sera réellement limitée qu'aux types herbacés pour lesquels elle aura été calibrée. Il est possible, en certaines circonstances, que plusieurs courbes de calibration soient nécessaires en fonction du type d'herbage rencontré. La DPM n'est pas pertinente pour mesurer fiablement la biomasse en-dessous de 1 000 kg/ha et, en ce cas, d'autres techniques, telles que l'estimation visuelle, seront utilisées.

En ce qui concerne la biomasse des plantes ligneuses, l'ensemble des techniques mises au point apparaissent raisonnablement fiables. La calibration de la biomasse de plante verte, basée sur les dimensions, fonctionne particulièrement bien.

La méthode du ratio Houppier/ouverture fut également très rapide à employer et semble un moyen raisonnablement fiable pour évaluer la couverture de la canopée. Une fois que le calibrage de la biomasse du plant avec ses dimensions a été réalisé, la mesure de la biomasse ligneuse devient extrêmement rapide, spécialement pour les espèces végétales pour lesquelles le calibrage est basé sur leur surface. En ce cas, le seul paramètre nécessaire est la couverture de la canopée. Pour les espèces dont le calibrage est fonction du volume, les paramètres nécessaires sont la couverture de la canopée et la hauteur de la plante. Cela rend l'évaluation des sites de contrôle de la biomasse plus rapide et il est possible d'augmenter le nombre d'échantillons de 20 à 40 plants au sein d'un site, ce qui permet une meilleure caractérisation de ses variations.

Il s'avère également désirable d'élargir le travail à d'autres espèces végétales, quoique les calibrages existants soient valides pour environ 85% des espèces du parc.





Le besoin de développer un plan d'échantillonnage pertinent a également été identifié. L'assistance d'une imagerie à haute résolution pour le choix des sites prouvé son efficacité et permis l'identification de sites homogènes à l'échelle de NOAA-AVHRR) pour les types de couverture sélectionnées Il a également été prouvé qu'il était crucial de développer un schéma d'échantillonnage pertinent pour la mesure de la biomasse au sein du site. Le choix au hasard des plants le long du transect s'avère particulièrement important et la mesure du couvert de la canopée doit se faire sur les plants sélectionnés. Ceci permet des mesures des variations au sein du site et donc des évaluations sur la précision des estimations.

Il a également été démontré que les images simples AVHRR, reçues localement peuvent être calibrées par rapport à la biomasse permettant un suivi de la quantité de biomasse en temps quasi rel un contrôle de la quantité de celle-ci en temps proche du réel. De plus, la méthodologie peut également s'appliquer à d'autres types d'imagerie comme SPOT VEGETATION<sup>10</sup> ou TERRNAQUA MODIS.<sup>11</sup> Néanmoins, le nombre de points disponible pour le calibrage reste limité et d'avantage d'observations seront nécessaires pour confirmer que le calibrage demeure stable à travers le temps et l'espace. Il apparaît déjà que le même calibrage est utilisable pour les pâturages et la steppe. Ceci est particulièrement encourageant puisque ces deux types sont présents dans les mêmes zones et sont difficiles

<sup>10</sup> Le programme VEGETATION est le fruit de la collaboration spatiale entre différents partenaires européens: Belgique, France, Italie, Suède et la Commission Européenne. En 1998, il a été greffé sur le programme SPOT, financé par la Belgique, la France et la Suède. En 1978, il consiste en deux instruments d'observation en orbite: VEGETATION 1 et VEGETATION 2, ainsi que des infrastructures au sol.

<sup>11</sup> MODIS (Spectroradiomètre pour Images de Résolution Modérée) est un instrument-clé à bord des satellites Terra (EOS AM) et Aqua (EOS PM).

à différencier à l'échelle de NOAA-AVHRR. Cependant, il semble que les sites de savanes nécessitent un calibrage différent, spécialement lorsque la proportion de biomasse ligneuse atteint un certain niveau. Plus d'observations doivent être collectées afin de confirmer cette théorie et de déterminer le seuil.

Les cartes de biomasse pourraient potentiellement être utilisés à plusieurs fins en liaison avec la gestion des parcours et de la faune sauvage, tels que le contrôle des déplacements d'animaux et la capacité de charge. Il a été démontré que ces cartes peuvent être utilisées pour la planification des feux contrôlés. Si la réception locale des données NOAA-AVHRR est possible, les cartes de biomasse peuvent être produites en temps proche du réel et une application directe est possible pour cibler les zones propices à des feux contrôlés et prévenir des feux sauvages à grande échelle. Cependant, plus de travail est nécessaire pour affiner la relation entre la biomasse et eNDV pour les différentes communautés végétales, et pour rechercher si le seuil de propagation du feu e brûlage efficient varie suivant le type de végétation. Le dernier point souligne l'importance de posséder des produits cartographiques d'occupation des sols de couverture terrestre, comme base à : la stratification de la zone d'étude.

Finalement, quoique la méthode ait été appliquée à une zone de 23 000 km<sup>2</sup>, elle pourrait potentiellement être utilisée plan d'échantillonnage adéquat soit mis en œuvre à travers la zone d'étude.

## 11.4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Du Plessis, W.** 1995. Biomass calibration of *Colophospermum mopane* in Etosha National Park. Personal communication.
- ERDAS.** 1995. *ERDAS field guide*, Atlanta: ERDAS Inc., USA.
- Heady, H.F.** 1975. *Rangeland management*, New York: McGraw Hill, USA.
- Holechek, J.L., Pieper, R.D. & Herbel, C.H.** 1995. *Range management: Principles and practices* - Second edition, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Hutchinson, C.F.** 1991. Uses of satellite data for famine early warning in Sub-Saharan Africa. *Int. J. Remote Sens.*, 12: 1405–1421.
- Justice, C.O. & Townshend, J.R.G.** 1981. Integrating ground data with remote sensing. In J.R.G. Townshend, ed. *Terrain Analysis and Remote Sensing*. George Allen & Unwin, London, UK.
- Kannenbergh, N.** 1995. Grass-biomasse in Savannenbiomen des Etosha National Park: Anwendung des Disc Pasture Meter (DPM).
- Kaufman, Y.J., & Holben, B.N.** 1993. Calibration of the AVHRR visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. *Int. J. Remote Sens.*, 14: 21–52.
- Lambin, E.F., Cashman, P., Moody, A., Parkhurst, B.H., Pax, M.H., & Schaaf, C.B.** 1993. Agricultural production monitoring in the Sahel using remote sensing: Present possibilities and research needs. *J. Environ. Manag.*, 38: 301–322.
- Le Roux, C.J.G., Grunow, J.O., Morris, J.W., Bredenkamp, G.J. & Scheepers, J.C.** 1988. A classification of the vegetation of the Etosha National Park. *South African J. Botany*, 54: 1–10.
- Los, S.O.** 1993. Calibration adjustment of the NOAA AVHRR normalised difference vegetation index without recourse to channel 1 and 2 data. *Int. J. Remote Sens.*, 14: 1907–1917.
- Mitchell, P.** 1982. Value of a rising-plate meter for estimating herbage mass of grazed perennial ryegrass - White clover swards. *Grass Forage Sci.* 37: 81–87.

- Pieper, R.D.** 1988. Rangeland vegetation productivity and biomass. In P.T. Tueller, ed. *Handbook of vegetation science Vol. 14. Vegetation science applications for rangeland analysis and management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Germany.
- Rao, C.R.N. & Chen, J.** 1996. Post-launch calibration of the visible and near-infrared channels of the advanced very high resolution radiometer on the NOAA-14 spacecraft. *Int. J. Remote Sens.*, 17: 2743–2747.
- Sannier C.A.D., Taylor J.C., du Plessis W. & Campbell K.** 1998. Real-time vegetation monitoring with NOAA-AVHRR in Southern Africa for wildlife management and food security assessment. *Int. J. Remote Sens.*, 19: 621–639.
- Sannier C.A.D., Taylor J.C. & du Plessis W.** 2002. Real-time monitoring of vegetation biomass with NOAA-AVHRR in Etosha National Park, Namibia, for fire risk assessment. *Int. J. Remote Sens.*, 23: 71–89.
- Trollope, W.S.W. & Potgieter, A.L.F.** 1986. Estimating grass fuel loads with a disc pasture meter in the Kruger National Park. *J. Grassland Soc. South Africa*, 3: 148–152.
- Walker, J., Crapper, P.F. & Pendridge, L.K.** 1988. The crown-gap ratio (c) and crown cover: the field study. *Australian J. Ecol.*, 13: 101–108.
- Westfall, R.H. & Panagos, M.D.** 1984. A cover meter for canopy and basal cover Estimations. *Bothalia*, 15: 241–244.
- Williams, J.B. & Rosenberg, L.J.** 1993. Operational reception, processing and application of satellite data in developing countries: Theory and practice. In K. Hilton, ed. *Towards operational applications*, Proceedings of 19th Annual Conference of the Remote Sensing Society, Chester, UK, 16–17 September 1993.



# 12. Le système d'alerte précoce pour le fourrage du bétail au Gobi

Jay P. Angerer

Texas A&M University System, Blackland Research and Extension Center

720 E. Blackland Road Temple, TX 76502-9622, USA

Email: jangerer@brc.tamus.edu

## 12.1 CONTEXTE

L'aptitude à inventorier la biomasse fourragère sur de grandes étendues peut représenter un important élément dans l'évaluation des impacts d'une sécheresse, des options dans la gestion des ressources naturelles, de la dégradation de l'environnement, et des changements climatiques. Pour les éleveurs mongoliens, la compréhension de la disponibilité en biomasse fourragère dans le territoire environnant peut les aider à déterminer quand se déplacer, acheter ou vendre des animaux, et évaluer le degré de risque pour la prise de décisions. Cependant, le temps et les ressources nécessaires pour conduire des évaluations précises de la biomasse fourragère sur de larges territoires sont prohibitifs et dans de nombreuses régions, comme la Mongolie, les infrastructures et les financements n'existent pas pour mener une caractérisation exhaustive nationale.

Un autre facteur de complication est que les décisions regardant les mouvements du bétail et leur stockage/déstockage, nécessitent une information en temps proche du réel, spécialement face à une sécheresse ou des conditions météorologiques hivernales sévères (dzud).<sup>12</sup> Une évaluation des quantités de fourrage est quasiment impossible à conduire sur de grandes superficies en temps proche du réel à cause des contraintes logistiques et temporelles, de sorte que l'information requise à la prise de décisions pour le bétail n'est pas toujours disponible au moment le plus urgent. L'incapacité à prendre les décisions aux moments critiques peut conduire à un usage excessif de la végétation qui, à son tour, peut conduire à la dégradation de l'environnement.

Pendant la période 1999-2001, près de 35% du bétail mongolien a été perdu à cause de la sécheresse et du dzud. Dans la région du Gobi, la mortalité a atteint 50%, avec de nombreux ménages perdant l'entièreté de leurs troupeaux (Siurua and Swift, 2002). A cause de ces pertes élevées et de leurs impacts, l'Agence Américaine pour le Développement International (USAID), a initié en 2004 le Système d'Alerte Précoce pour le fourrage du bétail, à travers le Programme Mondial Collaboratif d'Appui à la Recherche pour le Bétail. La technologie de ce système, développée à l'origine en Afrique de l'Est (Stuth *et al.*, 2003a;

---

<sup>12</sup> Terme mongolien pour un hiver extrêmement neigeux où le bétail n'a pas accès au fourrage à travers l'épaisse couche neigeuse, et où de nombreux animaux meurent de faim et/ou de froid. Le terme est également utilisé pour d'autres conditions météorologiques, spécialement en hiver, qui rendent le pâturage impossible.

Stuth *et al.*, 2005), combine les conditions météorologiques en temps proche du réel, la modélisation par simulation, et les données de télédétection pour contrôler et prévoir les conditions fourragères pour le bétail afin de fournir aux pastoralistes et autres décideurs l'information pour la prise des décisions face à la sécheresse et autres désastres. Pour le SAPFG, l'Université Texan A&M et Mercy Corps ont apporté leur partenariat afin d'apporter la technologie de contrôle fourragère dans huit *aimags* (provinces) qui inclut la zone où les impacts de sécheresse furent les plus sévères pendant la période 1999-2001 (Figure 12.1). Le but de SAPFG était de développer un système de contrôle fourragère qui puisse fournir une évaluation spatiale et temporelle en temps proche du réel des conditions fourragères. Cette information peut être transmise aux éleveurs afin de les assister dans leur évaluation des risques et également être fournie aux agences gouvernementales locales, régionales et internationales pour les appuyer dans la gestion des sécheresses, la préparation aux désastres et les efforts de politiques agricoles.

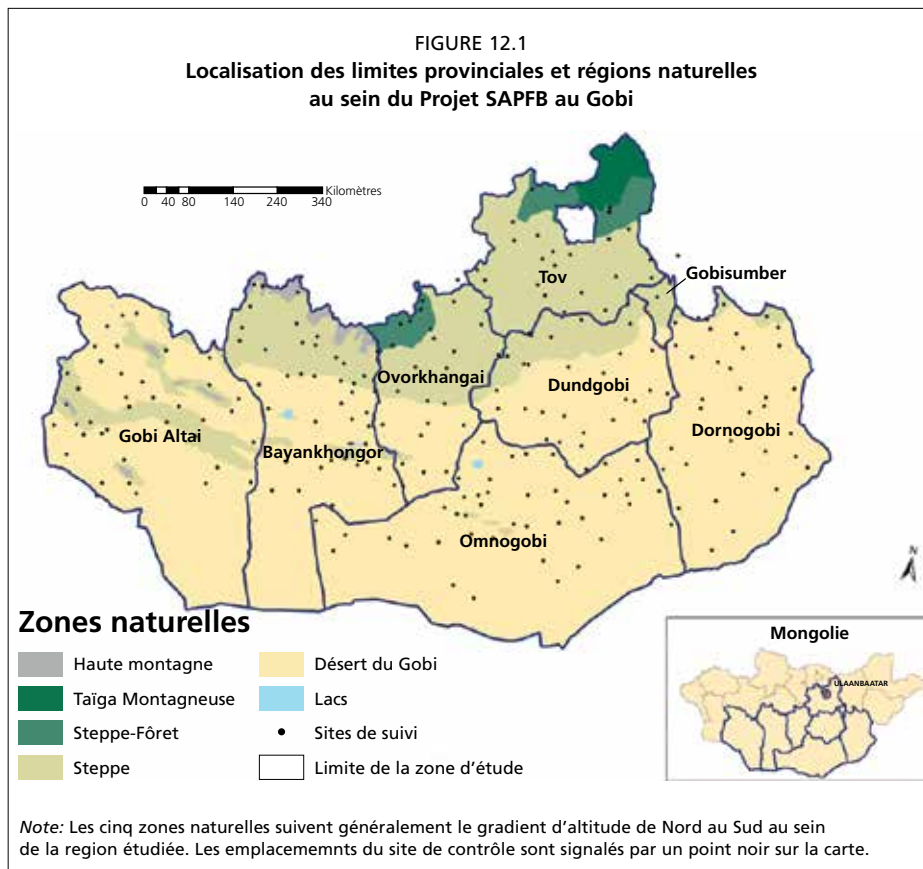
## 12.2 INTRANTS

### 12.2.1 Zone du Projet enclavé

La Mongolie est un pays enclavé d'une superficie de plus de 1,5 millions de km<sup>2</sup> dont 90% sont des parcours. Les éleveurs font paître extensivement leurs animaux du printemps à l'automne, puis retournent aux camps de base pour les mois d'hiver (Bedunah and Schmidt, 2004). Les ovins et les caprins sont les espèces prédominantes de bétail, suivis par les bovins, les chevaux, les yaks et les chameaux.

Le climat de la Mongolie est continental, avec des hivers extrêmement froids et secs et des étés très chauds. Les précipitations se présentent généralement sous forme de pluies durant les mois d'été (juin – août) qui coïncident avec la période de croissance pour la majorité des plantes. Les précipitations sont surtout abondantes dans les régions septentrionales, s'élèvent en moyenne à 200-350 mm par an, et sont moins importantes dans les régions méridionales avec une moyenne de 100 à 200 mm. Une grande partie du pays est sujette à des désastres hivernaux extrêmes (*dzuds*) représentées par des périodes hivernales rigoureuses avec des températures inférieures à -40 °C, accompagnées de neige et/ou de glace. Les *Dzuds* succèdent généralement à des sécheresses estivales qui se traduisent par des pertes élevées en bétail parce que les animaux sont en situation précaire avant d'affronter l'hiver et ne possèdent pas suffisamment de réserves graisseuses pour survivre aux températures extrêmes hivernales.

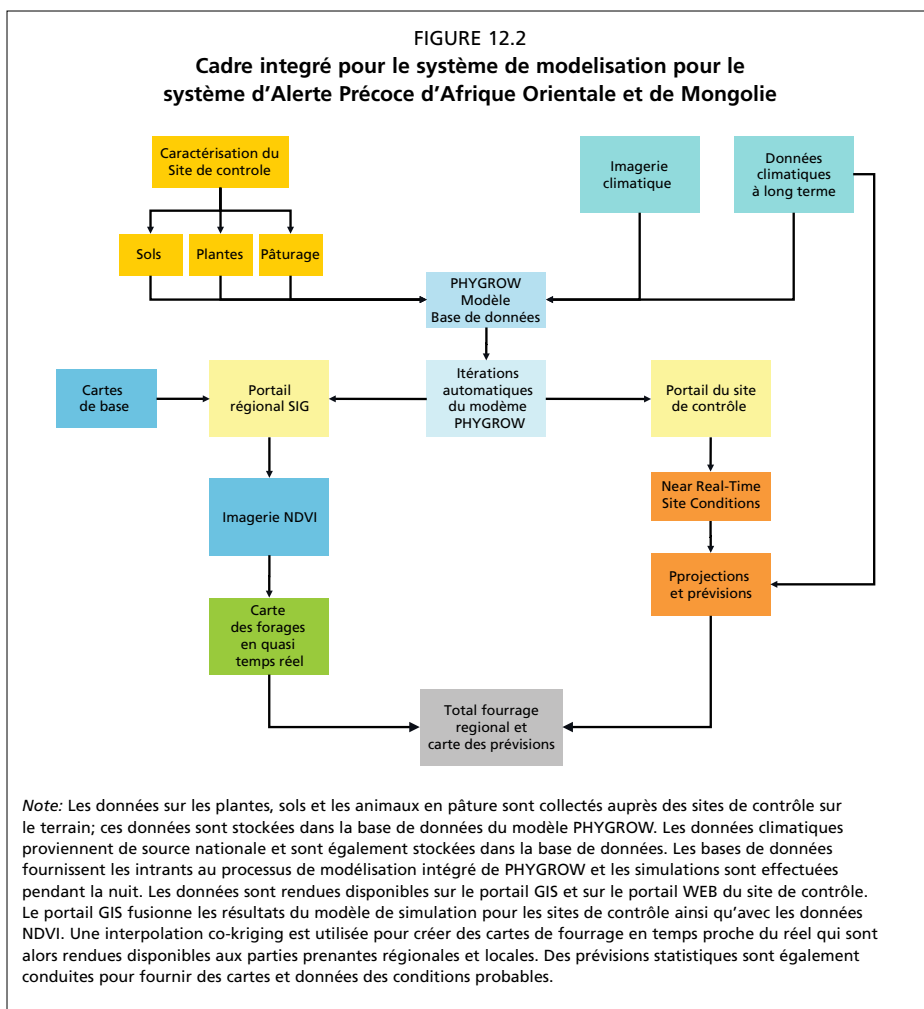
Le Système d'Alerte Précoce sur le Fourrage pour le bétail (SAPFE) au Gobi a été réalisé dans la région du Gobi en Mongolie (Figure 12.1). La région inclut les provinces administratives (*aimags*) de Gobi Altai, Bayankhongor, Ovur khangai, Omnogobi, Dundgobi, Dornogobi, Gobi Sumber et Tov. Au sein de cette région, existent cinq zones naturelles qui généralement suivent un gradient d'altitude du Nord au Sud et comprennent la haute Montagne, la Taïga de montagne (forêt), la steppe forestière, la steppe et le désert de Gobi (Yunatov *et al.*, 1979). La Haute Montagne représente une zone située en-dessus de la ligne de canopée et présente majoritairement une végétation de Toundra. La Taïga montagnaise est surtout forestière, avec des espèces comme le Mélèze Sibérien (*Larix sibirica*) et le Pin Sibérien (*Pinus sibirica*). La steppe forestière représente une zone de transition entre la Taïga montagnaise et les zones de steppe où se côtoient des herbages et des portions fores-



tières. Les espèces forestières ci-dessus peuvent se rencontrer sur les pentes septentrionales et les herbages à base de *Stipa* et *Festuca* sur les versants Sud. La zone de steppes consiste en herbages dominés par les graminées *Stipa* et *Cleistogenes* et les *Artemisia* et présentent la plus large concentration en bétail au sein de l'aire d'étude. Le désert de Gobi est la zone la plus aride (<200 mm de précipitations) avec comme plantes dominantes les espèces *Stipa* et *Allium*, et, sous la strate arbustive des espèces comme *Caragayna* et *Amygdalus*.

### 12.2.2 Cadre du SAPFB

Le SAPFB combine une collectes de données de terrain à partir d'une série de sites de contrôles, la production de modèles de simulation, un système statistique de prévisions, et de GIS pour produire des cartes régionales fourragères actuelles et prévisionnelles (Figure 12.2). Le système utilise le modèle de simulation de croissance de phytomasse (PHYGROW) (Stuth *et al.*, 2003b) pour estimer les conditions fourragères. Les données de terrain collectées à partir des sites de contrôle installés à travers la région sont utilisées pour paramétrer et calibrer le modèle. Les séries de modèles pour les sites de contrôles sont guidées par des données climatiques proches du temps réel. Les séries de modèles de simulation sont exécutées tous les 15 jours et les résultats sont rendus disponibles à travers un portail web (<http://glews.tamu.edu/mongolia>). Afin de produire des cartes des conditions fourragères,



le fourrage total disponible pour le bétail représente un produit pour chaque site de contrôle et est localisé conjointement avec des données d'imagerie par télédétection (NDVI) de la région. Le LEWS incorpore également un système statistique de prévisions qui fournit une projection à 60 jours des conditions de disponibilités fourragères.

### 12.2.3 Source des données climatiques

Les données climatiques sont acquises auprès du "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA) "Climate Prediction Center" (CPC). La composante précipitations utilisée comme variable pilote dans le modèle de simulation fourragère provient du CMORPH (Joyce *et al.*, 2004) (référéncé ci-dessous comme "CMORPH product"). Ce produit est fourni toutes les 24 heures par NOAA et représente le total des pluies tombées entre 0:00 et 24:00 GMT (Greenwich Mean Time). Ce produit CMORPH s'obtient automatiquement à partir des serveurs NOAA via internet et téléchargé sur les serveurs du Centre pour la Technologie de l'information pour les Ressources Naturelles à l'Université A&M. Les produits



relatifs aux précipitations sont délivrés sous forme d'images grillagées ayant une portée géographique entre 80.0° à 120.0° de longitude Est et de 40.0° à 55.0° de latitude Nord, ce qui couvre entièrement la Mongolie, et des parties du Nord de la Chine et du Sud de la Russie. L'espace grillagé d'une case de l'image est de 0.07276° dans la direction longitudinale, 0.07277° dans la direction latitudinale (environ 8 km à l'Equateur). Durant les comparaisons initiales entre les données de pluie fournies par le CMORPH et celles des stations météorologiques de Mongolie, il est apparu que le produit avait surestimé le volume des précipitations dans de nombreux endroits dans la région du projet spécialement dans les zones des steppes et des steppes forestières. Des surestimations importantes sont apparues pendant les mois d'été (pic de pluies) et peuvent avoir une relation avec un problème connu tant avec CMORPH qu'avec d'autres produits fournis par des satellites de pluviométrie, où le volume des précipitations est détecté par des algorithmes de pluie, mais où aucune des pluies détectées n'atteint le sol, à cause de l'évaporation (Janowiak *et al.*, 2005). Pour surmonter cet écueil, une correction biaisée journalière a été calculée et appliquée au produit en se servant des données pluviométriques provenant d'environ 200 stations météorologiques au sein du domaine CMORPH Mongolien. Ces données en stations furent obtenues en temps proches du réel de NOAA comme part du Système Mondial de télécommunication de données SGT est un réseau mondial de stations météorologiques qui fournit des données à l'Organisation Mondiale Météorologique (OMM), comme partie du système Mondiale de Veille Météorologique. Les données biaisées ajustées du CMORPH ont servi pour le modèle de simulation PHYGROW.

Les données de température pour le modèle furent acquises du Système d'Assimilation des données NOAA du monde qui produit les températures de surface maximale et minimale pour l'entièreté du globe. La résolution de ces données est de 1degré à l'Equateur (approximativement 110 km).

#### 12.2.4 Modèles de simulation

Le PHYGROW a été employé pour la prévision de la biomasse fourragère dans les sites de contrôle de la région d'études. PHYGROW est un modèle indicatif qui contient 4 sous-modèles intégrés, à savoir le climat, le sol, la croissance végétale et le pâturage. Le modèle simule un bilan hydrique du sol, la croissance d'un groupe végétal multispécifique et multifonctionnel, et un bétail pâturant à un rythme journalier PHYGROW est basé sur le concept d'un modèle utilisant efficacement la lumière (Montieth, 1972; 1977) ce qui stimule la croissance végétale dans des conditions optimales, à savoir sans restriction d'eau. Le modèle déduit alors la part de croissance due au stress hydrique, au stress thermique (basé sur la thermo-tolérance des espèces végétales) et à la demande de pâture du bétail.

Le modèle comporte des paramètres pour la surface du sol, l'information sur les strates, les espèces végétales et leurs données communautaires, la gestion du pâturage pour le bétail, et les taux de charge; il est dirigé par des données climatiques (Stuth *et al.*, 2003b). La sous-composante sol renferme 13 paramètres uniques, incluant entre autres variables: la profondeur du sol, la densité volumétrique, les capacités d'infiltration et de rétention d'eau. La sous-composante plante permet la simulation pour des espèces individuelles ou des groupes fonctionnels. Les paramètres végétaux communautaires comprennent la culture initiale, la couverture herbagère basale en pourcentage, la fréquence en légumineuses,

la couverture de la canopée des arbustes et arbres. Pour chaque espèce de plante ou de groupe fonctionnel du modèle, existent 27 paramètres végétaux, parmi lesquels les températures minimales, maximales et optimales pour la croissance, l'efficacité dans l'utilisation des radiations, l'indice de surface foliaire, le renouvellement, la décomposition foliaire et ligneuse, et le mouvement hydrique dans la canopée. La composante pâturage recouvre 19 variables, liées à l'espèce et la classe de l'animal, et comprenant le taux de prélèvement de fourrage, le taux de charge, et les préférences de l'ingestion pour chaque espèce végétale paramétrisée. Enfin, la sous-composante climat recouvre six variables, dont l'année, le jour, les températures minimales et maximales, les précipitations et la radiation solaire.

### 12.2.5 Caractérisation du site de suivi

Des transects de végétation permanente furent établis à travers la surface du projet afin de réunir l'information nécessaire au paramétrage du modèle de simulation PHYGROW. Un transect linéaire et des méthodes de quadrats ont été utilisées pour rassembler de l'information sur les communautés végétales et sur la biomasse fourragère afin d'estimer la productivité. Lors de la visite initiale du site des données ont été collectées le long d'un des transects linéaires: elles comprenaient la couverture de base en graminées et les couvertures de la canopée des arbustes, ainsi que des estimations de la biomasse fourragère, afin de calibrer le modèle. Les sites furent périodiquement visités pendant les années suivant l'installation pour une calibration et une validation complémentaires du modèle.

### 12.2.6 Cartographie fourragère

La méthode géostatistique de krigeage a été utilisée pour cartographier la biomasse fourragère régionale. Il s'agit d'une méthode géostatistique d'interpolation qui calcule les estimations pour des points inconnus en se servant de la moyenne linéaire des guides des échantillons des variables primaires et secondaires. La variable secondaire (co-variable) est en corrélation croisée avec la première variable d'intérêt et est habituellement échantillonnées plus fréquemment et régulièrement (Isaaks and Srivastava, 1989), et ainsi, elle permet l'estimation de point inconnu en se servant des deux variables. Le produit de biomasse fourragère du modèle de simulation PHYGROW pour chacun des sites de contrôle a été utilisé comme première variable dans l'interpolation. Pour la seconde variable, les données IDNV préparées par le Programme d'études de Modélisation, et de cartographie pour un inventaire mondial de la NASA fut utilisé (Tucker *et al.*, 2005). Le logiciel "ArcGIS software" servit à l'interpolation pour le cokrigeage et des cartes fourragères furent dressées tous les 15 jours.

### 12.2.7 Prévisions statistiques

Afin de procurer une prévision des conditions futures probables du fourrage, un modèle intégré autorégressif de moyenne mouvante de prévision (ARIMA) (Box *et al.*, 1994) fut employé. Cette méthode procure des prévisions à 90 jours des conditions fourragères en utilisant des analyses de séries temporelles. Cette approche ARIMA se sert d'un fourrage modélisé pour des dates écoulées et coïncidant avec des conditions d'IDNV historiques simultanément à des estimations actuelles afin de prédire la biomasse fourragère future (Aihamad *et al.*, 2007). Les valeurs de la biomasse fourragère sont basées sur des moyennes changeant tous les 10 jours.

## 12.3 APPROCHE

L'évaluation de la biomasse fourragère pour le bétail en temps proche du réel est spécialement importante en Mongolie où les sécheresses et les désastres hivernaux (*dzud*) qui réduisent les ressources végétales, représentent un risque majeur auquel sont confrontés les éleveurs. Comme la majorité des producteurs de bétail est représentée par des éleveurs nomades ou semi-nomades, la connaissance des conditions fourragères environnantes devient un facteur critique dans la prise de décision pour la gestion des risques du bétail, particulièrement pendant la sécheresse (Kogan *et al.*, 2004). Souvent les éleveurs répondent à la sécheresse en déplaçant leurs troupeaux, mais, cette migration n'est pas toujours adaptée du fait d'un manque d'information sur les conditions végétales, et peut donc amener à un surpeuplement dans des zones non affectées par la sécheresse.

Dans les régions pastorales, le bétail est la composante essentielle de la richesse individuelle et du bien-être des éleveurs. En procurant une information d'alerte précoce sur les sécheresses ou autres conditions désastreuses, il est possible d'améliorer les options de commercialisation des animaux avant que le marché ne s'effondre et les déplacements des animaux des zones des régions affectées peut réduire la probabilité des impacts sur l'environnement. Les évaluations régionales d'alerte précoces procurent également l'information nécessaire aux décideurs politiques et aux organismes d'assistance de développer les réponses appropriées et des stratégies d'atténuation.

L'approche pour l'établissement du Projet d'Alerte Précoce pour le fourrage à Gobi a comporté huit activités principales, à savoir:

1. Choix des sites de contrôle
2. Caractérisation des sites de contrôle
3. Paramétrisation des modèles de simulation
4. Simulation en temps proche du réel pour les sites de contrôle
5. Intégration du modèle produit avec les données de télédétection
6. Cartographie régionale de la biomasse fourragère et des anomalies
7. Distribution de l'information
8. Formation sur l'utilisation des produits du fourrage de Gobi

Chacune de ces activités et les méthodes utilisées pour leur mise en œuvre sont discutées ci-dessous.

## 12.4 MÉTHODOLOGIES POUR L'ÉTABLISSEMENT DE L'INVENTAIRE FOURRAGER

### 12.4.1 Sélection des sites de contrôle

Une série de sites de contrôle ont été établis à travers la région d'étude afin de rassembler l'information nécessaire pour paramétriser le modèle de simulation et procurer un échantillon représentatif de la productivité fourragère régionale. Un quadrillage de 8 km x 8 km, représentatif de la résolution en pixels de données pluviométrique du CMORPH, a été superposé sur la surface de la zone du projet (Figure 12.1). Pour s'assurer que les sites soient accessibles, les quadrillages ont été stratifiés en sélectionnant ceux qui se trouvaient à moins de 30 km d'une route. A partir des quadrillages stratifiés, un sous-ensemble de cases fut sélectionné au hasard dans chaque province, avec le nombre de cases proportionnel à la surface de chacune de celles-ci et de zone naturelle (Figure 12.1). Une fois les



**Photo 12.1**

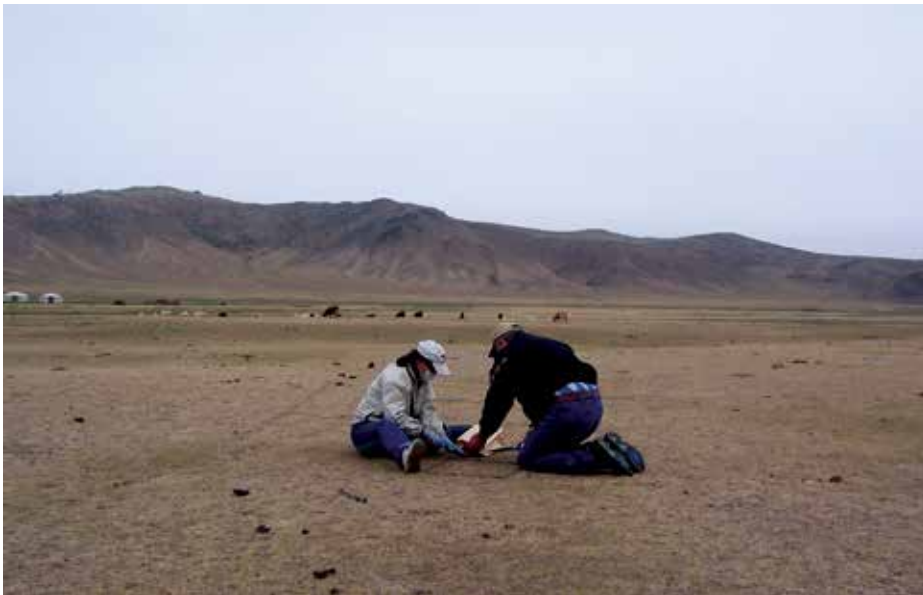
*Quadrat positionné modifié pour enregistrer la surface en graminées, la fréquence des légumineuses et la couverture de la canopée des arbustes sur les sites de contrôle du Fourrage au Gobi*

cases choisies, elles furent chargées sur le "Personal Digital Assistants" (PDAs) équipé des "Global Positioning Systems" et du logiciel ArcPad mobile GIS software. Les PDAs furent confiés aux équipes de terrain et utilisés pour naviguer dans les cases sélectionnées afin de contrôler la caractérisation des sites.

#### **12.4.2 Caractérisation des sites de suivi**

Les équipes de terrain ont utilisé le réseau routier pour se rendre à l'intérieur d'une case préalablement choisie et ensuite se déplacer par voie de terre à l'intérieur des limites en se servant du navigateur ArcPad et du PDA/GPS. Une fois à l'intérieur de la case, la communauté végétale dominante a été identifiée et une localisation a été établie pour un transect permanent de la végétation. Etant donné la vaste superficie géographique du projet, ces transects furent installés par étapes. La première s'effectua dans la province de Bayankhongor et Ovorkhangai dans le Gobi Altai en 2004 (Figure 12.1). En 2005, des transects furent installés dans la province d'Omnogobi, Dundgobi, Gobisumber et Dornogobi. Des transects furent mis en place en 2006 dans la province de Tov. Au total 243 sites de contrôle furent installés à travers la région (Figure 12.1) pendant la phase de caractérisation des sites de contrôle.

Pour rassembler les paramètres nécessaires des communautés végétales pour le modèle PHYGROW dans chaque site de contrôle, une méthode modifiée de cadre positionnel (Ryan, 2005) fut utilisée pour récolter un pourcentage de la couverture graminéenne de base, de la fréquence en légumineuses et de la couverture de la canopée des arbustes le long de chaque transect permanent. Les longueurs des transects s'échelonnaient de 100 m à 500 m, suivant la couverture végétale et l'espacement des plantes dans les sites;



**Photo 12.2**

*Taille d'un quadrat à un site de suivi du projet fourrage au Gobi*

Lorsque, dans ces derniers, la végétation était éparse, les transects étaient rallongés. Le long de chaque transect, le cadre positionnel (Photo 12.1) était placé en surface du sol et chaque point du cadre était examiné afin de déterminer s'il croisait la superficie de base d'une graminée, d'une litière végétale, de sol nu ou de roche. Dans le cas d'une surface graminéenne, cela était enregistré sous forme de "hit" (coup ciblé).

A l'intérieur d'un quadrat de 5 x 5 m autour de chaque point, la présence d'une espèce unique de légumineuse était définie de "hit". Si la canopée d'un arbuste ou d'un arbre croisait une ligne élevée, perpendiculaire à partir du point, arbre ou arbuste étaient enregistrés comme un "hit". Au total 250 à 500 points ont été échantillonnés, suivant la couverture végétale et l'espace entre les plantes. Les "hits" enregistrés à partir de graminées, légumineuses, et ligneux ont été divisés par le total possible de "hit" et ces valeurs ont été introduites dans le modèle PHYGROW comme variable de composition de la communauté végétale.

La biomasse herbacée à chaque transect a été mesurée au moment de son établissement et, dans les années suivantes. Un Quadrat de 0,25 ou 0,50 m<sup>2</sup> a été placé à intervalles égaux le long du transect ( $n = 10$  échantillons par transect: la biomasse herbacée (graminées et légumineuses) a été taillée à une hauteur de 1 cm des chaumes. Si des arbustes consommables par le bétail étaient situés à l'intérieur du quadrat, la longueur de croît annuel était coupée à partir de la tige. La biomasse coupée a été récoltée dans des sacs de papier, envoyés au laboratoire et séchés dans un four à air pulsé à 60 °C pendant 48H (Photo 12.2). Après séchage, les échantillons furent pesés sur une balance digitale. Les poids furent alors multipliés par un facteur approprié de terrain en relation avec la taille du quadrat afin de convertir en kg/ha. La moyenne des 10 échantillons a été extraite et utilisée pour le calibrage et la validation du modèle de simulation.

Pour les composants sols de PHYGROW, une carte des sols à 1/1 000 000 fut obtenue au Laboratoire National des Sols de Mongolie. A travers une GIS, l'information sur les séries des sols fut extraite, et les paramètres introduits dans le modèle PHYGROW. Si, pour un site, les données n'étaient pas disponibles, un trou y fut creusé et caractérisé durant les visites ultérieures. Les échantillons des sols ont été extraits des différentes couches et envoyés pour analyse au Laboratoire National des Sols. Des spécialistes du sol ont été consultés pour apporter leur concours dans la classification des sols. Lorsque les paramètres de texture étaient les seuls paramètres disponibles pour un sol, les paramètres de modélisation étaient estimés à partir des pourcentages de texture en utilisant un outil d'estimation des paramètres du sol (Saxton *et al.*, 1986).

Les informations sur les taux de charge ont été calculées à partir des recensements du bétail des districts (sum)<sup>13</sup> organisés annuellement pendant l'étude. L'effectif total de chaque type de bétail a été divisé par la surface totale du district et ce chiffre a été introduit comme paramètres de charges dans PHYGROW. L'ingestion saisonnière de matière sèche pour chaque type de bétail a été déterminée par consultation avec des chercheurs en nutriments des ruminants de l'Institut de Recherche sur l'Élevage à l'Université Agricole de Mongolie.

### 12.4.3 Paramétrisation du modèle de simulation

Les données de sol, plantes, et du pâturage, ont été introduites dans la base centralisée de données PHYGROW, qui comporte une structure tabulaire relationnelle afin d'emmagasiner les paramètres pour chacun des sites de contrôle. Les données de sol introduites comportaient la profondeur pour chaque couche, la densitométrie de masse, les variables de capacité de rétention d'eau, les paramètres de pente et d'écoulement d'eau. Les données végétales de paramétrisation pour la caractérisation des communautés de plantes comportaient les superficies de base et l'information sur la couverture de la canopée collectées au cours des visites de terrain. Les paramètres de croissance végétale spécifique aux espèces et aux groupes fonctionnels furent également introduits; ils comportent l'index de surface foliaire, le taux de croissance relative, la rotation entre feuillage et bois, la profondeur racinaire, la hauteur de la plante, la croissance optimale, et les températures de blocage. Les données de croissance pour les espèces et les groupes fonctionnels furent obtenues de la littérature publiée et des bases de données du net, comme EeoCrop (FAO, 1994) et de la base Mondiale de Données sur les Indices de Surface Foliaire (Scurlock *et al.*, 2001). Lorsqu'il ne fut pas possible de trouver ces données pour une espèce donnée, un jugement fut rendu sur le genre de la plante, le groupe fonctionnel et l'information sur les caractères de croissance collectée auprès d'Experts mongolien en phytologie.

Les données sur le pâturage furent rentrées pour caractériser la densité du bétail, les caractéristiques générales de gestion du bétail dans la région d'échantillonnage du site de contrôle. Ces paramètres comprennent les taux de charges minimales et maximales, le taux d'ingestion de matière sèche, et les préférences d'appétence pour les plantes d'occupation du site. Les préférences furent signalées pour chaque espèce et groupe fonctionnel et classifiées suivant les degrés d'appétence comme préférée, désirable, non désirable ou non consommée et ce à différents stades de croissance comme hâtive, dormante ou morte.

<sup>13</sup> Chaque province (aimag) est divisée en un certain nombre de districts (sum).

Les données climatologiques furent téléchargées quotidiennement des serveurs PHYGROW. Les températures maxi et mini, et la pluviométrie corrigée furent extraites des données NOAA, sur base de la latitude et longitude du site de contrôle et emmagasinées dans la base de données PHYGROW pour usage dans le fonctionnement du modèle de simulation pour chaque site.

#### 12.4.4 Simulation en temps proche du réel pour les sites de contrôle

Une fois tous les sites paramétrés, des scripts PERL<sup>14</sup> ont été appliqués pour extraire les paramètres des bases de données et les fichiers de paramètres nécessaires pour le modèle PHYGROW sont mis au point pour chaque site de contrôle. Avant une simulation proche en temps réel, chacun des sites a été calibré. Cela a impliqué de faire fonctionner le modèle avec les données climatiques et comparer le résultat simulé de biomasse fourragère à celui mesuré pendant l'installation des transects et la biomasse ultérieure coupée à des dates plus tardives. Si le résultat du modèle tombe dans la fourchette de  $\pm$  une erreur standard de la moyenne de la biomasse fourragère mesurée sur le transect du site contrôle, le modèle est considéré comme calibré pour la période de collecte de données. Si le résultat tombe en dehors de cette fourchette, les paramètres sont réajustés afin de ramener l'estimation modélisée de la biomasse dans les limites de l'erreur standard. Le processus est répété pour chaque période pendant laquelle les données ont été collectées jusqu'à ce que le modèle soit considéré calibré. Les ajustements des paramètres du modèle pour sa calibration ont été limités aux espèces avec un taux maximal de système racinaire, de rotation entre système foliaire vert et mort, et d'épaisseur du sol en surface.<sup>15</sup> Une fois le modèle considéré calibré, les paramètres du modèle pour un site ont cessé d'être ajustés et des séances de fonctionnement ont été établies dans l'attente d'un fonctionnement sur une base de temps proche du réel.

Les simulations en temps proche du réel fonctionnent sur un système informatique distributif qui consiste en un serveur central connecté à 20 nœuds avec une capacité de 80 unités centrales de traitement. Le serveur central applique les scripts PERL pour extraire le fichier de paramètres avec les données météo les plus récentes des 247 sites de contrôle à partir de la base de données PHYGROW et les stocke dans la session de fonctionnement en attente. Les sessions en attente sont transmises aux différents nœuds de traitement et les simulations et prévisions sont effectuées. Une fois terminés, les résultats sélectionnés sont structurés dans la base de données PHYGROW. Les résultats individuels des sites sont accessibles via le portail web du projet <http://glews.tamu.edu/mongolia>. Les scripts PERL extraient les données de fourrage disponible à partir de la base de données et les prépare pour les applications dans la cartographie fourragère.

#### 12.4.5 Intégration des résultats du modèle avec les données de télédétection

Pour préparer les données à la cartographie fourragère, une moyenne des poids des données de fourrage total disponibles pour tous les herbivores est extraite de la base de données pour tous les sites de contrôle. Le fourrage total disponible pour les herbivores

<sup>14</sup> PERL est un langage de programmation de haut niveau, multi usage, interprété, dynamique.

<sup>15</sup> L'épaisseur des couches du sol en surface influence l'évaporation de l'eau en profondeur.

spécifiques est basé sur leurs préférences et la somme de la biomasse présente sur le site de contrôle. Le modèle PHYGROW va produire le fourrage total disponible pour chaque herbivore; cependant, un ensemble de données sur le fourrage total intègre disponible est créé là où une moyenne du fourrage total disponible pesé est calculée sur base de l'ingestion et du taux de charge des herbivores (c'est-à-dire la demande totale en fourrage) sur le site de contrôle. La quantité de fourrage total intégré disponible est fournie tous les 15 jours, avec la latitude et la longitude de chaque site de contrôle. Ces données sont alors jointes aux données IDNV pour la région du projet. Le fichier résultant est utilisé pour l'interpolation de cokrigeage afin de créer des cartes fourragères. Les moyennes de fourrage total disponible à long terme et les prédictions à 60 jours sont également extraites des bases des données. Les données à long terme sont jointes aux moyennes IDNV à long terme pour la même période afin de créer un fichier de cokrigeage afin de produire une carte fourragère à long terme. La même opération est effectuée pour les prévisions à 60 jours, afin de créer une carte fourragère prévisionnelle pour cette période.

#### 12.4.6 Cartographie régionale de la biomasse fourragère et anomalies

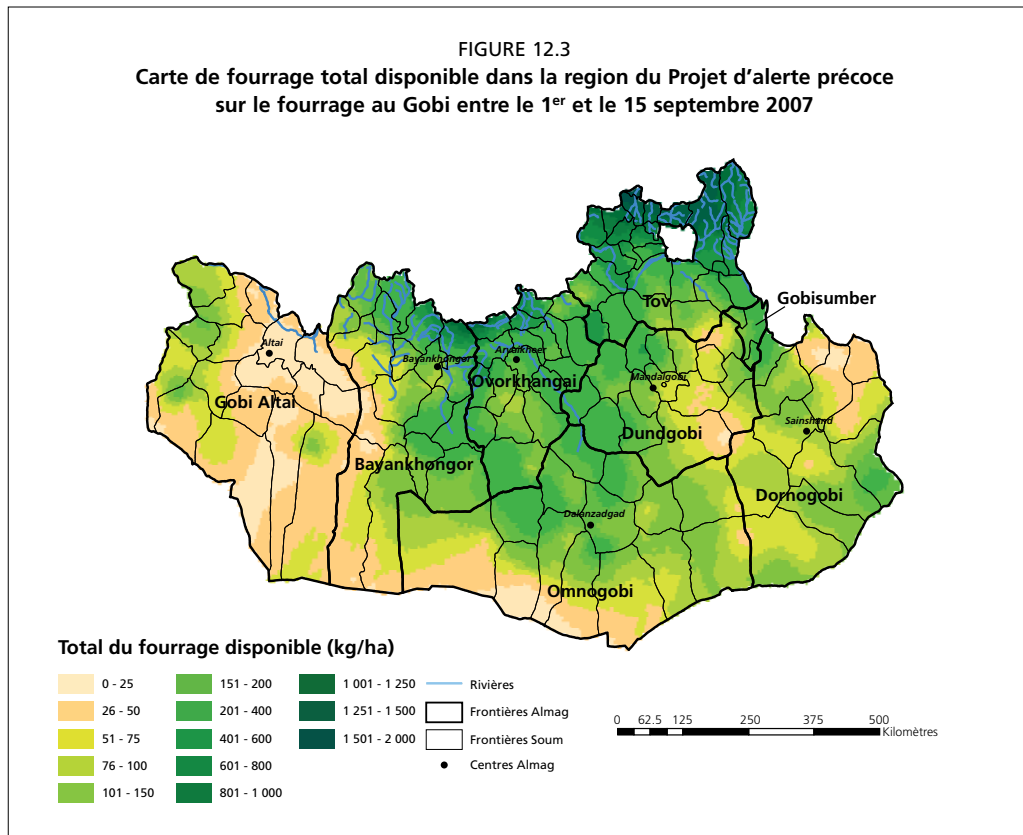
La procédure géostatistique de cokrigeage (voir Isaaks and Srivastava 1989 pour une discussion sur cokrigeage) afin de produire des cartes territoriales de production fourragère utilise des données de résultats fourragers localisés conjointement et l'IDNV. La procédure co-kriging n'utilise pas seulement la relation positive entre la biomasse fourragère et les NDVI, mais aussi compte sur l'autocorrélation spatiale<sup>16</sup> pour créer des cartes interpolées de biomasse fourragère. Les cokrigeages ont été conduits en utilisant l'extension analytique géostatistique dans le logiciel ArcGIS 9 (ESRI, 2005).

Pour évaluer le bien-fondé de la prévision de biomasse fourragère par le logiciel ArcGIS. Une validation croisée a été conduit en utilisant le logiciel ArcGIS. La validation croisée suppose l'abandon des données pour un des points de contrôle, et ensuite, la mise en route de la procédure de cokrigeage, afin de prédire la valeur fourragère du point abandonné. Cette procédure est répétée pour tous les points de contrôle; ensuite, les valeurs observées et prédites peuvent être comparées par régression afin d'évaluer statistiquement dans quelle mesure la procédure estime correctement les points non échantillonnés. Les résultats de cet exercice pour la cartographie fourragère pendant le mois d'été de 2005 à 2007 a indiqué que la procédure de cokrigeage a réalisé un travail raisonnable dans la prédiction de la biomasse fourragère ( $r^2 = 0,58$  to  $0,69$ ). Elle a tendance à légèrement sous-prévoir la biomasse fourragère de 1% à 4% (Angerer, 2008).

L'ensemble des cartes de fourrage disponibles représentant les conditions fourragères du moment sont produites deux fois par mois (Figure 12.3). Pour procurer une représentation spatiale des anomalies en fourrage, une carte de déviation est également produite à cet effet (Figure 12.4). Ceci est calculé en effectuant une déviation standard entre la carte actuelle et la carte de moyenne fourragère à long terme pour la période d'intérêt. Les déviations sont classifiées en indicateurs d'alerte précoce afin de baliser des zones d'intensité de sécheresse (Figure 12.4). Une carte prévisionnelle de fourrage à 60 jours est fournie pour procurer l'information destinée à évaluer le risque de sécheresse (Figure 12.5).

<sup>16</sup> Les autocorrélations spatiales se réfère à la "règle" énonçant que les "objectifs" plus proches les uns des autres dans l'espace sont généralement plus similaires que ceux qui sont éloignés.





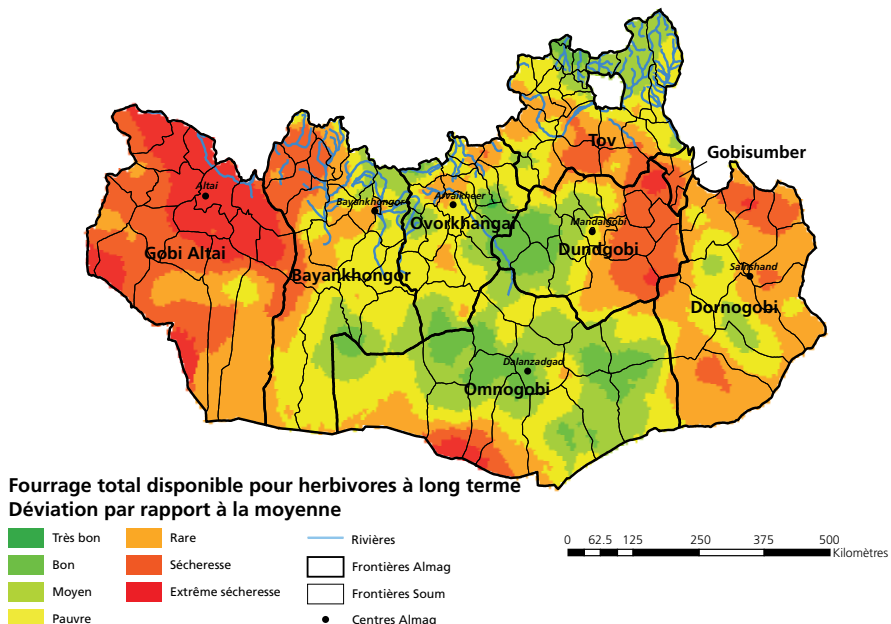
### 12.4.7 Dissémination de l'information

Les cartes fourragères actuelles, prévisionnelles et de déviation à long terme sont produites deux fois par mois et distribuées via internet (<http://glews.tamu.edu/mongolia>) et par courriel. Les cartes sont également imprimées en couleurs et postées aux administrations de district pour usage local et pour affichage sur les tableaux des administrations locales. Les cartes sont également transmises aux autorités officielles régionales et nationales. Un rapport de situation, fournissant une interprétation des cartes fourragères par un spécialiste des parcours, est posté aux autorités officielles régionales et nationales. Ce rapport est également transmis sous forme de bulletins à la Radio Publique Nationale de Mongolie pour diffusion.

### 12.4.8 Formation sur l'utilisation des produits du projet fourrage au Gobi

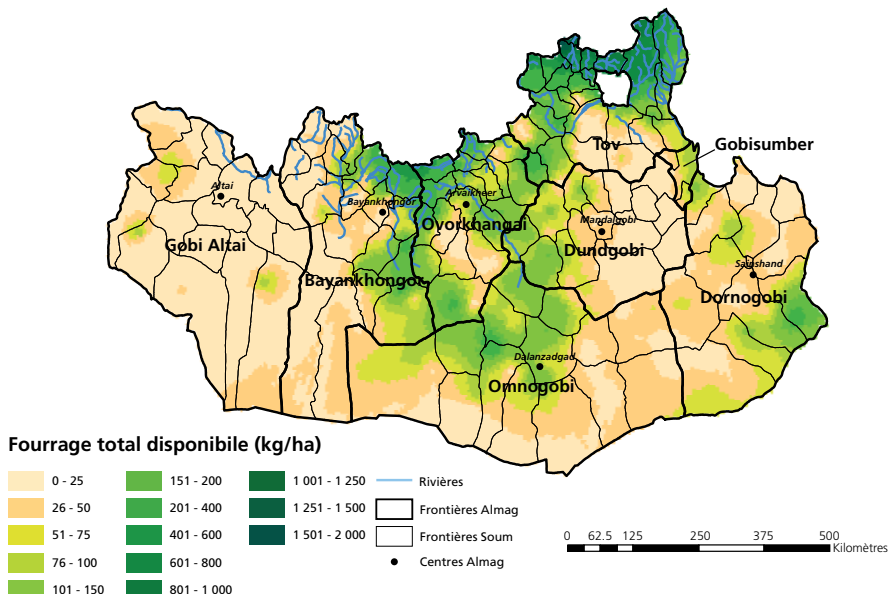
Des programmes de formation ont été développés pour les éleveurs, le personnel du gouvernement, les ONG, et les autres parties prenantes, dans l'utilisation et l'interprétation des produits du SAPFB. Le personnel du projet fourrage au Gobi a voyagé jusqu'aux districts à travers les régions et dirigé des sessions de formation pour les éleveurs et le personnel des gouvernements locaux afin de les initier aux produits du projet fourrage au Gobi et de leur procurer des instructions pour l'interprétation des cartes du projet (Photo 12.3). La formation a été supportée par un ensemble de vidéos DVD qui furent distribuées, ainsi que projetées au cours des sessions de formation. Ces vidéos ont prouvé leur efficacité comme

FIGURE 12.4  
 Carte de déviation du fourrage total disponible par rapport à la moyenne à long terme pour la région du SAPFB au Gobi entre le 1<sup>er</sup> et le 15 septembre 2007



Note: Les catégories de déviation représentent des indicateurs d'alerte précoce sur la gravité de la sécheresse - observations sur la gravité de la sécheresse aux aimags de l'est Dug ngobi et nord Gobi Altai.

FIGURE 12.5  
 Carte de fourrage total disponible projeté à 60 jours pour la région du SAPFB au Gobi du 1<sup>er</sup> au 15 septembre 2007



Note: Les quantités de fourrage représentaient la biomasse disponible prévue du 1<sup>er</sup> au 15 septembre 2007.



**Photo 12.3**

*Session de formation pour éleveurs et présentation du gouvernement afin de les initier aux cartes fourragères au Gobi et pour les assister à l'utilisation des cartes pour la prise de décisions dans la gestion des risques*

outils d'initiation des utilisateurs potentiels du Programme Gobi Forage en leurs procurant une description, à la fois des méthodologies et des produits LEWS. Des brochures, des calendriers et des cartes descriptives furent également produites pour distribution en fin de session afin d'améliorer la rétention de l'information par les stagiaires.

Une enquête menée dans la région en 2008 a indiqué que le Fourrage au Gobi était bien accepté, avec plus de 70% d'éleveurs entretenant un certain degré de familiarité avec les produits du projet. Environ la moitié des éleveurs enquêtés ont rapporté avoir eu l'information de Fourrage au Gobi pour diriger les déplacements de leur bétail (51%), distribuer des aliments pour animaux supplémentaires (49%) ou changer leur stratégie de pâturage (40%). Une majorité écrasante de représentants officiels gouvernementaux ont trouvé les produits du Fourrage au Gobi "très utiles", en avisant les éleveurs sur la gestion des pâturages et les déplacements des animaux. Un gouverneur provincial a décrit comment le système l'a aidé à gérer l'afflux d'environ 50 000 éleveurs et leurs familles en provenance d'une province voisine frappée par la sécheresse et prévenir les conflits avec les éleveurs locaux.

## **12.5 MISE À JOUR DE L'INVENTAIRE FOURRAGER**

Du fait de la nature d'Alerte Précoce du programme SAPFB du Fourrage au Gobi, l'inventaire fourrager est mis à jour en permanence, avec un traitement bimensuel des données des sites de contrôle et la production des cartes fourragères. Les sous-ensembles des sites

de contrôle sont visités périodiquement à travers la région afin de collecter les données de biomasse fourragère pour vérifier les prédictions du modèle. De plus, les données de végétation des transects sont récoltées périodiquement (tous les 3 à 5 ans) pour contrôler les changements de végétation et mettre à jour les paramètres des sites de contrôle dans le modèle si des conditions de végétation ont changé.

Après l'arrêt du financement USAID du Projet en 2008, la continuité du programme a reçu l'appui financier du programme pour des moyens durables de bien-être de la Banque Mondiale. Avec cet appui, la région de contrôle a été étendue à toute la Mongolie et a été intitulée: Le système d'alerte précoce pour le bétail en Mongolie. La carte fourragère exhaustive pour le pays entier sera initiée mi-2012. En 2013, le système sera institutionnalisé dans l'Agence Nationale Mongolienne pour la météorologie, l'hydrologie et le contrôle de l'environnement.

## 12.6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alhamad, M. N., Stuth, J. & Vannucci, M.** 2007. Biophysical modelling and NDVI time series to project near-term forage supply: spectral analysis aided by wavelet denoising and ARIMA modelling. *Int. J. Remote Sens.*, 28: 2513–2548.
- Angerer, J. P.** 2008. *Examination of high resolution rainfall products and satellite greenness indices for estimating patch and landscape forage biomass*. Texas A&M University, College Station, Texas. 120 pp. (PhD Thesis).
- Bedunah, D. J. & Schmidt, S. M.** 2004. Pastoralism and protected area management in Mongolia's Gobi Gurvansaikhan National Park. *Develop. Change*, 35(1): 167–191.
- Box, G., Jenkins, G. & Reinsel, G.** 1994. *Time series analysis: Forecasting & control (3rd Edition)*, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- ESRI.** 2005. *ArcGIS 9: Using ArcGIS geostatistical analyst*. Redlands, ESRI, California, USA.
- Isaaks, E. H. & Srivastava, R. M.** 1989. *Applied geostatistics*. Oxford University Press, New York, USA.
- Janowiak, J. E., V. E. Kousky, and R. J. Joyce.** 2005. Diurnal cycle of precipitation determined from the CMORPH high spatial and temporal resolution global precipitation analyses. *J. Geophys. Res.*, 110: D23105.
- Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A. & Xie, P. P.** 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydromet.*, 5(3): 487–503.
- Kogan, F., Stark, R., Gitleson, A., Jargalsaikhan, C., Dugrajav, C. & Tsooj, S.** 2004. Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *Int. J. Remote Sens.*, 25(14): 2889–2896.
- Montieth, J. L.** 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Appl. Ecol.*, 9: 747–766.
- Montieth, J. L.** 1977. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Philosoph. Trans. Royal Soc. London, Series B*, 281: 277–294.
- FAO.** 1994. *Ecocrop Version 1.1*. Rome. Italy.
- Ryan, Z.** 2005. *Establishment and evaluation of a livestock early warning system for Laikipia, Kenya*. Texas A&M University. College Station, Texas, USA. PhD Thesis.

- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S. & Papendick, R. I.** 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. America J.*, 50(4): 1031–1036.
- Scurlock, J. M. O., Asner, G. P. & Gower, S. T.** 2001. *Global leaf area index data from field measurements, 1932–2000*. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Siurua, H. & Swift, J.** 2002. Drought and zud but no famine (yet) in the Mongolian herding economy. *Inst. Develop. Studies Bulletin* 33: 88–97.
- Stuth, J. W., Angerer, J., Kaitho, R., Jama, A. & Marambii, R.** 2005. Livestock early warning system for Africa rangelands. In V. K. Boken, A. P. Cracknell & R. L. Heathcote, eds. *Monitoring and predicting agricultural drought: a global study*, Oxford University Press, New York, USA. 472 pp.
- Stuth, J.W., Angerer, J., Kaitho, R., Zander, K., Jama, A., Heath, C., Bucher, J., Hamilton, W., Conner, R., & Inbody, D.** 2003a. The livestock early warning system (LEWS): Blending technology and the human dimension to support grazing decisions. Arid lands newsletter, University of Arizona. Available at <http://cals.arizona.edu/OALS/ALN/aln53/stuth.html>.
- Stuth, J. W., Schmitt, D., Rowan, R. C., Angerer, J. P. & Zander, K.** 2003b. *Phygrow Users Guide and Technical Documentation*. Texas A&M University, College Station, Texas, USA.
- Tucker, C. J., Pinzon, J. E., Brown, M. E., Slayback, D. A., Pak, E. W., Mahoney, R., Vermote, E. F. & El Saleous, N.** 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *Int. J. Remote Sens.*, 26(20): 4485–4498.
- Yunatov, A. A., Dashnima, B. & Gerbikh, A. A.** 1979. *Vegetation Map of the Mongolian People's Republic*. Naukia. Moscow, Russia.



# 13. Inventaire des aliments pour le bétail sur le Plateau tibétain par télédétection et observation *in situ*

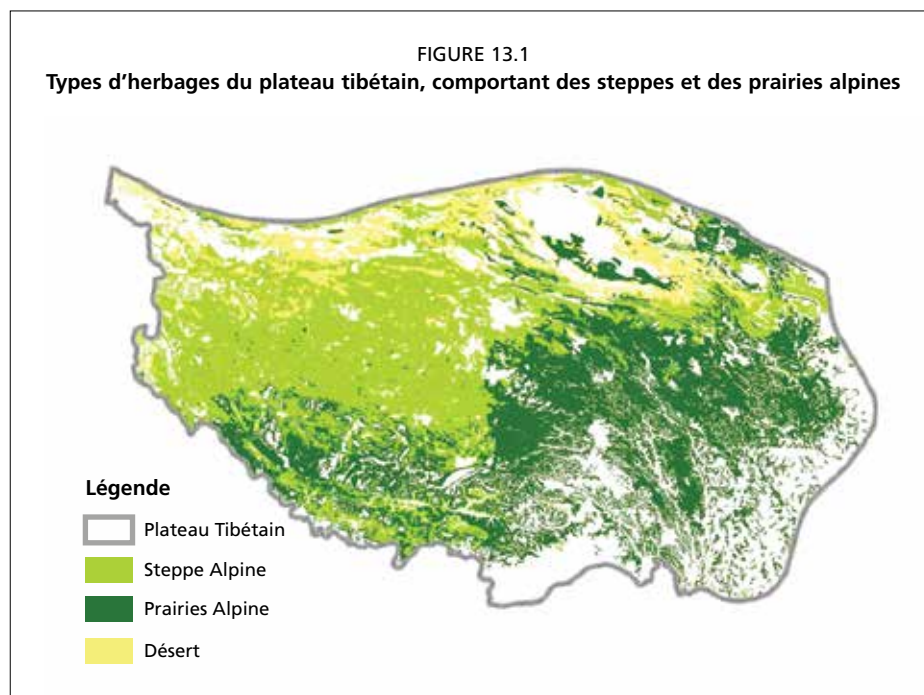
Xiangming Xiao, Jinwei Dong, Chandrashekhar Biradar and Sage Sheldon

Department of Microbiology and Plant Biology, and Center for Spatial Analysis, University of Oklahoma, Norman, OK 73019, USA

Email: xiangming.xiao@ou.edu

## 13.1 LE BESOIN D'UN INVENTAIRE DES ALIMENTS POUR LE BÉTAIL SUR LE PLATEAU TIBÉTAÏN

Le plateau tibétain, nommé aussi le Plateau Qinghai Tibétain est le plateau le plus étendu et le plus élevé au monde (Figure 13.1). Il recouvre une superficie de 2,5 millions de km<sup>2</sup>, à une altitude moyenne de 4 500 m au-dessus du niveau de la mer et est souvent appelé: "Le toit du monde". Il inclut la région autonome du Tibet, la province chinoise du Qinghai, et des parties des provinces du Sichuan, Gansu et Yunnan. La population de la Région autonome



du Tibet a augmenté de 1,23 millions en 1959 à 2,93 millions en 2010. Cet accroissement a entraîné une forte demande et pression sur les ressources naturelles et l'environnement.

Compte tenu des conditions climatiques extrêmes du plateau tibétain, ses prairies et ses steppes alpines, ses déserts et ses écosystèmes forestiers sont fragiles. Sur une surface totale de 1,5 millions de km<sup>2</sup> de pâturage, le bétail est composé majoritairement de yaks et d'ovins et a doublé au cours des 40 dernières années. Dans les provinces de Qinghai et du Tibet, les effectifs totaux du bétail s'élevaient en 2004 à  $8\,375 \times 10^4$  ovins standards (le yak a été converti en unités ovin pour uniformisation).

La production primaire et la biomasse au-dessus du sol des pâturages naturels présentent une fluctuation substantielle et interannuelle due aux changements météorologiques et climatiques. Dans la région des Sources des Trois Rivières, les données de terrain révèlent que la productivité primaire des herbages présente une fluctuation cyclique sur une période de 3 à 5 ans (Fan *et al.*, 2010). Dans la région, les rendements en aliments pour le bétail ont démontré une tendance en hausse pendant les récentes années, particulièrement en steppes alpines, mais il s'agit vraisemblablement d'un phénomène à court terme. Dans l'ensemble les effets des changements de climat sur la productivité de l'écosystème herbages vont vraisemblablement se vérifier négatifs sur une période à long terme (Fan *et al.*, 2010).

Les changements de climat et l'augmentation des activités humaines vont continuer à accroître l'incertitude et l'instabilité des écosystèmes herbagers. La sécheresse sur le Plateau Tibétain et le surpâturage du bétail ont accéléré la dégradation des herbages (Liu *et al.*, 2008). Plusieurs régions ont subi une pollution de l'environnement et des dommages écologiques (Cheng and Shen, 2000). La désertification des terres s'est substantiellement étendue, particulièrement sur une grande surface de la province du Qinghai, qui représente actuellement 21% de la zone totale de désertification en Chine. L'érosion s'est également accélérée particulièrement le long des monts Hengduan, où la déforestation et autres désordres dus à la main de l'homme sont extensivement pratiqués. La biodiversité a rapidement décliné à cause de la dégradation de l'environnement, du surcreusement et de la chasse.

Un inventaire des aliments pour le bétail peut procurer de l'information sur leur disponibilité au fil du temps et de l'espace, ce qui est crucial pour la gestion des stocks par les éleveurs individuels et l'industrie animale. Il est de grande importance pour l'usage et la gestion des herbages, ainsi que pour améliorer le bilan écologique et l'environnement. Sur le plateau Tibétain, les herbages naturels représentent la seule ressource alimentaire pour le bétail. Un système efficace d'inventaire des aliments pour le bétail, focalisé sur les herbages naturels s'avèrera très utile pour l'industrie du bétail et la protection de l'écosystème. La télédétection peut jouer un rôle important dans cet inventaire au niveau régional. Les recherches de terrain sur le Plateau Tibétain sont difficiles à cause des niveaux faibles en oxygène et de l'éloignement des sites, de sorte que les données au sol sont limitées. La stratégie est d'intégrer la modélisation basée sur la télédétection et les observations *in situ* basées sur les flux afin de développer un système de contrôle en temps réel de la production primaire brute et nette sur le Plateau Tibétain. La biomasse hors-sol et le fourrage seront également estimés via une approche basée sur la télédétection. Les tours à flux vont fournir des données afin de valider les résultats. Le co-krigeage est illustré dans la Figure 13.2.

Ce document est centré sur les méthodes et procédures d'estimation sur la production primaire brute et nette, la biomasse hors-sol et le fourrage comestible sur le plateau



(Figure 13.2). La première partie est une introduction aux méthodes et procédures pour l'estimation de la production primaire brute et nette des herbages suivant une approche basée sur satellite. Le modèle de Photosynthèse de végétation basé sur satellite sera présenté comme un modèle de diagnostic pour estimer la production primaire brute et nette des écosystèmes terrestres (Xiao *et al.*, 2005a; Xiao *et al.*, 2005b; Zhang *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2006). La seconde partie du document porte la discussion sur les approches basées sur satellite pour estimer la biomasse hors sol; celles-ci impliquent l'utilisation de données provenant de récepteurs optiques comme Landsat et la spectroradiométrie d'Imagerie à résolution modérée (MODIS) (Friedl *et al.*, 1994; Ikeda *et al.*, 1999; Hirata, 2000; Weiss *et al.*, 2001; Schino *et al.*, 2003; Benie *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2009a; Yang *et al.*, 2009b).

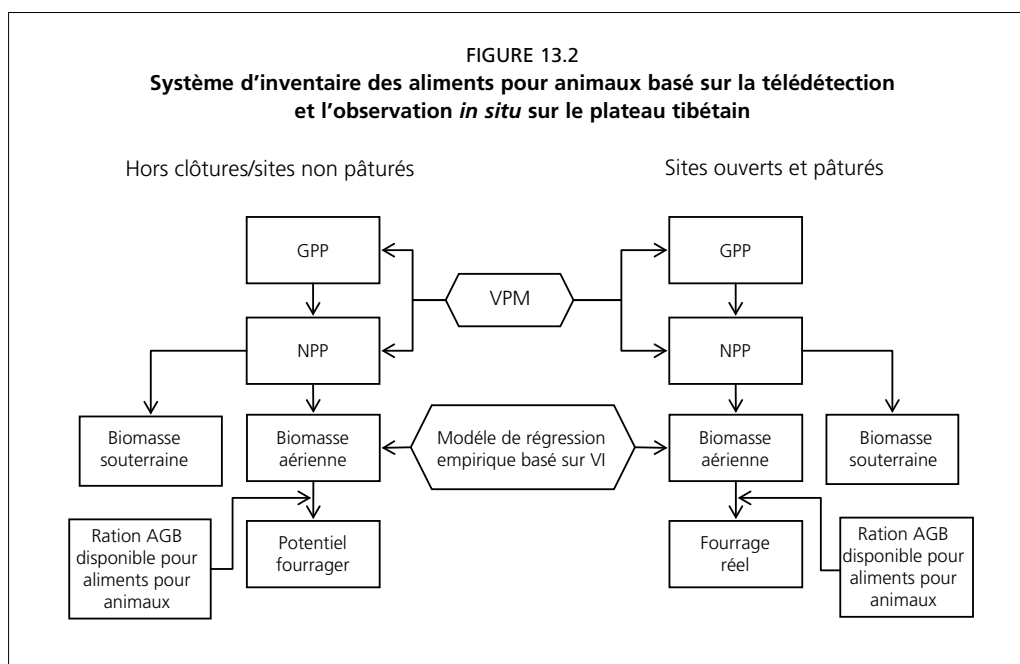
## 13.2 PRODUCTION PRIMAIRE BRUTE DES HERBAGES

### 13.2.1 Le modèle de Photosynthèse de la végétation (MPV)

D'une perspective biochimique les canopées sont composées de végétation chlorophyllienne (chi) et de végétation non-photosynthétique (NPV). Cette dernière inclut le niveau de la canopée (tiges, feuilles sénescents) et les matériaux au niveau foliaire (e.a. parois cellulaires, nervures et autres pigments). Dès lors,  $FPAR_{canopée}$  doit être divisée entre la fonction de radiation photosynthétiquement active (PAR) absorbée par la chlorophylle ( $FPAR_{chi}$ ) et la fonction de PAR absorbée par NPV ( $FPAR_{NPV}$ ), (Xiao *et al.*, 2004a; Xiao *et al.*, 2004b; Xiao *et al.*, 2005a):

$$Canopy (g/m^2) = chlorophyll (g/m^2) + NPV (g/m^2) \quad (1)$$

$$FPAR_{canopy} = FPAR_{chi} + FPAR_{NPV} \quad (2)$$



La photosynthèse de la plante démarre avec une absorption légère de la chlorophylle foliaire. Le PAR absorbé par la chlorophylle (produit de  $F_{PAR_{chl}} \times PAR$ ) est responsable de la photosynthèse ou de la production primaire brute (GPP). Sur base de la partition conceptuelle de la chlorophylle et de la NPV au sein du feuillage et de la canopée, le modèle VPM a été développé pour estimer la production primaire brute pendant la période photosynthétiquement active de végétation (Xiao *et al.*, 2004b). Le modèle est brièvement décrit comme suit:

$$GPP = \epsilon_g \times F_{PAR_{chl}} \times PAR \quad (3)$$

Dans la première version du modèle,  $F_{PAR_{chl}}$  est, au sein de la période photosynthétique de végétation, estimé comme une fonction linéaire de l'Indice amélioré de végétation et le coefficient a été fixé à 1,0 (Xiao *et al.*, 2004a; Xiao *et al.*, 2004b):

$$F_{PAR_{chl}} = a \times EVI \quad (4)$$

L'efficacité de l'utilisation de la lumière ( $\epsilon_g$ ) est affecté par la température, l'eau et la phénologie foliaire:

$$\epsilon_g = \epsilon_0 \times T_{scalar} \times W_{scalar} \times P_{scalar} \quad (5)$$

où  $\epsilon_0$  est le rendement quantique apparent ou l'efficacité maximale lumineuse, et ( $\mu\text{mol CO}_2/\mu\text{mol PPFD}$ ),<sup>17</sup> et  $T_{scalar}$ ,  $W_{scalar}$  et  $P_{scalar}$  sont respectivement les scalaires pour les effets de la température, de l'eau et de la phénologie foliaire sur l'efficacité de la lumière sur la végétation. La description complète du MPV est fournie ailleurs (Xiao *et al.*, 2004c; Xiao *et al.*, 2005a).

Le MPV a été évalué sur plusieurs types majeurs de biomasse, dont la forêt pluviale (Xiao *et al.*, 2005b), la forêt décidue à feuilles larges (Xiao *et al.*, 2004b; Wu *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2010), forêt pérenne à aiguilles (Xiao *et al.*, 2004a; Xiao *et al.*, 2005a), la toundra alpine (Li *et al.*, 2007b), les herbages (Wu *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2010b), le blé d'hiver, et les champs de maïs (Yan *et al.*, 2009). Le modèle MPV a également été testé pour l'estimation de la production primaire brute sur le Plateau Tibétain (Li *et al.*, 2007b) et les résultats ont démontré que les résultats prédits concordaient raisonnablement bien avec les productions estimées à partir des trois tours de flux tourbillonnaire de  $\text{CO}_2$  dans les prairies alpines, les terres humides alpines, et les herbages alpins. Ces résultats démontrent le potentiel des modèles MPV piloté par satellite pour échelonner la production primaire brute des écosystèmes d'herbages alpins.

### 13.2.2 Images satellite et données climatiques pour simulation du modèle MPV

Le modèle MPV utilise l'EVI et le LSWI (Land Surface Water Index), provenant de l'imagerie fournie par des récepteurs optiques tels que MODIS à bord des Satellites Terra et Aqua. Les produits MOD09A1 MODIS sont téléchargés à partir du centre d'USGS EDC data centre,<sup>18</sup> qui comporte des valeurs de réflectance des bandes 1-7 à une résolution de 500m et de 8 jours.

<sup>17</sup> Densité de flux de photons photosynthétiques.

<sup>18</sup> Centre d'observation de Sciences des Ressources Terrestres (EROS).

Le modèle MPV intègre aussi la température de l'air et PAR comme intrants. La température de l'air provient du Centre Chinois de Partage de Données Météorologiques. La température journalière de l'air a été combinée dans une moyenne sur 8 jours et interpolée pour produire des couvertures de données encastrées dans un quadrillage. PAR a été fourni à partir des données de réflectance en ultraviolet du spectromètre pour cartographie de l'ozone total en format point. Le PAR a été calculé en employant les méthodes de Eck et Dye (1991) et Li *et al.* (2007A); ensuite, les données point sont interpolées dans les quadrillages.

### 13.2.3 OBSERVATIONS *IN SITU* À PARTIR DES TOURS DE FLUX CO<sub>2</sub> POUR L'ÉVALUATION DU MODÈLE MPV

Trois tours de flux CO<sub>2</sub> sont accessibles à Maqu, Haibei et Damxung sur le Plateau Tibétain, elles collectent respectivement les données pour les prairies alpines, et les prairies en steppes/alpines. Chacune de ces trois tours de flux (Tableau 13.1) fournit des données d'observation pour calibration des paramètres dans les modèles et calibration.

Le site de mesure de flux est localisé dans le comté de Maqu dans la Province de Gansu en Chine (37°52.77' N, 102°09.27'E), sur la paroi orientale protubérante du Plateau Tibétain. Dans cette région, on note la présence de nombreux écosystèmes différents. Le climat typique des régions alpines, est froid et humide. La température moyenne annuelle est de 1,1 °C. Il n'y a que 19 jours par an sans gelée. Les précipitations annuelles moyennes s'élèvent à 560 mm. La végétation typique est la prairie alpine, dominée par des espèces graminéennes. Le type des sols principaux sont des sols de prairie alpine et des sols marécageux.

Le site d'observation des flux d'Haibei est situé à la Station Expérimentale des Ecosystèmes des prairies alpines (37°29' ~ 37°45'N, 101°12' ~ 101°23'E), dans la partie Nord-Est du Plateau Qinghai-Tibétain. L'altitude varie de 3 200 m à 3 600 m. Le climat est hautement continental et a été qualifié de "plateau continental". La température annuelle tourne autour de -1.7 °C. Les précipitations annuelles avoisinent les 600 mm avec un maximum en été. La végétation est typique de la végétation alpine du Nord, la partie septentrionale du Plateau. Les sols principaux sont les sols de prairie alpine, les sols de prairie alpine broussailleuse et les sols marécageux.

Le site de mesure des flux de Damxung est localisé au Nord de la municipalité de Lhassa et près de la paroi Sud des Monts Nyainqntaglha (91°05'E, 30°2 5'N) à une altitude de 4 333 m. Il est caractérisé par un climat de mousson de plateau avec une radiation forte, une température de l'air basse, une grande variation diurne et de petites différences annuelles. La température moyenne annuelle est de 1,3 °C et des précipitations de 476,8 mm. L'évaporation est de 1 725,7 mm et le coefficient d'hygrométrie moyenne de 0,28. La végétation est de type prairie et steppe alpines, avec des prairies à *Kobresia* typiques de la partie des prairies Nord du Plateau Tibétain, avec deux variétés: La prairie est marécageuse dominée par *Kobresia littledalei*, associée à *Blysmus sinocompressu*, *K. microglochin* et *K. littledalei*. L'autre est dominée par *K. parva*, avec des espèces sous-dominantes comme *K. Humifis* et *Stipa purpurea* et des touffes de *Kobresia* ainsi que des forbs.

TABLEAU 13.1  
Les trois sites de tours des flux de CO<sub>2</sub> sur le Plateau Tibétain

Nom de la station	Localisation	Types d'écosystèmes	Manager
Maqu	102,15°E 37,88°N	Prairie Alpine	Shihua Lv
Haibei	101,33°E 37,66°N	Prairie Alpine	Xinquan Zhao
Damxung	91,08°E 30,41°N	Steppe-prairie Alpine	Peili Shi

### 13.2.4 Production primaire nette des herbages

En contrôlant l'isotope C<sup>13</sup> et les effets du CO<sub>2</sub> en doublon sur la photosynthèse du tournesol, Cheng *et al.* (2000) ont découvert que le ratio entre la productivité primaire nette et la productivité primaire brute était constant. Nous supposons ici que la respiration de la plante est proportionnelle à la productivité primaire brute, et, dès lors, la production primaire nette se calcule comme:  $NPP = GPP \times \alpha$ .

## 13.3 BIOMASSE HORS SOL DES HERBAGES

Sur le Plateau Tibétain, les herbages sont dominés par la steppe et la prairie alpine, qui recouvrent plus de 60% de la superficie. La biomasse totale hors sol des herbages alpins a été estimée approximativement à 77,6 Tg (1 Tg = 1012 g), représentent environ un quart des réserves totales de biomasse hors sol des herbages de la Chine (298.0-323.1 Tg) (Ni, 2004; Yang *et al.*, 2009b).

### 13.3.1 Estimation de la biomasse hors sol par télédétection

Il n'y a eu qu'un nombre limité d'études sur les herbages du plateau. La plupart d'entre elles se sont focalisées sur la productivité primaire nette et peu se sont intéressées spécifiquement à la biomasse hors sol ou au fourrage estimé (Piao and Fang, 2002; Zhou *et al.*, 2004; Chen, 2009). Au cours des récentes années, suite à des investissements gouvernementaux, certaines régions, comme celle des Sources des Trois Rivières, ont suscité plus d'attention, ce qui a résulté en la collecte de plus de données sur la biomasse hors sol et les aliments pour animaux dans les herbages.

La biomasse hors sol est souvent estimée par des modèles de régression basés sur les corrélations entre la biomasse hors sol et l'Index de végétation. Les corrélations entre les mesures *in situ* de la biomasse hors sol, diverses bandes spectrales et les index de végétation ont été établies en utilisant des méthodes statistiques (Friedl *et al.*, 1994; Ikeda *et al.*, 1999; Hirata, 2000; Weiss *et al.*, 2001; Schino *et al.*, 2003; Benie *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2008). De simples modèles de régression de la forme générale ci-dessous ont été largement utilisés:

$$\text{Biomasse hors sol} = f(VI) \quad (6)$$

Une étude récente a évalué six modèles statistiques pour estimer la biomasse hors sol en utilisant *in situ* des données de biomasse de la Province du Sud Gansu dans le Nord Est

du Plateau (LIANG *et al.*, 2009): un modèle linéaire, un modèle exponentiel, un modèle de croissance, un modèle logarithmique, un modèle de puissance et un modèle polynomial. Les résultats ont démontré que le modèle de puissance se présente comme le plus précis pour cette estimation, et que EVI est plus performant que IDNV. Le modèle de régression le mieux adapté est:  $AGB (kg/ha) = 13583 \times EVI^{1.665}$ , où AGB est la biomasse hors sol, EVI est la valeur de MODIS-EVI.

Une autre étude a évalué huit indices de végétation pour estimer la biomasse hors sol (Shen *et al.*, 2008), et les résultats ont démontré qu'ils présentaient tous la même aptitude à procurer une bonne estimation. L'indice de végétation basé sur le modèle universel de décomposition le meilleur outil de prédiction de la biomasse hors sol parmi les modèles de régression simple. De plus, le VIUPD et l'indice ajusté de végétation peuvent tous deux procurer des estimations de la biomasse hors sol avec des variables factices indiquées dans les modèles de régression.

Une étude récente a rapporté des données *in situ* sur la biomasse hors sol de provenance de 675 parcelles réparties sur 135 sites (i.e. cinq parcelles/sites et saison) mesurées sur le Plateau Tibétain; un modèle de régression simple entre la biomasse hors sol et la saison de croissance EVI pendant la période de juillet et août de 2001 à 2004 (Yang *et al.*, 2009a; Yang *et al.*, 2009b) a été développé (voir équation 7). Cette étude recherchait la répartition entre les biomasses hors sol et souterraine dans les herbages alpins et leurs relations avec des facteurs environnementaux en utilisant des données de terrain, et ont prouvé que les valeurs moyennes du ratio entre les biomasses souterraine et hors sol est de 5,8 sur le Plateau Tibétain. Le ratio, était significativement plus élevé dans les herbages tempérés que dans les herbages alpins (Wang *et al.*, 2010a).

$$AGB = 334,39 \times EVI + 10,051 \quad (7)$$

Ici nous utilisons le modèle de régression simple de Yang *et al.* (2009a,b) pour l'estimation de biomasse hors sol. L'EVI est calculée comme suit:

$$EVI = G \times (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + (C1 \times \rho_{red} - C2 \times \rho_{blue}) + L) \quad (8)$$

Où  $G = 2.5$ ,  $C1 = 6$ ,  $C2 = 7.5$  et  $L = 1$ ;  $\rho_{nir}$ ,  $\rho_{red}$  et  $\rho_{blue}$  est la réflectance des bandes bleue, rouge et proche de l'infrarouge.

### 13.3.2 Données *in situ* de biomasse hors sol pour calibration et validation

Une série de parcelles aux alentours des trois tours de flux (voir section 13.2.3) doivent être échantillonnées annuellement afin de procurer des données de validation. La méthode coupe/pesée est une méthode très fastidieuse, mais aussi la plus précise pour la biomasse hors sol (matière sèche). Primo, des localisations de parcelles sont sélectionnées; d'habitude, cinq parcelles seront coupées pour un échantillon, mais plus de parcelles seront nécessaires si les pâtures sont spatialement variables. Secundo, les herbes au-dessus de la surface du sol sont coupées sur une aire donnée (d'habitude un mètre ou un pied carrés) et récoltés dans un sac de papier. Tertio, les échantillons sont séchés au four et pesés pour le calcul de la matière sèche de la biomasse.

### 13.4 BIOMASSE FOURRAGÈRE DES HERBAGES

La disponibilité fourragère concerne en priorité les fermiers. Le rendement fourrager fait partie de la biomasse hors sol pour l'alimentation du bétail. Habituellement, les rendements en fourrage se basent sur l'hypothèse que le pâturage s'inscrit dans le champ de l'autorégulation de l'écosystème, ce qui signifie que la pâture est complètement utilisée sans dégradation de l'herbage. Le ratio fourrage/biomasse est un paramètre clé pour l'estimation fourragère. Cependant, peu d'études antérieures font référence à ce paramètre. Dès lors, une enquête doit être menée pour calculer la fonction des aliments pour le bétail dans la biomasse hors sol.

$$\text{Fourrage} = \text{AGB} \times \text{Ratio} \quad (9)$$

En accord avec l'équation ci-dessus, le ratio est la clé pour estimer la quantité de fourrage. Le rendement en fourrage est affecté par plusieurs facteurs, tels le type d'herbage, la période d'utilisation, le type d'utilisation, la situation de dégradation et les désastres. Ces facteurs sont répertoriés dans le Tableau 13.2 (Liu, 2005).

Ainsi, le ratio fourrage/biomasse hors sol peut être calculé en utilisant l'équation suivante:

$$\text{Fourrage} = \text{AGB} \times f(x1) \times f(x2) \times f(x3) \times f(x4) \times f(x5) \quad (10)$$

Où  $\text{AGB}$ ,  $x1$ ,  $x2$ ,  $x3$ ,  $x4$ , et  $x5$  représentent respectivement la biomasse hors sol, le type d'herbage, la période d'utilisation, le type d'utilisation, la situation de dégradation et de désastre.

### 13.5 RÉSUMÉ

Dans ce rapport, a été décrit un cadre simple et basique pour un système inventaire des aliments pour animaux sur le Plateau Tibétain qui intègre télédétection et observations *in situ*. Le principal workflow comprend:

1. Calcul de la PPB et de la PPN à l'échelon régional, en utilisant un modèle VPM basé sur satellite, des données climatiques et MODIS à 50 m de résolution spatiale.
2. Estimation de la biomasse hors sol à l'échelle régionale en utilisant des algorithmes ou par analyse statistique de données d'enquêtes de terrain; de plus, il est possible de calculer la biomasse souterraine en accord avec les données de la production primaire nette et de la biomasse hors sol.
3. Calcul de la disponibilité fourragère pour l'alimentation des animaux à partir de la biomasse hors sol en accord avec les études antérieures ou les résultats liés au travail de terrain sur le Plateau.

Il est tout à fait réalisable d'utiliser une telle méthodologie de télédétection pour mettre à jour un inventaire de aliments pour animaux de manière régulière.

### 13.6 REMERCIEMENTS

La revue de littérature et la Rédaction de ce document ont été supportées par des Bourses de Recherche (NSF) EPSCoR programme (NSF-0919466) and the US National Aeronautics and Space Administration (NASA) Land Cover and Land Use Change Program (NNG-05GH80G).

TABLEAU 13.2

## Facteur de classement et leurs valeurs pour l'estimation fourragère sur le Plateau Tibétain

Types herbages	Steppe Alpine	Prairie alpine		
	0,48*	0,58*		
Période d'utilisation	Saison croît	Période de fanage	Eviter période de pâture	
	1,0	1,2	0	
Type d'utilisation	Pâturer	Moisson		
	1,0	1,4		
Dégradation herbage	Non	Léger	Moyenne	Sévère
	1,00	0,85	0,7	0,55
Désastres	Non	Léger	Moyenne	Sévère
	1,00	0,85	0,70	0,55

\* Les valeurs ont été révisées à partir de l'étude précédente (Liu, 2005).

### 13.7 REFERENCES

- Benie, G.B., Kabore, S.S., Goita, K. & Courel, M.F.** 2005. Remote sensing-based spatio-temporal modelling to predict biomass in Sahelian grazing ecosystem. *Ecol. Model.*, 184: 341–354.
- Chen, Z.** 2009. *Analysis of the grassland productivity and stocking stress in Tibet Plateau.* Institute of Geographic Sciences and Natural Resource Research. Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.
- Cheng, S. & Shen, L.** 2000. Approach to dynamic relationship between population, resources, environment and development of the Qinghai-Tibet Plateau. *J. Nat. Res.*, 15: 297–304.
- Cheng, W., Sims, D.A., Luo, Y., Coleman, J.S. & Johnson, D.W.** 2000. Photosynthesis, respiration, and net primary production of sunflower stands in ambient and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations: an invariant NPP:GPP ratio? *Global Change Biol.*, 6: 931–941.
- Eck, T.F. & Dye, D.G.** 1991. Satellite estimation of incident photosynthetically active radiation using ultraviolet reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 38: 135–146.
- Fan, J., Shao, Q., Liu, J., Wang, J. & Chen, Z.** 2010. Dynamic changes of grassland yield in Three River Headwater Region from 1988 to 2005. *Acta Agrestia Sinica*, 18: 5–10.
- Friedl, M.A., Michaelsen, J., Davis, F.W., Walker, H., & Schimel, D.S.** 1994. Estimating grassland biomass and leaf-area index using ground and satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, 15: 1401–1420.
- Hirata, M.** 2000. Effects of nitrogen fertiliser rate and cutting height on leaf appearance and extension in bahia grass (*Paspalum notatum*) swards. *Trop. Grassl.*, 34: 7–13.
- Ikeda, H., Okamoto, K. & Fukuhara, M.** 1999. Estimation of aboveground grassland phytomass with a growth model using Landsat TM and climate data. *Int. J. Remote Sens.*, 20: 2283–2294.

- Li, S.H., Yan, H.M., Niu, Z., Xu, W.B. & Yuan, J.O.** 2007a. Satellite estimation of photosynthetically active radiation in Jiangxi province - art. no. 67902D. In Y. Wang, J. Li, B. Lei & J. Yang, eds. Remote sensing and GIS data processing and applications; and Innovative multispectral technology and applications, Pts 1 and 2, pp. D7902–D7902.
- Li, Z.Q., Yu, G.R., Xiao, X.M., Li, Y.N., Zhao, X.Q., Ren, C.Y., Zhang, L.M., & Fu, Y.L.** 2007b. Modelling gross primary production of alpine ecosystems in the Tibetan Plateau using MODIS images and climate data. *Remote Sens. Environ.*, 107: 510–519.
- Liang T., Cui, X., Feng, Q., Wang, Y. & Xia, W.** 2009. Remotely sensed dynamics monitoring of grassland aboveground biomass and carrying capacity during 2001–2008 in Gannan pastoral area. *Acta Pratacul. Sinica*, 18: 12–22.
- Liu, J.Y., Xu, X.L. & Shao, Q.Q.** 2008. Grassland degradation in the “Three-River Headwaters” region, Qinghai Province. *J. Geograph. Sci.*, 18: 259–273.
- Liu, Y.** 2005. *Rangeland productivity and forage-ruminant equilibrium in Inner Mongolia*. Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.
- Ni, J.** 2004. Forage yield-based carbon storage in grasslands of China. *Clim. Change*, 67: 237–246.
- Piao, S. & Fang, J.** 2002. Terrestrial net primary production and its spatio-temporal patterns in Qinghai-Xizang Plateau, China during 1982–1999. *J. Nat. Resour.*, 17: 373–380.
- Schino, G., Borfecchia, F., De Cecco, L., Dibari, C., Iannetta, M., Martini, S. & Pedrotti, F.** 2003. Satellite estimate of grass biomass in a mountainous range in central Italy. *Agroforest. Syst.*, 59: 157–162.
- Shen, M., Tang, Y., Klein, J., Zhang, P., Gu, S., Shimono, A. & Chen, J.** 2008. Estimation of aboveground biomass using *in situ* hyperspectral measurements in five major grassland ecosystems on the Tibetan Plateau. *J. Plant Ecol.*, 1: 247–257.
- Wang, L.A., Niu, K.C., Yang, Y.H. & Zhou, P.** 2010a. Patterns of above- and belowground biomass allocation in China's grasslands: Evidence from individual-level observations. *Sci. China Life Sci.*, 53: 851–857.
- Wang, Z., Xiao, X.M. & Yan, X.D.** 2010b. Modelling gross primary production of maize cropland and degraded grassland in northeastern China. *Agric. Forest Meteorol.*, 150: 1160–1167.
- Weiss, E., Marsh, S.E. & Pfirman, E.S.** 2001. Application of NOAA-AVHRR NDVI time-series data to assess changes in Saudi Arabia's rangelands. *Int. J. Remote Sens.*, 22: 1005–1027.
- Wu, C.Y., Munger, J.W., Niu, Z. & Kuang, D.** 2010. Comparison of multiple models for estimating gross primary production using MODIS and eddy covariance data in Harvard Forest. *Remote Sens. Environ.*, 114: 2925–2939.
- Wu, J.B., Xiao, X.M., Guan, D.X., Shi, T.T., Jin, C.J. & Han, S.J.** 2009. Estimation of the gross primary production of an old-growth temperate mixed forest using eddy covariance and remote sensing. *Int. J. Remote Sens.*, 30: 463–479.
- Wu, W.X., Wang, S.Q., Xiao, X.M., Yu, G.R., Fu, Y.L. & Hao, Y.B.** 2008. Modelling gross primary production of a temperate grassland ecosystem in Inner Mongolia, China, using MODIS imagery and climate data. *Sci. China Series D-Earth Sci.*, 51: 1501–1512.
- Xiao, X., Hollinger, D., Aber, J.D., Goltz, M., Davidson, E.A. & Zhang, Q.Y.** 2004a. Satellite-based modelling of gross primary production in an evergreen needleleaf forest. *Remote Sens. Environ.*, 89: 519–534.



- Xiao, X., Zhang, Q., Braswell, B., Urbanski, S., Boles, S., Wofsy, S.C., Moore, B.I. & Ojima, D.** 2004b. Modelling gross primary production of a deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. *Remote Sens. Environ.*, 91: 256–270.
- Xiao, X.M., Hollinger, D., Aber, J., Goltz, M., Davidson, E.A., Zhang, Q.Y. & Moore, B.** 2004c. Satellite-based modelling of gross primary production in an evergreen needleleaf forest. *Remote Sens. Environ.*, 89: 519–534.
- Xiao, X.M., Zhang, Q.Y., Hollinger, D., Aber, J. & Moore, B.** 2005a. Modelling gross primary production of an evergreen needleleaf forest using modis and climate data. *Ecol. Appl.*, 15: 954–969.
- Xiao, X.M., Zhang, Q.Y., Saleska, S., Hutyrá, L., De Camargo, P., Wofsy, S., Frohling, S., Boles, S., Keller, M. & Moore, B.** 2005b. Satellite-based modelling of gross primary production in a seasonally moist tropical evergreen forest. *Remote Sens. Environ.*, 94: 105–122.
- Xu, B., Yang, X.C., Tao, W.G., Qin, Z.H., Liu, H.Q., Miao, J.M. & Bi, Y.Y.** 2008. MODIS-based remote-sensing monitoring of grass production in China. *Int. J. Remote Sens.*, 29: 5313–5327.
- Yan, H.M., Fu, Y.L., Xiao, X.M., Huang, H.Q., He, H.L. & Ediger, L.** 2009. Modelling gross primary productivity for winter wheat-maize double cropping System using MODIS time series and CO<sub>2</sub> eddy flux tower data. *Agric. Ecosys. Environ.*, 129: 391–400.
- Yang, Y.H., Fang, J.Y., Ji, C.J. & Han, W.X.** 2009a. Above- and belowground biomass allocation in Tibetan grasslands. *J. Veg. Sci.*, 20: 177–184.
- Yang, Y.H., Fang, J.Y., Pan, Y.D. & Ji, C.J.** 2009b. Aboveground biomass in Tibetan grasslands. *J. Arid Environ.*, 73: 91–95.
- Zhang, Q.Y., Xiao, X.M., Braswell, B., Linder, E., Baret, F. & Moore, B.** 2005. Estimating light absorption by chlorophyll, leaf and canopy in a deciduous broadleaf forest using MODIS data and a radiative transfer model. *Remote Sens. Environ.*, 99: 357–371.
- Zhang, Q.Y., Xiao, X.M., Braswell, B., Linder, E., Ollinger, S., Smith, M.L., Jenkins, J.P., Baret, F., Richardson, A.D., Moore, B. & Minocha, R.** 2006. Characterization of seasonal variation of forest canopy in a temperate deciduous broadleaf forest, using daily MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 105, 189–203.
- Zhou, C., Ouyang, H., Wang, Q., Dubian, Z. & Sun, Q.** 2004. Estimation of net primary productivity in Tibetan Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 59: 74–79.



# 14. Le développement des bilans en aliments pour animaux

*Dr B R Cottrill*

ADAS UK Ltd, ADAS, Wolverhampton, UK

Email: Bruce.Cottrill@adas.co.uk

## 14.1 INTRODUCTION

D'après les prévisions, la population mondiale va s'accroître de 2,3 milliards dans les 20 prochaines années, ce qui va s'accompagner d'une demande accrue en produits animaux, à savoir; lait, viande et œufs. Une approche structurée de planification pour cet accroissement sera nécessaire pour y répondre de manière rentable, avec un minimum de perturbation sociale et d'impact sur l'environnement. Une partie de ce processus requiert une évaluation des aliments pour animaux disponibles et des besoins de la population animale actuelle; ceci peut être réalisé par le développement des bilans d'aliments pour animaux. Ceci effectué, il est alors possible d'identifier des limites aux niveaux actuels de production et d'estimer les besoins en aliments pour animaux pour, un accroissement de la production. Un bilan d'aliments pour animaux peut être entrepris aux niveaux local, régional ou national, suivant les besoins politiques et les degrés de précision nécessaire.

A son niveau le plus simple, un bilan de aliments pour animaux représente une comparaison entre les besoins du bétail quel que soit le moment (demande) et la quantité de nourriture utilisable (fourniture), qui ainsi, procure un "instantané" de la situation donnée. Cependant, un bilan d'aliments pour animaux permet également d'identifier ses déficits potentiels pour subvenir à la demande croissante en aliments destinés à l'homme, et à reconnaître les types d'aliments pour animaux nécessaires lors de disettes. Alternativement, lorsque survient un surplus en aliments pour animaux, le bilan peut être utilisé à estimer la production additionnelle de bétail potentielle.

Cette approche peut également être entreprise pour développer des bilans pour des nutriments spécifiques. Par exemple, le phosphore (P) est un nutriment essentiel souvent déficient dans les ratios animal, ce qui provoque une réduction de la productivité et de la fertilité. Un bilan du phosphore pour une région ou un pays particulier peut aider à savoir où et quand un tel déficit peut survenir et où et combien d'apports supplémentaires en P sont requis pour satisfaire les besoins animaux et les cibles de productivité.

Les bilans en aliments pour animaux sont habituellement calculés sur une base annuelle et, étant donné que beaucoup de cultures destinées aux animaux, tels que les grains céréaliers, ont un cycle annuel avec une récolte, cela semble approprié. Cependant, il n'y a pas de raison pour qu'un bilan ne soit pas effectué sur une période plus courte et il peut même y avoir un avantage dans certaines circonstances. Par exemple, si pendant l'année, il existe des périodes où le pâturage naturel disponible pour les herbivores, n'a qu'un rendement faible, il peut être approprié de préparer un bilan en aliments pour animaux pour

ces périodes afin d'établir la capacité maximale de charge en bétail d'une région lorsque les aliments pour animaux sont limités. Cependant, comme les cycles de production de nombreux systèmes animaux ne coïncident pas avec l'année calendaire, il convient d'ajuster le bilan afin de prendre en compte la durée d'un cycle particulier. Par exemple, le cycle de croissance et d'engraissement porcin, du sevrage à l'abattage, peut se réduire à 20-24 semaines en élevage intensif, mais cette période est suivie d'un délai servant à nettoyer et maintenir le local vide d'engraissement avant le démarrage d'une nouvelle phase alimentaire. Si le bilan en aliments pour animaux est préparé sur une base annuelle, il sera nécessaire d'inclure à la fois la durée du cycle de production et la période non productive pour le calcul annuel des besoins en aliments pour animaux et la production annuelle.

## 14.2 MÉTHODES

Afin de produire un bilan en aliments pour animaux, deux ensembles de données et un certain nombre de processus doivent être complétés; ils sont décrits ci-dessous.

### 14.2.1 Estimation des apports en aliments pour animaux

Les estimations en apports d'aliments pour animaux seront basées sur les inventaires locaux, régionaux ou nationaux. Des progrès considérables ont été réalisés dans le développement des techniques pour l'estimation des aliments pour animaux disponibles, et pour certains fourrages. Les mérites ou limitations de celles-ci ne sont pas discutés ici, mais en fonction des spécifications de l'inventaire et de la façon dont les fourrages disponibles sont quantifiés, il peut être nécessaire d'effectuer des ajustements pour la saisonnalité des apports, les pertes de aliments pour animaux:

- Saisonnalité des apports
- Pertes en aliments pour animaux

*Saisonnalité des apports:* Pour beaucoup d'animaux, la disponibilité en aliments pour animaux peut être raisonnablement constante toute l'année durant. Tel est le cas des aliments pour animaux, comme les grains céréaliers et les fourrages conservés, où ils peuvent se stocker sans détérioration de qualité. Cependant, dans beaucoup de régions, une proportion significative de bétail, particulièrement les ruminants, est gardée dans des systèmes fermiers extensifs, dont la principale ou seule alimentation pour animaux est le pâturage naturel. Les changements saisonniers du climat et les étapes de la croissance végétale aboutissent à un cycle *annuel* de production fourragère qui atteint un pic pendant la saison humide et est sévèrement limité pendant les périodes sèches. Comme résultat, il existe des périodes de l'année où le bétail en pâture est souvent dans l'incapacité de satisfaire ses besoins nutritionnels, d'où des taux faibles de croît et de reproduction. Il est donc important que lorsque des inventaires sont dressés annuellement, ils soient ajustés afin de prendre en compte les pics et les creux dans les apports en relation avec les effectifs de bétail et leurs taux de prélèvement. A moins, que les surplus ne soient conservés, e.a- sous forme de foin ou d'ensilage pour les fourrages, une défaillance dans cette approche peut conduire en une prévision exagérée des aliments pour animaux disponibles.

*Pertes en aliments pour animaux:* En dépit des meilleures pratiques d'élevage et de gestion alimentaire, des pertes peuvent survenir; elles sont habituellement associées à la récolte et au stockage et peuvent être considérables en certaines circonstances. Certaines sont iné-

vitables, par exemple, lorsqu'elles sont associées à la conservation (comme le foin ou l'ensilage), où 30% ou plus de la matière sèche peut disparaître par pertes sur le terrain, dans la conservation et au moment de l'alimentation. De pauvres conditions de stockage peuvent, pour les grains, les noix, et autres cultures, résulter en pertes dues à des infestations et des contaminations fongiques. Elles ne se manifestent pas seulement en pertes directes de matières sèches, mais aussi en risques pathologiques ou en production de toxines. Une nouvelle fois, une défaillance dans l'ajustement de l'inventaire pour ces pertes peut conduire à une surestimation des aliments pour animaux disponibles. Complémentairement aux fourrages, le bétail peut être nourri avec un large éventail d'aliments pour animaux.

Elles peuvent inclure les grains, les produits associés provenant de leurs transformations, les graines oléagineuses et les farines qui en dérivent, les sous-produits de brasserie et de distillerie, les semences de légumineuses, les sous-produits manufacturés des aliments destinés à l'homme et les produits animaux, tels la farine de poisson et les protéines animales transformées, appelés collectivement sous le terme "concentrés". De plus, les tubercules et plantes racinaires comme le manioc, ainsi que les sous-produits de leurs transformations, comme la pulpe de betterave sucrière sont fréquemment d'importantes ressources. L'information sur les quantités incorporées dans les aliments pour animaux peuvent s'obtenir des nombreuses sources qui comprennent les statistiques d'importation, les enregistrements de production à partir industriels et commerciaux de l'industrie alimentaire animale.

Comme pour les fourrages, certaines pertes sont inévitables, suite aux transports, au traitement et au stockage, et il demeure important d'inclure leur estimation dans le calcul de tout bilan en aliments pour animaux.

### **14.2.2 Quantification des effectifs animaux et caractéristiques de production**

Pour estimer la demande en aliments pour animaux, il convient de connaître au préalable la hauteur des effectifs animaux dans la région ou le pays. Lorsque des statistiques sont disponibles, elles seront utilisées à cet effet. Cependant, dans certaines situations, des données fiables peuvent ne pas être disponibles, auquel cas les estimations seront obtenues en se basant sur la connaissance locale des systèmes de production.

Plusieurs bilans d'aliments pour animaux et de nutriments se basent sur les données de recensement, qui procurent une image des effectifs de bétail à un moment donné. Cependant, le nombre d'animaux au sein d'une région peut considérablement fluctuer au cours d'une année et il en résulte que l'utilisation des données obtenues à un moment précis peut conduire à des erreurs lorsqu'elle est appliquée à une année entière. Lorsque tel est le cas, des ajustements d'estimations du nombre d'animaux doivent être apportés, en se basant de nouveau sur les connaissances locales. Additionnellement aux données sur les effectifs, une estimation de la productivité est nécessaire afin de calculer les besoins en énergie pour l'entretien, la gestation, et la production. Pour le bétail en croissance et à l'engraissement (bovins, ovins, caprins, porcins et volailles de chair, poulets, canards), ceci demande des estimations du gain quotidien moyen.

De plus, des données sont nécessaires sur les produits animaux (œufs, lait, fibres ou laine), tandis que pour les animaux de reproduction, des données sur les performances de portée sont également requis.

En résumé, les données de production doivent montrer:

- La vie productive des animaux adultes;
- Les effectifs animaux en début et en fin de la période du bilan en aliments pour animaux (habituellement début et fin de l'année);
- La production du troupeau mesurée en:
  - rythme du velage, agnelage, chevrolage, poulinage
  - longueur de lactation
  - production laitière
  - gain en poids vif
  - détail des produits animaux: lait, viande, œufs, laine;
- ajustements nécessaires à prendre en compte en cas de conditions climatiques extrêmes ou d'activité physique.

Pour la plupart des bilans en aliments pour animaux, il est suffisant de produire des estimations de gain en poids vif ou de poids de produits animaux. Lorsque les données disponibles démontrent que la composition du lait varie significativement par rapport à la moyenne de la race, il faudra alors fournir des informations sur celle-ci, principalement sur le contenu en graisse et protéines, car les besoins en énergie peuvent considérablement varier en fonction de celui-ci. Si des bilans détaillés des nutriments sont effectués, par exemple pour calculer l'équilibre azoté, alors des données sur les produits animaux et le gain en poids vif seront nécessaires à cet effet. Dans la plupart des cas, la composition du gain et des produits animaux suffira.

### 14.2.3 Estimation des besoins en alimentation animale

Les matériaux constitutifs des aliments pour animaux varient significativement dans leur concentration en nutriments et leur contribution à satisfaire les besoins du bétail. L'énergie représente habituellement le premier composant limitant dans les rations animales et c'est pour cette raison que les bilans de aliments pour animaux sont normalement calculés sous forme d'énergie nécessaire pour et d'énergie fournie au bétail: dès lors, l'étape suivante est l'estimation requise identifiée au paragraphe précédent.

Pour chaque classe animale, il est nécessaire de calculer les besoins en énergie pour:

- l'entretien;
- la gestation;
- la production (e.a. rendement en lait, gain de poids vis, nombre d'œufs); et
- dans certaines situations, il faudra procéder à des ajustements pour l'exercice et des conditions extrêmes de climat (chaud ou froid).

Il n'existe pas d'unité énergétique acceptée internationalement, et différents systèmes ont été développés pour les différentes classes de bétail. Pour les ruminants, l'énergie métabolisable est largement utilisée, tandis que l'énergie nette (EN), exprimée en MJ ou Mcal, est appliquée au Danemark, France, Allemagne, Irlande, Pays-Bas, Amérique du Nord et du Sud, et Suisse. En principe, il n'existe pas de différence entre les systèmes EM et EN, qui, tous deux, stipulent que les besoins totaux d'énergie représentent la somme des besoins pour l'entretien, la production (lait et gain de poids vif) et la croissance fœtale. Elles diffèrent cependant sur la manière dont l'efficacité énergétique est incorporée dans le calcul. Dans le système EM, l'efficacité énergétique est utilisée pour la formation des rations et la

prévision des performances animales, tandis que dans le système EN, l'efficacité énergétique est impliquée dans l'évaluation des aliments pour animaux.

Pour les porcs et la volaille, l'énergie digestive, métabolisable et nette ont toutes été proposées et appliquées dans différents pays. Les mérites de chaque système ont été longuement débattus, mais, en pratique, les différences pour l'estimation des besoins totaux énergétiques sont relativement ténues.

Ce n'est pas l'objet de ce chapitre de revoir ces différents systèmes ni de porter des jugements sur leurs mérites respectifs. Ce qui est important est que le système sélectionné soit apte, d'une part, à estimer les besoins de production du bétail dans la région/pays concerné, et d'autre part à procurer des tables de composition alimentaire appropriées aux aliments pour animaux disponible dans la région/pays en question. Il est également important que ce système choisi soit celui qui soit familier pour l'utilisateur et avec lequel il se sente compétent pour travailler.

Des systèmes fournissent à la fois les besoins en nutriments du bétail et la composition nutritionnelle des aliments pour animaux ont été publiés par nombre d'autorités nationales et certaines de celles-ci sont reprises en fin de ce chapitre. Par ailleurs, de nombreuses compagnies impliquées dans l'élevage fournissent les besoins en nutriments pour des souches ou races particulières.

En utilisant les données sur les effectifs d'animaux simultanément avec l'information sur les taux de reproduction et de productivité, tels que le nombre d'œufs produits, de porcs vendus ou de quantité de lait produit, les besoins en énergie peuvent être calculés.

Ceci peut être effectué sur une base quotidienne et arrondi à une estimation annuelle. Alternativement, là où les données de production sont disponibles pour une région ou un pays, il est possible de calculer les besoins en énergie sur une base annuelle.

Ceci peut être réalisé pour un troupeau individuel, ou sur une base régionale ou nationale, suivant l'échelle du bilan énergétique, les besoins en précision et les données disponibles. Des références ont été fournies sur les publications procurant les besoins en énergie du bétail et il est fortement recommandé de les utiliser. Cependant, lorsque c'est possible, les valeurs indicatives suivantes peuvent être appliquées dans la production de bilans détaillés en aliments pour animaux:

### **Porcs**

Énergie requise pour	25 kg	22 MJ ME/jour
différents poids vifs <sup>1</sup> :	60 kg	34 MJ ME/jour
	90 kg	40 MJ ME/jour
Pour la gestation:		3,280 MJ ME per sow (total)
Pour la lactation:		2,565 total <sup>2</sup> per litter (total)

### **Volaille**

Poule pondeuse: 52 sem. de ponte, 340 œufs:	430 MJ ME/oiseau
0–17 sem. (poulette)	72 MJ ME/oiseau
Poulets de chair to 6 semaines (LW ♀2.3 kg, ♂2.7kg):	54 MJ ME/oiseau

#### **Notes:**

<sup>1</sup> Extrait de NRC (1998), Besoins nutritifs du porc.

<sup>2</sup> Suppose un âge de sevrage de 40 jours.

**Ruminants**

	Ovins	Caprins	Bovins	
	MJ ME/kg LW/year			
Energie requise pour entretien	Poids vif LW (kg)			
	30	66	77	
	40	65	71	
	50	58	68	
	60	55	65	
	70		63	
	100		63	
	200		51	
	300		45	
	400		41	
			39	
Énergie requise pour gain	< 3 mois			
	> 3 mois			
	< 6 mois	26 – 34	26 – 36	
	> 6 mois	41 – 49	37 – 49	
	< 1 an			19 – 26
			32 – 42	
Energie requise pour gestation	1 480 MJ ME par brebis (total) <sup>3</sup>	2,150 MJ ME par chèvre (total) <sup>4</sup>	14 420 MJ ME par vache (total) <sup>5</sup>	
Energie requise pour lactation	2 160 MJ ME total <sup>6</sup>	5,1 MJ ME/litre	5,3 MJ ME/litre <sup>7</sup>	

**Notes:**

<sup>3</sup> Supposer 60 kg brebis avec jumeaux.

<sup>4</sup> Supposer dam chèvre avec jumeaux (total poids naissance 7,9 kg).

<sup>5</sup> EM poue entretien et gestation d'une vache de 600kg en stabulation non lactante avec un 6 QM de 0,5 kg en addition à un foetus pour un veau de 40 kg.

<sup>6</sup> Lactation 3 mois; 4,7 MJ/litre.

<sup>7</sup> Lait standard à 4% M.G et 3% protéine.

**14.2.4 Estimation de l'énergie fournie par l'alimentation animale disponible**

Les étapes précédentes ont permis d'estimer en besoins d'énergie d'un troupeau dans une ferme ou sur une base régionale ou nationale. Toutefois, du fait que la plupart des inventaires en aliments pour animaux décrivent des quantités de aliments pour animaux disponibles en termes de matière sèche (M.S.),<sup>19</sup> il convient de convertir ces données en termes d'énergie, à savoir, M.J., E.M. ou E.N. pour les ruminants, ou E.M. et E.D. pour les porcs ou la volaille. De nouveau, ceci devra être exprimé sur la base de M.S. Les tables de composition alimentaire et de valeur nutritionnelle sont largement disponibles et doivent être utilisées pour calculer les quantités d'énergie fournie par les aliments pour animaux.

Cependant, l'ingestion de aliments pour animaux n'est pas illimitée, et afin d'obtenir une estimation précise de la contribution que les aliments pour animaux peuvent apporter pour satisfaire les besoins nutritionnels du bétail, il s'avère nécessaire d'inclure un ajustement pour prendre en compte les variations de prélèvement.

<sup>19</sup> Poids des aliments pour animaux après extraction de l'humidité.



Malgré les recherches considérables menées pour identifier les facteurs déterminant les quantités que va consommer un animal, les experts ne sont pas d'accord sur les mécanismes contrôlant l'ingestion. Il est clair, cependant qu'une large gamme de caractéristiques: animal, aliments pour animaux et gestion, influencent le prélèvement, parmi lesquels:

- race ou souche de l'animal/oiseau;
- âge/poids;
- équilibre nutritionnel de la ration;
- accessibilité aux aliments pour animaux;
- état de santé et de bien-être;
- température ambiante; et
- niveau de production.

Dans tous les systèmes animaux, le prélèvement optimal d'aliments pour animaux va dépendre des objectifs commerciaux de l'entreprise dans les limites du potentiel maximum d'ingestion de l'animal ou de l'oiseau.

Lorsque l'accès aux aliments pour animaux est aisé, la santé et le bien-être optimaux, porcs et volaille vont consommer 4 à 4,5% de leurs poids corporel en M.S. à l'état jeune, ensuite 3% chez les animaux adultes.

Chez les ruminants, le maximum ingéré de M.S. avoisine également les 4% de poids corporel chez les jeunes, et descend à 2 – 2,5% chez les adultes. Cependant, lorsque le fourrage représente la principale ou seule source d'aliments pour animaux, le prélèvement *volontaire* sera influencé significativement par la digestibilité des aliments pour animaux. Une faible digestibilité entraîne une progression ralentie à travers le tractus digestif, de sorte qu'une faible digestibilité se traduit par une ingestion plus basse.

Afin de dresser un bilan en aliments pour animaux, il est nécessaire d'avoir une estimation d'aliments pour animaux consommés, et de l'énergie ainsi fournie. Cependant, prévoir l'ingestion fourragère par les ruminants s'est révélé particulièrement problématique. Nombre de théories et d'équations ont été proposées à cet effet, plusieurs d'entre elles basées sur la digestibilité du fourrage, la part des aliments complémentaires, e.a. les concentrés, et le niveau de production. Alors qu'elles peuvent être appropriées pour beaucoup de situations, une approche alternative doit s'appliquer pour un bilan en aliments pour animaux, sous forme d'un calcul de bilan inversé. Suivant cette approche, l'énergie requise pour un niveau donné de production – taux de croissance, rendement laitier, taux de vêlage, etc ... - est calculé. Il est ensuite divisé par la concentration en énergie du fourrage, après avoir soustrait toute énergie provenant des aliments pour animaux complémentaires. L'exemple suivant illustre le cas d'une vache en lactation:

- Énergie nécessaire pour l'entretien et la production = 190 MJ EM/jour
- EM provenant d'aliment concentré 1,8 kg MS à 12,5 MJ/kg de MS = 22,5 MJ EM/jour
- Énergie fourragers = 190-22,5 = 167,5 MJ/jour
- Contenu EM fourrage = 10,5 MJ EM/kg MS
- Ingestion M.S. fourrage = 167,5/10,5 = 15,9 kg MS/jour

Dans cet exemple, l'ingestion en MS prévue est de 15,9 kg de MS/jour, mais, comme discuté antérieurement, il convient de prendre en compte les pertes, et, donc, l'estimation devra être accrue afin de s'ajuster pour satisfaire le niveau de production.

Cette approche peut être utilisée pour calculer le prélèvement sur une base quotidienne pour un individu, comme illustré ci-dessus mais elle peut aussi s'appliquer à un troupeau ou sur une base mensuelle ou annuelle. Le choix va dépendre de la qualité des données disponibles et du degré de précision requis, quoiqu'il sera noté qu'une estimation annuelle puisse conduire à des conclusions trompeuses lorsque se rencontrent de larges variations saisonnières dans les quantités de fourrage disponible. Cette approche peut également être appliquée pour dresser des estimations de fourrage consommé à l'échelle régionale ou nationale, lorsque des données sur la production totale de lait ou de viande sont disponibles et le nombre de portées connu. Cette approche est particulièrement appropriée pour des catégories uniformes de bétail comme des vaches ou des chèvres laitières.

### 14.2.5 Rapprochements

Après avoir établi les quantités d'aliments pour animaux et d'aliments disponibles, un surplus ou un déficit peut être calculé. Un surplus peut suggérer un potentiel pour une production supplémentaire de bétail, quoiqu'il soit important de préciser quand et où apparaît ce surplus. Un surplus de courte durée annuelle ou dans une région non adaptée à la production animale peut ne pas être complètement utilisable à moins que le bétail ne puisse être déplacé dans cette région. Alternativement, il peut être possible de conserver le fourrage sous forme de foin ou d'ensilage et l'utiliser comme supplément herbagé lorsque la croissance est lente. Un déficit, peut, lui, être corrigé en augmentant la production culturale ou améliorer l'efficacité de la conservation de surplus de fourrage par l'acquisition d'aliment ou une réduction des effectifs animaux. Les déficits en aliments pour animaux peuvent être corrigés par leur importation. Cependant, celle-ci n'est pas sans conséquence pour l'environnement. Quoique des accroissements d'importations permettent d'introduire plus d'animaux, ces derniers vont accroître la pression sur les pâtures et le parcours. L'augmentation d'importations d'aliments pour animaux va également résulter en davantage de déchets animaux et de nutriments associés qui doivent être gérés en conséquence.

Comme dans le cas de l'Inde, des bilans d'alimentation animale informatisés peuvent dévoiler des déficits croissants, malgré la contrévidence que la productivité du bétail ait augmenté (voir Chapitre 9). De telles divergences peuvent indiquer une confiance accrue dans les ressources alimentaires importantes mais ignorées ou surestimées dans les inventaires de aliments pour animaux. Les exemples peuvent comporter les résidus de cultures, les sous-produits industriels, la végétation de bords de route, les feuilles d'arbre tombées, les cosses tombées ou gaulées à partir des arbres, les branches d'arbres coupées et d'autres ressources peu quantifiées mais progressivement importantes dans des situations de déficit résultant de hautes densités de bétail, d'utilisation intensive des sols, de sécheresses ou de conditions hivernales sévères.

Quoiqu'un bilan en aliments pour animaux puisse être évalué à un niveau national, une plus grande précision sera obtenue aux niveaux local ou régional avec des résultats consolidés. Du fait de la différence d'aliments pour animaux entre les ruminants et les non ruminants, il est recommandé que des rapprochements soient effectués séparément pour chaque espèce avant de produire un bilan d'aliments pour animaux national.

### 14.3 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ce qui suit est une liste de publications nationales fournissant des données sur les besoins en nutriments et la composition alimentaire des aliments pour le bétail. Par ailleurs, les compagnies impliquées dans l'élevage publient fréquemment des tables sur les besoins en nutriments pour des races et des souches particulières d'animaux.

**AFRC.** 1993. *Energy and protein requirements of ruminants*. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK

**ARC.** 1980. *The nutrient requirements of ruminant livestock*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK.

**CSIRO.** 2007. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

**INRA.** 1978. *Alimentation des ruminants* (Ed. R Jarrige). INRA Publications, Versailles, France.

**NRC.** 1985. *Nutrient requirements of sheep* (6th edition). National Research Council. National Academy Press, Washington, DC, USA.

**NRC.** 1998. *Nutrient requirements of swine* (10<sup>th</sup> Revised edition). National Research Council. National Academy Press: Washington, DC, USA.

**NRC.** 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th Revised edition). National Research Council. National Academy Press: Washington, DC, USA.

**NRC.** 2006. *Nutrient requirements of small ruminants*. National Research Council National Academy Press, Washington, DC, USA.



# 15. L'utilisation de la simulation par modélisation des écosystèmes pour évaluer les disponibilités en aliments pour les grands herbivores des territoires hétérogènes

*Michael Coughenour*

Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA

Email: mikec@nrel.colostate.edu

## 15.1 INTRODUCTION

On peut soutenir que le problème d'évaluer la disponibilité en aliments pour animaux pour le bétail sur des herbages spatialement extensifs soit, par essence, le même qu'évaluer la capacité de charge de grands herbivores sur des territoires hétérogènes. L'objectif primordial est le même, à savoir, dans les deux cas, de déterminer combien d'animaux peuvent être maintenus selon l'accessibilité à l'eau et au fourrage. A son tour, ceci va préciser la quantité de production secondaire procurée aux humains par le bétail. La modélisation des écosystèmes a été utilisée pour l'évaluation des capacités de charge et peut, vraisemblablement jouer le même rôle pour évaluer les ressources en aliments pour animaux.

Plusieurs définitions existent pour définir la capacité de charge; l'une d'entre elles est que, à la capacité de charge correcte, les herbivores ne diminuent pas la capacité des sols, de la végétation et de la faune à fonctionner ensemble comme un écosystème. Ainsi définie, la capacité de charge apparaît comme un concept simple. Cependant, la tâche de définir en général ce qu'est exactement la capacité de charge, et de s'accorder sur une méthode pour calculer sa valeur n'est pas aisée. Les définitions divergent suivant les objectifs de gestion, par exemple pour une productivité maximale, pour des processus naturels, ou pour les nombreuses utilisations de parcours, souvent conflictuelles. Des défis plus fondamentaux surgissent à cause de la difficulté à calculer la disponibilité en fourrage au sein d'environnements temporellement variables et spatialement hétérogènes. Quoique les données de télédétection et des GIS ont permis les évaluations de la productivité végétale totale à travers le temps et l'espace, des complications additionnelles concernent les conséquences de cette productivité pour les herbivores. De plus, les herbivores affectent de nombreux processus des écosystèmes à travers des effets dynamiques et interactifs sur la croissance végétale, sur la compétition entre plantes, le recyclage des nutriments, la décomposition de la matière organique, les flux de l'eau à travers le sol et les végétaux, la compéti-

tion ou la complémentarité avec d'autres herbivores, et la prédation. Ces effets provoquent un retour sur les plantes et les herbivores suivant le niveau d'organisation de l'écosystème. En conséquence, une approche écosystème s'avère nécessaire pour évaluer les effets des herbivores dans le contexte de territoires dynamiques et spatialement hétérogènes.

Des défis substantiels doivent être surmontés pour évaluer la disponibilité en aliments pour animaux sur des herbages et des parcours spatialement extensifs. Il est difficile d'estimer celle-ci en additionnant simplement la biomasse végétale totale, encore moins la matière verte totale ou même la production primaire hors sol. Le premier défi est représenté par la variabilité temporelle. La disponibilité de la biomasse fluctue saisonnièrement, suivant les précipitations et la couverture neigeuse. Il en résulte que les herbivores peuvent être fortement limités par les durées de faibles disponibilités de la biomasse. La qualité du fourrage varie également selon la saison. Quoique la plante verte puisse constituer un bon fourrage, elle peut être peu nutritive ou inconsommable à l'état sénescant. Secondo, la qualité du fourrage varie selon les espèces. Certaines sont chimiquement ou physiquement protégées ou sont évitées par les herbivores pour d'autres raisons. Tertio, la fraction de biomasse totale ou la production primaire accessible ou utilisable par les herbivores varie dans l'espace. La biomasse végétale peut être indisponible par manque d'eau de boisson à proximité, couverture neigeuse, inaccessibilité topographique, compétition avec la faune sauvage, et des barrières telles que les clôtures. Il résulte de ces contraintes temporelles et spatiales que les densités de bétail sont souvent considérablement plus faibles que celles prévues en fonction de la biomasse végétale totale. Au Nord du Kenya par exemple, moins de 10% du fourrage a été consommé par le bétail pastoral, lorsque le fourrage représentait par lui-même un facteur limitant pour les densités du bétail (Coughenour *et al.*, 1985).

Les effectifs herbivores sont souvent limités par la quantité de fourrage disponible en une partie limitée du territoire pendant les saisons sèches et les hivers. Dans beaucoup de systèmes herbagers pastoraux, il existe des réserves herbacées de saison sèche; il s'agit souvent de zones moins appréciées durant la saison de croissance pour l'une ou l'autre raison, telles que des températures trop élevées à des altitudes trop basses, des distances trop longues pour l'abreuvement ou une topographie difficile. Au Nord-Kenya, par exemple, les populations animales ont été limitées à s'affourager dans des endroits peu utilisés pendant la saison humide (Swift *et al.*, 1996), ce qui explique pourquoi une faible fraction de fourrage du système total a été consommée et que les effectifs herbivores étaient plus faibles que prévus, étant donné l'abondance apparente en fourrage pendant la saison humide (Coughenour *et al.*, 1985; Ellis and Swift, 1988). Ce type de zones restreintes ont été qualifiées de "zone clé de ressources" (KRAs) (Ilius and O'Conner, 1999, 2000).

La modélisation des écosystèmes est une approche performante pour l'évaluation des herbivores en leur sein, à la fois en accord avec leurs réponses au fourrage et autres ressources et à leurs impacts sur la végétation et autres composantes sur l'écosystème. Plusieurs caractéristiques de cette approche rendent ceci possible. Primo, de tels modèles représentent les processus et les résultats de ceux-ci, relatifs aux flux de biomasse de nutriments, d'eau et d'énergie entre les sols, décomposeurs, plantes, herbivores et l'atmosphère. Ces flux incluent ceux qui déterminent la production fourragère et l'utilisation de fourrage par les herbivores. Secondo, de tels modèles sont dynamiques. Ils représentent d'importantes variations en temps, entre saisons et entre années, conduites par des fluctuations au sein de variables

dirigées temporellement, comme le climat. Les variances entre saisons sèches et humides, et saisons chaude et froide, affectent toutes la disponibilité fourragère pour les herbivores. Les données et les fréquences de disettes nutritionnelles sont des déterminants critiques pour les productions nettes des herbivores. Tertio, il est possible pour de tels modèles de représenter l'hétérogénéité spatiale. Les distributions spatiales de fourrage et d'eau conditionnent leur disponibilité dans la mesure où ces distributions de bétail dans le temps et l'espace doivent se croiser avec ces deux ressources critiques. Quarto, les modèles peuvent être employés pour évaluer la gamme de produit potentiels pour les herbivores, en fonction des possibilités de variations de climat et de gestion. Plutôt qu'un nombre simplifié d'apport en fourrage, une gamme de produits peut être anticipée. Quinto, les questions de durabilité peuvent être posées au niveau de l'écosystème. Ceci implique une viabilité du système entier de production alimentaire, y compris les services de l'écosystème et la biodiversité.

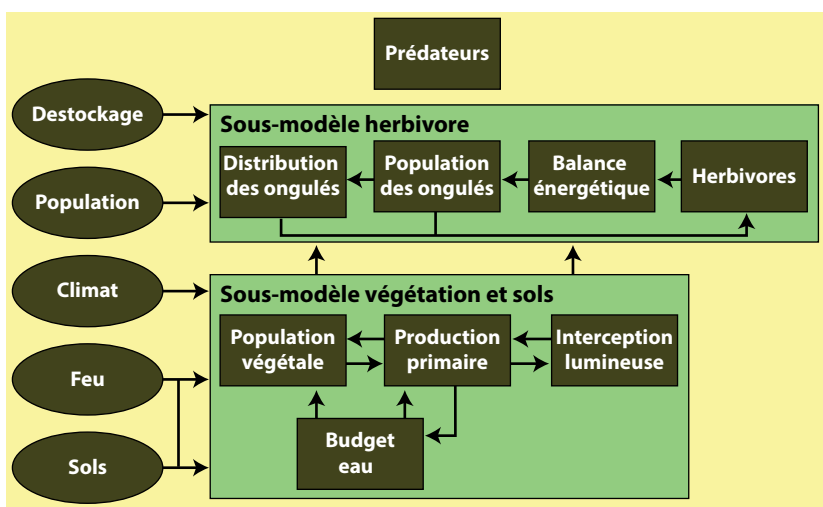
L'objectif est ici d'illustrer l'approche par modélisation d'un écosystème en décrivant l'application d'un tel modèle pour évaluer un écosystème maintenant une population de grands herbivores dans l'Ouest de l'Amérique du Nord. Une brève étude de cas sur l'application du modèle pour une population de chevaux sauvages du "Pryor Mountain" (Coughenour, 1999) démontre le potentiel de la modélisation de l'écosystème pour évaluer les disponibilités en aliments pour animaux dans des pâturages extensifs et des parcours caractérisés par une variabilité dans le temps et une hétérogénéité dans l'espace.

## 15.2 LE MODELE D'ÉCOSYSTÈME

SAVANNA est un modèle spatialement explicite, méthodologique, multispécifique pour écosystèmes d'herbages, steppes arbustives, savanes et forêts. Il a été d'abord développé pour représenter un écosystème pastoral spatialement extensif au Nord-Kenya (Coughenour, 1992). Depuis lors, le modèle a été appliqué à une large variation d'écosystèmes (e.a. Boone *et al.*, 2002, 2004, 2005; Boone, 2005; Christensen *et al.* (2003; Coughenour, 1999, 2002, 2005; Kiker, 1998; Leidloff *et al.*, 2001; Ludwig *et al.*, 2001; Weisberg *et al.*, 2002, 2006). SAVANNA procède d'une approche de modélisation intégrée, accordant une attention égale aux animaux, aux végétaux, et à leur interaction. La structure d'ensemble est présentée dans la Figure 15.1 (Weisberg *et al.*, 2003). Détails et applications du modèle peuvent être retrouvés à [www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/](http://www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/).

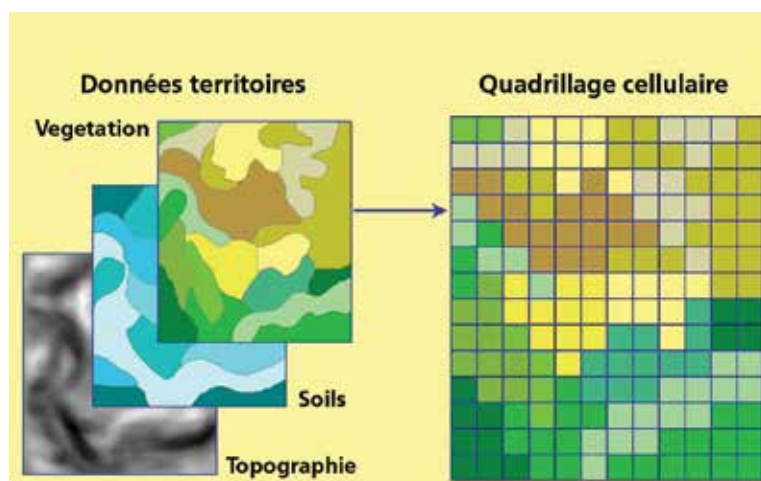
La structure spatiale consiste en une mosaïque de cellules quadrillées qui recouvre des territoires ou des écosystèmes à l'échelle régionale (Figure 15.2). Les intrants spatiaux primaires comportent des strates GIS représentant: 1) le temps; 2) la topographie; 3) les types de végétation et leurs attributs; 4) la biomasse herbacée; 5) la couverture ligneuse et ses dimensions; 6) les types de sol et leurs attributs; 7) des cartes de parcours pour herbivores, 8) les distances d'accès à l'eau; 8) les feux. Animaux, eau et feux peuvent, dans les modèles "se déplacer" à travers le territoire. Afin d'effectuer les simulations dans un laps de temps raisonnable sur les ordinateurs de la station de travail, le nombre total de cellules quadrillées est limité entre 10 000 et 100 000. Ainsi, lorsque des zones d'études plus étendues sont simulées, le nombre de cellules doit être plus élevé. Le modèle tourne sur un rythme hebdomadaire, ce qu'est suffisant pour capter les dynamiques intra-annuelles et saisonnières, mais beaucoup moins astreignante qu'à un rythme quotidien. Le modèle fonctionne normalement pour une durée de 10 à 100 ans.

FIGURE 15.1  
Structure du modèle SAVANNA



Source: R. Boone (graphics)

FIGURE 15.2  
SAVANNA structure spatiale



Source: R. Boone (graphics)

Les données météo mensuelles ou hebdomadaires provenant de toutes les stations de la région d'études sont transférées dans le modèle. Celui-ci informatise les cartes de précipitations et de température à partir du point de récolte de données lorsqu'il fonctionne, en utilisant une insertion spatiale corrigée pour l'altitude. Un modèle pour le bilan de l'eau simule l'humidité du sol pour trois strates.



Le sous-modèle de site pour le bilan de l'eau simule la dynamique de l'humidité du sol et son utilisation sur chaque type de pièce sur chaque cellule quadrillée. Pour chaque type de sol, une carte est utilisée, conjointement avec les propriétés du terrain, afin de déterminer les capacités de rétention d'eau pour chaque sous-région. L'eau est acheminée vers trois strates en utilisant une approche simple de "seau basculant" qui draine l'eau excédant la capacité du terrain vers des strates plus profondes. Le bilan de l'eau inclut des durées pour les précipitations, l'interception, le trop plein, le fonctionnement, l'infiltration, le drainage profond, l'évaporation des sols dénudés, et la transpiration. La transpiration est le produit de la conductance des stomates, de la surface foliaire, de l'humidité et de la radiation.

Le contenu de l'eau de la neige est simulé par l'ajout au paquet de neige lorsque les précipitations s'accompagnent de températures en dessous de zéro et par la fonte du paquet de neige en fonction de la température et de la radiation solaire. La profondeur de neige est dérivée de son contenu d'eau. L'accroissement de la profondeur de neige diminue le taux d'ingestion de fourrage des herbivores. Du fait que les précipitations et la température varient avec le lieu et la température, la profondeur de neige fait de même.

Normalement 3 à 10 groupes fonctionnels sont simulés, là où ces groupes sont définies en termes de forme végétale (herbe, arbuste, arbre), longévité foliaire (pérenne, caduque) et appétibilité. La biomasse végétale, la composition du groupe fonctionnel, et la couverture ligneuse sont initialisées sur base d'une carte de la végétation et un tableau correspondant de recherche reliant le type de végétation à ses attributs.

Le sous-modèle de production nette primaire (PPN) simule les flux et la dynamique de la biomasse végétale. La photosynthèse est modélisée comme une fonction de la lumière, de la température, de l'humidité du sol et du contenu en azote de la plante. La respiration est partagée en composantes croissance et entretien. La PPN herbacée est assignée aux feuilles, tiges et racines. Les plantes ligneuses répartissent la PPN aux feuilles, branches fines, branches grossières, racines fines et racines grossières. Les besoins en eau sont dérivés du calcul de la transpiration. Les besoins en azote sont calculés sur base de la concentration du sol en azote inorganique. L'eau des racines et les absorptions d'azote pour satisfaire la demande sont répartis entre les strates du sol proportionnellement aux produits des ressources disponibles et de la biomasse racinaire dans chaque strate. Les prévisions de la dynamique et de la production primaire de la biomasse végétale ont été comparées favorablement avec les données disponibles dans chaque application de SAVANNA. Dans la plupart des cas, les données disponibles incluent un pic de biomasse sur plus de 3-5 ans (e.a. Coughenour, 2005). Idéalement, des données de dynamique intrasaisonnière de biomasse vivante et morte sont utilisées (e.a. Coughenour, 1999).

Le modèle de population végétale ligneuse simule l'installation de la plante, ses dimensions, et sa mortalité pour six classes d'âge de tiges hors sol. Les dimensions de tiges dans chaque classe d'âge sont déterminées par les circonstances du croît, incluant l'exposition au feu et aux herbivores. La répartition de la PPN dans les plantes ligneuses est liée à la taille à travers des relations allométriques. Le modèle représente la morphométrie (dimensions et biomasse) de la plante ligneuse pour six classes végétales. Elle comprend les dimensions pour le diamètre de la couronne, le diamètre de la tige, la hauteur et la zone racinaire ou la densité de biomasse racinaire par mètre carré de sol. Les valeurs de biomasse sont spé-

cifiées pour les feuilles, les branches fines, les branches grossières, les racines grossières et les racines fines pour chacune des six classes.

Un sous-modèle de décomposition et de recyclage de l'azote, base sur CENTURY<sup>20</sup> (Parton *et al.*, 1987, 1998), simule la dégradation de la litière et la formation et le retour de la matière organique du sol (SOM). Les taux de décomposition et de minéralisation sont affectés par la température et l'humidité du sol. Le modèle de décomposition CENTURY est plutôt général et a été validé globalement pour différents environnements. Les valeurs de carbone et d'azote du sol ont été initialisées par des types de sol sur la carte de saisie.

Les modèles pour herbivores simulent des espèces animales multiples ou des groupes fonctionnels. Chaque espèce ou groupe est modélisé séparément avec des paramètres séparés décrivant les dimensions corporelles, les besoins en énergie, l'affouragement, la démographie, etc. Le prélèvement fourrager est prévu comme une fonction des dimensions corporelles, de la biomasse fourragère (réponse fonctionnelle) et la qualité de fourrage (due aux taux décroissant de passage des ruminants lorsque la qualité est faible). Les dimensions corporelles et les effets de la physiologie digestive sur les taux de prélèvement et sur la qualité du fourrage sont explicitement inclus. Un sous-modèle de situation de la ration répartit les herbivores parmi les types et les tissus végétaux sur base de poids diététiques préférentiels.

Le bilan énergétique de l'animal est le résultat simulé de l'ingestion et des dépenses énergétiques. Un indice de condition animale est produit à partir des gains et des pertes de poids vif. L'ingestion d'énergie dépend du prélèvement de la biomasse fourragère et du contenu énergétique du fourrage. Les besoins en énergie peuvent être exprimés en termes d'énergie digeste (ED), énergie métabolisable (EM), ou d'énergie nette (EN). La fraction du contenu d'énergie brute du fourrage qui n'est pas digérée est excrétée par les fèces. L'ED représente l'énergie réellement digérée.

Des quantités digérées, une partie est perdue dans les urines et, chez les ruminants, une autre dans les gaz de fermentation (méthane) produits par les microbes du rumen. L'énergie restante et l'énergie métabolisable, utilisée pour l'entretien, le gain de poids, la gestation et la lactation. Des dépenses complémentaires peuvent également être considérées pour les déplacements et autres activités.

Les herbivores sont répartis dynamiquement dans l'espace, suivant un modèle d'indice d'adaptabilité dynamique de l'habitat (IAH), qui à son tour est informatisé à partir du taux potentiel d'ingestion énergétique, de la biomasse fourragère verte, de la topographie de la couverture ligneuse et de la distance à l'eau. La formulation de l'IAH peut heuristiquement être basée sur les préférences connues de l'habitat et la régression logistique. Récemment, la pondération de distance Mahalanobis<sup>21</sup> a été utilisée (de Knegt *et al.*, 2010). Les migrations saisonnières sont modélisées en désignant les variétés saisonnières et en effectuant des déplacements en fonction de ces variations dépendant des conditions relatives d'habitat.

<sup>20</sup> Le modèle CENTURY est un modèle général de recyclage de nutriments entre la plante et le sol, utilisé pour simuler la dynamique du carbone et autres nutriments pour différents types d'écosystèmes, comprenant les herbages, les terrains agricoles, les forêts et les savanes.

<sup>21</sup> La pondération de distance Mahalanobis est une méthode qui mesure l'adaptabilité relative d'un habitat, compte tenu de la connaissance des préférences d'une espèce pour plusieurs habitats différents.

## 15.3 ÉTUDE DE CAS

### 15.3.1 Région d'étude

Le ranch pour chevaux sauvages du Pryor Mountain est situé sur la frontière entre le Montana et le Wyoming, à l'Est du Parc National de Yellowstone. Son territoire est topographiquement varié, avec une altitude de 1200 m à 2400 m. Il résulte de ce gradient que les conditions climatiques diffèrent sensiblement quant à la température, les précipitations et les conditions neigeuses. Un historique géologique complexe et actif a créé une large diversité de substrats, comprenant des roches calcaires, des grès, des tourbes, des schistes et des roches granitiques. La végétation est variée (Figure 15.3), d'abord à cause des gradients différenciés d'altitude et des conditions climatiques associées, mais aussi à cause de la grande variété des sols, de substrats et des modèles de redistribution de l'eau sur le territoire. Un désert arbustif occupe les zones les plus basses (<1200 m); entre 1200m et 1600 m, la steppe d'armoise domine, des steppes à genévriers et des terrains arborés à acajous de montagne occupant les sols très superficiels entre 1100 m et 1550 m, et, aux hautes altitudes, au-dessus de 1600m prédominent les forêts de conifères. Un recensement initial effectué en 1970 antérieur à tout retrait totalisait 270 chevaux. Cet effectif se réduisit à 100-120 dans les années 70-80 jusqu'à présent. Il partage les parcours avec le mouflon d'Amérique et le cerf hémione. Ce qui pose des problèmes de compétition pour le fourrage.

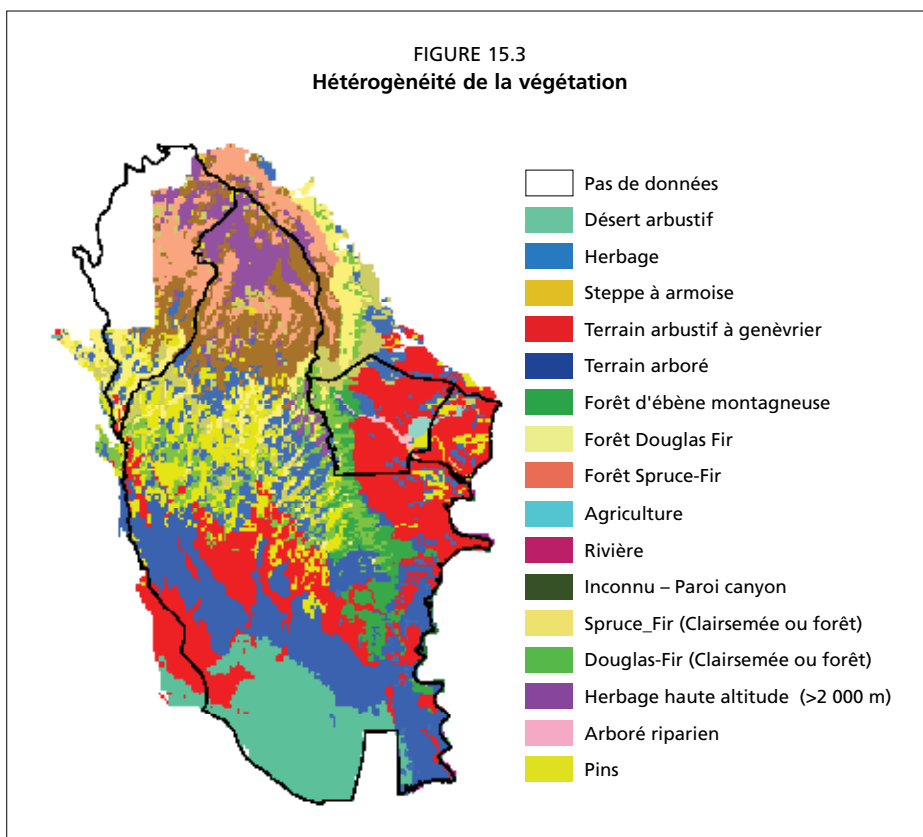
### 15.3.2 Mise en œuvre du modèle

Le modèle a été paramétré et des ensembles de données à introduire ont été développés pour le site d'étude. L'objectif était d'utiliser le modèle pour simuler des scénarios historiques et actuels de végétation et de conduite des herbivores. Le modèle devait servir à estimer les effets des herbivores sur la végétation et les sols, ainsi que les réponses de la population herbivore à des politiques alternatives de conduite.

Six groupements fonctionnels végétaux ont été simulés: graminées, arbustes, acajou de montagne (*Cercocarpus*), genévrier, et conifères. Ces groupes ont été choisis pour répondre aux objectifs de cette analyse par modélisation sans rendre le modèle trop complexée.

Trois troupeaux de chevaux ont été modélisés et confinés au sein de variations saisonnières observées. Les déplacements saisonniers ont été modélisés en tant que réponses dynamiques aux changements de conditions fourragères et de neige, avec une aversion saisonnière pour les basses altitudes en été. La compatibilité de l'habitat a augmenté avec la biomasse fourragère et le taux d'ingestion de l'énergie du fourrage. Les chevaux étaient supposés préférer les zones de topographie modérée. L'eau a été une contrainte majeure pour la répartition des chevaux pendant le printemps, l'été et l'automne, tandis que pendant l'hiver, la présence de neige a permis aux animaux d'utiliser virtuellement l'ensemble des parcours. Le modèle a été paramétré de telle sorte qu'il apparaissait une nette préférence pour un accès à l'eau inférieur à 1,5 km de distance, et déclinant avec des distances plus élevées, de sorte qu'au-delà de 6 km, l'eau a été considérée comme inutilisable.

Le mouflon a été gardé dans les limites de variations saisonnières d'observation et redistribué au sein de ces variations en relation avec la biomasse fourragère le taux d'ingestion de l'énergie fourragère et la topographie (terrain d'échappatoire). Le cerf hémione a été présent pendant l'hiver avec accès à l'ensemble du territoire; il a évité les pentes escarpées.

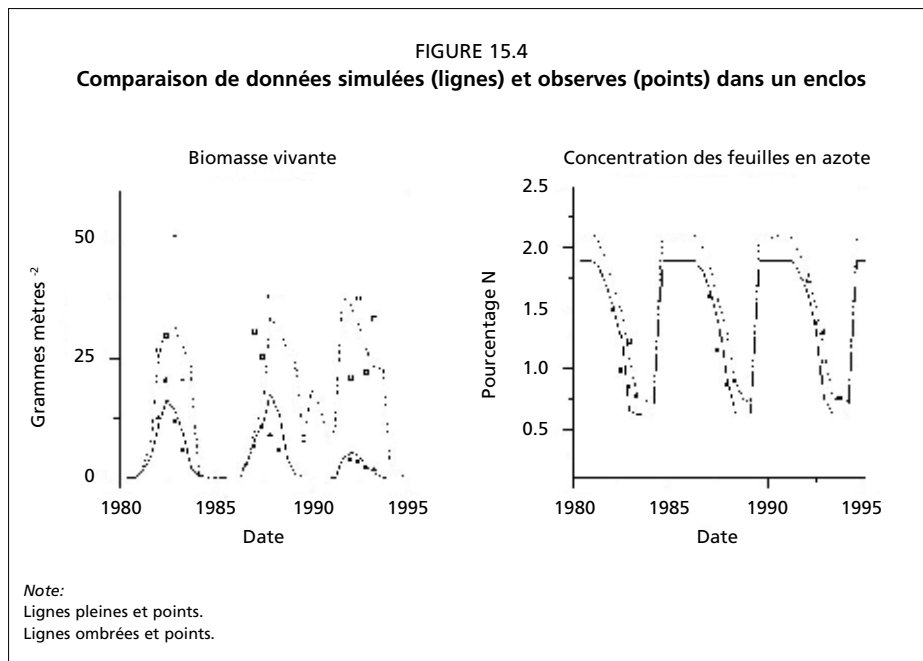


La capacité du modèle à prévoir la biomasse herbacée et la dynamique de l'azote foliaire a été testée à travers des comparaisons de résultats simulés avec des données de terrain pour le dynamisme de la biomasse végétale (Detling *et al.*, 1996). De manière optimale, un modèle dynamique comme celui-ci qui vise à simuler une dynamique saisonnière, est testée vis-à-vis de données démontrant une telle dynamique. De plus, pour évaluer la productivité totale et les impacts du pâturage sur la végétation, des enclos interdits au pâturage doivent être installés; les données ont été prises à l'intérieur et à l'extérieur de chaque enclos. Des pousses d'herbe et de légumineuses ont été mesurées, simultanément aux concentrations foliaires d'azote. Un exemple de comparaison de données simulées et observées dans un enclos est présenté dans la Figure 15.4.

### 15.3.3 Exemple de résultat

L'objectif principal est d'illustrer les types de résultats procurés par ce type de modèle. Il est nécessaire d'examiner les résultats graphiques qui révèlent à la fois la dynamique temporelle et l'hétérogénéité spatiale afin de démontrer la capacité d'aborder les défis majeurs pour évaluer la disponibilité en aliments pour animaux dans les herbages et parcours spatialement extensifs.

Concernant les variations temporelles, la Figure 15.5 présente la dynamique de la biomasse herbacée au cours des trois décennies. Les importantes caractéristiques à noter sont



les magnitudes de fluctuations entre les saisons et entre les années, qui représentent des facteurs déterminants de la disponibilité en aliments pour animaux. La Figure 15.6 présente les réponses temporelles du taux d'ingestion de fourrage à la disponibilité en aliments pour animaux, lorsqu'elle est affectée par la biomasse, la couche de neige et la localisation des animaux. La Figure 15.7 montre et illustre les dynamiques résultant sur la condition animale en réponses aux fluctuations de la disponibilité un fourrage et les taux d'ingestion. Respectivement à l'hétérogénéité spatiale, la Figure 15.8 illustre les prévisions de modèle sur la distribution de la biomasse potentielle de fourrage à travers le territoire, en termes de production primaire nette annuelle (PPNA). La Figure 15.9 illustre la distribution spatiale prévue des chevaux tout au long de l'année. La Figure 15.10 enfin illustre les résultats combinés des distributions animales et de la croissance végétale avec le pourcentage de prélèvement résultant.

## 15.4 CONCLUSIONS

L'application d'un modèle d'écosystème spatialement explicite à un territoire d'Amérique du Nord occupé par des herbivores élevés en plein air illustre à la fois les défis d'évaluer la disponibilité en aliments pour animaux dans des herbages et parcours spatialement extensifs, et le potentiel de l'approche de modélisation de l'écosystème pour relever ces défis. Le modèle a été appliqué ailleurs à des situations similaires.

La disponibilité en aliments pour animaux a, été évaluée, avant tout, en prédisant la production végétale et la dynamique de la biomasse base sur le climat, les propriétés du sol, ainsi que la composition et la couverture de la végétation. La croissance végétale a été étroitement liée avec l'équilibre en eau du sol, ce qu'est particulièrement important dans les herbages et parcours limités en eau. Les fluctuations saisonnières et interannuelles en

FIGURE 15.5  
Variations temporelles en biomasse des graminées et légumineuses

Graminées, légumineuses ciblées Bio.- Obs. Anim. Eff.

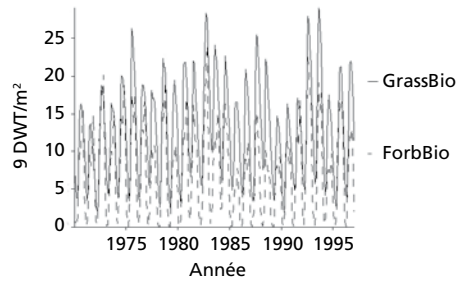


FIGURE 15.6  
Variations temporelles dans les taux de prélèvement du fourrage en réponse aux fluctuations de disponibilité en aliments pour animaux

Taux d'ingestion cheval – Effectif Anim. observé

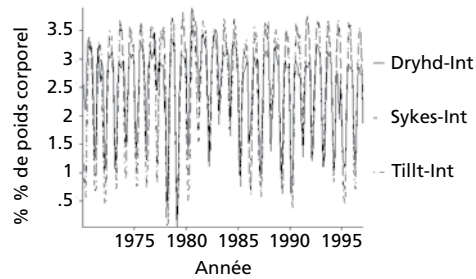
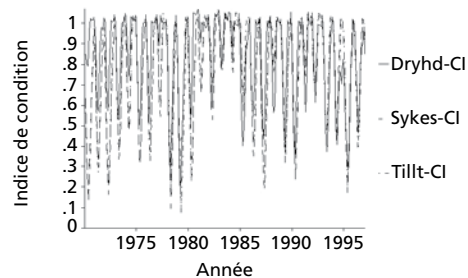


FIGURE 15.7  
Réponses de l'indice de condition de l'animal aux variations de prélèvement en aliments pour animaux

Condition cheval – Effectif animaux observés



quantités et qualités de biomasse ont été prédites comme le résultat de variétés correspondantes de précipitations et de température. Les variations temporelles ont comporté des variations entre biomasses vivante et sénescence, ainsi que dans les contenus d'azote tissulaire et d'énergie digestible. Les distributions spatiales du croît végétal ont représenté des produits de la distribution spatiale des caractéristiques de climat et du sol. Les cartes de précipitations et de température générées par interpolation spatiale, simultanément aux propriétés du sol, ont représenté les variables pilote pour les variations temporelles et spatiales de la productivité végétale.

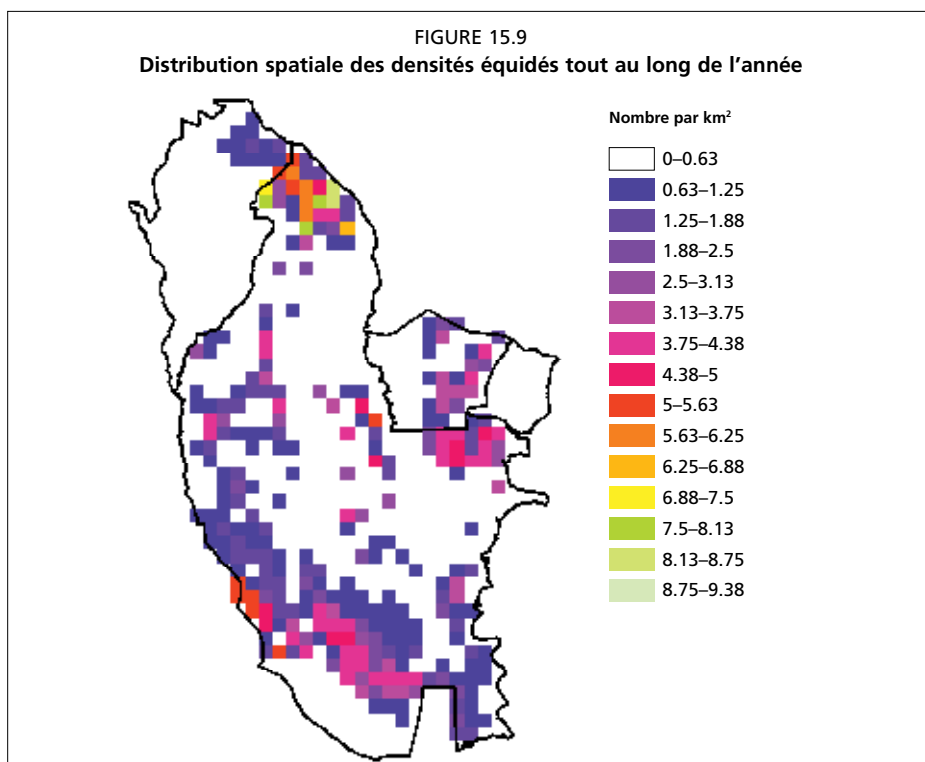
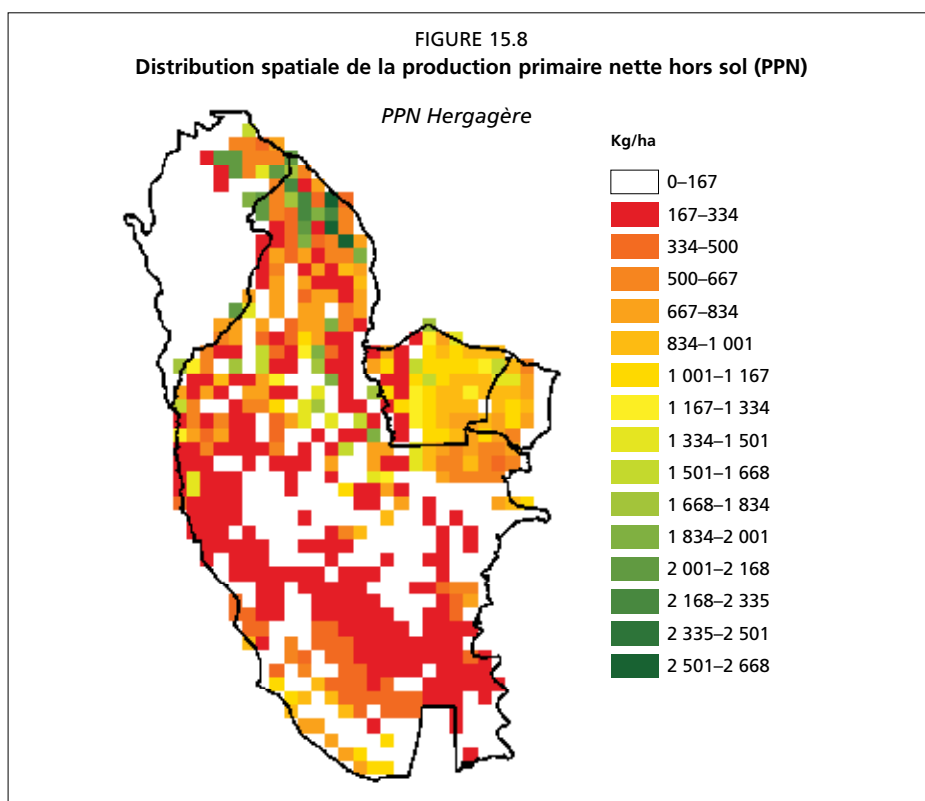
Le problème de la présence de la multiplicité de types végétaux avec des valeurs diverses pour les herbivores a été abordé par simulation de groupes fonctionnels comportant une multiplicité de plantes; Les plantes herbacées, ont été distinguées des plantes ligneuses, ce qui est de première importance pour distinguer les aliments pour animaux disponible pour les herbivores qui paissent vis à vis de ceux qui broutent. De plus, la biomasse foliaire des plantes ligneuses peut être hors d'atteinte des herbivores brouteurs à cause de leur hauteur, ce qui est simulé par le biais de la taille des plantes ligneuses.

Il a également été prédit que les disponibilités seraient restreintes par les chevauchements entre la simulation de distributions animales avec celle de la biomasse végétale. Les distributions animales ont été restreintes par la distance à l'eau, la topographie et la neige et affectée par la sélectivité pour des zones avec des quantités plus abondantes d'un fourrage de meilleure qualité. La juxtaposition dans le temps des distributions animales et végétales ont déterminé les opportunités d'affouragement, avec des impacts subséquents sur le taux d'ingestion du fourrage.

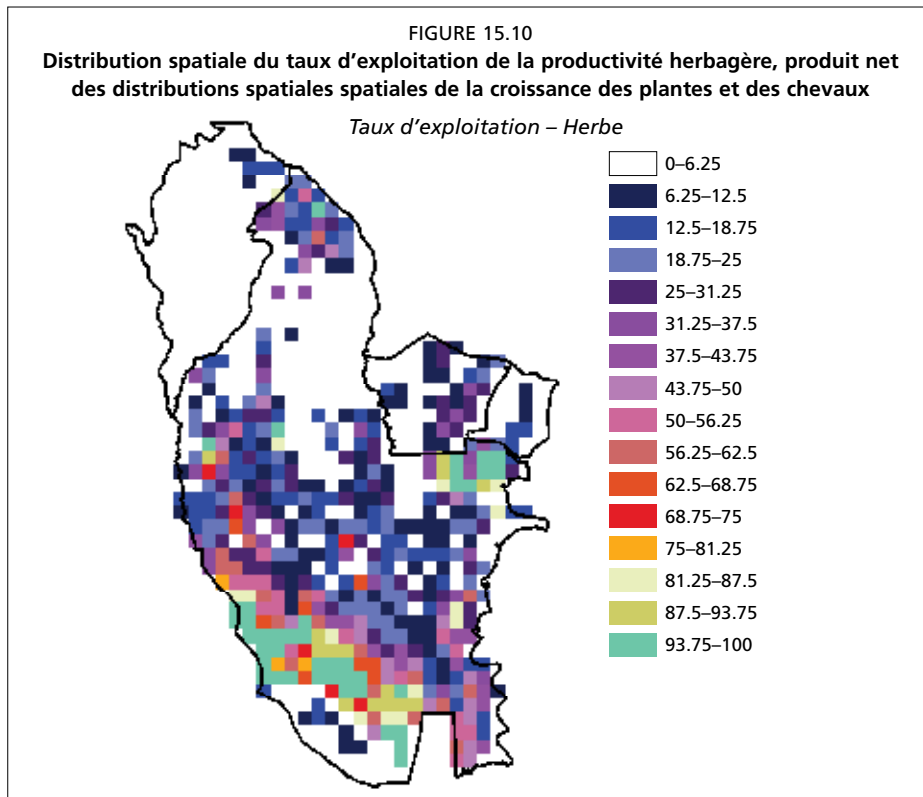
La simulation du bilan énergétique animal a été fondamentale pour prédire les réponses potentielles de production animale aux disponibilités en aliments pour animaux. Dans le contexte de ce document, ceci a des implications significatives pour l'évaluation des conséquences de la disponibilité en aliments pour animaux pour la production animale; ce que le modèle accomplit est essentiellement équivalent à un calcul dynamique du bilan en aliments pour animaux, le bilan entre l'ingestion nutritionnelle animale vis-à-vis de ses besoins. Ici, le bilan a été affecté par les variations temporelles et spatiales dans la disponibilité en aliments pour animaux, qui, à son tour, a été affectée par beaucoup de variables environnementales, parmi lesquelles la végétation, et les variations topographiques et de la couverture neigeuse.

Le concept de régions clé de ressources a été abordé en simulant les variations temporelles et spatiales dans les quantités et la qualité de fourrage, ainsi décrit. Avec la progression de la saison sèche, ou avec la détérioration des conditions hivernales, le "concept de" fourrage par opposition à la biomasse, se limite dans son étendue spatiale à des zones possédant des réserves d'humidité, qui n'ont pas été encore pâturées, ou qui sont localisées dans des endroits difficiles d'accès par leur topographie, la distance à l'eau ou pour d'autres facteurs. L'étendue spatiale de ces régions varie dans le modèle, étant donné que les étendues spatiales des ressources simulées (spécialement l'humidité du sol) varient dans le temps et l'espace.

Quoique les besoins technologiques et en données sur l'approche de modélisation de l'écosystème sont actuellement redoutables, celle-ci devrait devenir faisable rapidement. La disponibilité en données par les progrès de la télédétection et les capacités des GIS. Les limitations informatiques continuent à être levées avec les avances matérielles. Le facteur le plus limitant est l'expertise en modélisation.







## 15.5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boone, R.B.** 2005. Quantifying changes in vegetation in shrinking grazing areas in Africa. *Cons. Soc.*, 3: 150–173.
- Boone, R.B., Coughenour, M.B. Galvin, K.A. & Ellis, J.E.** 2002. Addressing management questions for Ngorongoro Conservation Area using the Savanna Modelling System. *African J. Ecol.*, 40: 138–150.
- Boone, R.B., Galvin, K.A., Coughenour, M.B., Hudson, J.W., Weisberg, P.J., Vogel, C.H., & Ellis, J.E.** 2004. Ecosystem modelling adds value to a South African climate forecast. *Clim. Change*, 64(3): 317–340.
- Boone, R.B., Burnsilver, S.B., Thornton, P.K., Worden, J.S., & Galvin, K.A.** 2005 Quantifying declines in livestock due to subdivision. *Rangeland Ecol. Manag.* 58: 523–532.
- Christensen, L., Coughenour, M., Ellis, J., & Chen, Z.** 2003. Sustainability of the Typical Steppe: Model Assessment of Grazing on Ecosystem State. *J. Range Manag.*, 5: 319–327.
- Coughenour, M.B.** 1992. Spatial modelling and landscape characterization of an African pastoral ecosystem: a prototype model and its potential use for monitoring drought. In D.H. McKenzie, D.E. Hyatt & V.J. McDonald, eds. *Ecological Indicators Vol. 1*. Elsevier Applied Science, London and New York, pp. 787–810.
- Coughenour, M.B.** 1999. *Ecosystem modelling of the Pryor Mountain Wild Horse Range*. Report to USGS. Biological Resources Division, National Park Service, and Bureau of Land Management. 55 pp. & 100 figures.

- Coughenour, M.B.** 2002. *Elk in the Rocky Mountain National Park Ecosystem – A Model-Based Assessment*. Final Report to USGS Biological Resources Division, Ft. Collins, Colorado and U.S. National Park Service, Rocky Mountain National Park. 125 pp. & 116 figures.
- Coughenour, M.B.** 2005. *Spatial modelling of Yellowstone Bison and their environments*. Final Report to U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Bozeman, MT. Three-part report. 93 pp., 100 figures, 73 tables.
- Coughenour, M. B., Ellis, J. E., Swift, D. M., Coppock, D.L., Galvin, K., McCabe, J.T. & Hart, T.C.** 1985. Energy extraction and use in a nomadic pastoral ecosystem. *Science*, 230: 619–624.
- Detling, J.K. & Gerhardt, T.** 1996. *Monitoring vegetation in the Pryor Mountain Wild Horse Range*. Second Annual Report. Colorado State University, USA.
- Ellis, J.E., & Swift, D.M.** 1988. Stability of African pastoral ecosystems: alternative paradigms and implications for development. *J. Range Manag.*, 41: 450–459.
- Kiker, G.A.** 1998. *Development and comparison of Savanna ecosystem models to explore the concept of carrying capacity*. Cornell University, Ithaca, New York, USA. Ph.D. Thesis.
- De Knegt, H.J., van Langevelde, F. van, Coughenour, M., Skidmore, A., de Boer, W., leitkonig, I., Knox, N., Kohi, E., Peel, M., Slowtow, R., van der Waal, C., van Wieren, S., & Prins, H.** 2010. Spatial autocorrelation and the scaling of species-environment associations. *Ecol.* 91: 2455–2465.
- Illius, A., & O'Conner, T. G.** 1999. The relevance of non-equilibrium concepts to arid and semi-arid grazing systems. *Ecol. Appl.*, 9: 798–813.
- Illius, A.W. & O'Connor, T.G.** 2000. Resource heterogeneity and ungulate population dynamics. *Oikos*, 89: 283–294.
- Liedloff, A.C., Coughenour, M.B., Ludwig, J.A., & Dyer, R.** 2001. Modelling the trade-off between fire and grazing in a tropical savanna landscape, northern Australia. *Environ. Int.*, 27: 173–180.
- Ludwig, J. A., Coughenour, M. B., Liedloff, A.C., & Dyer, R.** 2001. Modelling the resilience of Australian savanna systems to grazing impacts. *Environ. Int.*, 27: 167–172.
- Parton, W.J., Schimel, D.S., Cole, C.V., & Ojima, D.S.** 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 1173–1179.
- Parton, W., Hartman, M., Ojima, D., & Schimel, D.** 1998. DAYCENT and its land surface submodel: description and testing. *Global Planetary Change*, 19: 35–48.
- Swift, D.M., Coughenour, M.B. & Atsedu, M.** 1996. Arid and semiarid ecosystems. Chapter 10 In: *East African ecosystems and their conservation*. Oxford University Press, New York, USA.
- Weisberg, P., Hobbs, N.T., Ellis, J. & Coughenour, M.** 2002. An ecosystem approach to population management: alternatives for managing elk on ranges shared with cattle. *J. Environ. Manag.*, 65:181–197.
- Weisberg, P. & Coughenour, M.** 2003. Model-based assessment of aspen responses to elk herbivory in Rocky Mountain National Park, U.S.A. *J. Environ. Manag.*, 32: 152–169.
- Weisberg, P.J., Coughenour, M.B. & Bugmann, H.** 2006. Modelling of large herbivore-vegetation interactions in a landscape context. Chapter 12. In K. Danell, R. Bergstrom, P. Duncan & J. Pastor, eds. *Large herbivore ecology, ecosystem dynamics and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

# 16. Technologies, outils et méthodologies pour l'évaluation fourragère dans les pâtures et parcours

*Jay P. Angerer*

Texas A&M University System, Blackland Research and Extension Center, 720 E. Blackland Road, Temple, TX 76502-9622, USA  
Email: jangerer@brc.tamus.edu

## 16.1 INTRODUCTION

Compte tenu des changements climatiques, de l'accroissement de la population humaine et des changements dans l'utilisation des sols et de leur couverture, une quantification exhaustive des aliments pour animaux est nécessaire afin que les pays puissent développer des politiques pour maintenir ou accroître la production animale. Cette information pourra également être utilisée pour la gestion des aliments pour animaux et du bétail en cas de sécheresse ou autres catastrophes. Pour beaucoup de pays en développement, la végétation des pâtures et parcours représentent une large composante des aliments pour animaux potentiellement disponible pour les animaux. A travers le monde, les parcours occupent environ 50% de la couverture terrestre et procurent 75% de fourrage utilisé pour le bétail domestique (Brown and Thorpe, 2008). De plus, la production de bétail à partir des pâtures et parcours peut représenter une contribution importante à l'ensemble du produit intérieur brut (PIB) dans les pays en développement. Cependant, du fait des grandes étendues occupées par ces zones de pâturage et de parcours, leurs localisations éloignées et le mélange d'espèces animales qui y pâturent, la quantification de la biomasse végétale à titre d'inventaire peut se révéler difficile. Sur les pâtures et parcours, la quantité de biomasse fourragère n'est pas le seul facteur important influençant la production animale. Une évaluation de la qualité du fourrage est également nécessaire car celle-ci influence l'ingestion au pâturage et finalement la performance animale.

Des fourrages abondants mais de pauvre qualité peuvent réduire la performance animale ou ne pas être consommés à cause de leur inappétence. La qualité du fourrage peut varier suivant la saison avec la topographie et avec le changement de communautés végétales à travers le territoire (Wofford *et al.*, 1985). La mesure de la qualité fourragère pose des défis du fait du prélèvement sélectif par les animaux (i.e. dans un mélange d'espèces végétales, l'animal choisit ses plantes préférées) et la capacité de l'animal à paître sur de larges distances, donc à rencontrer potentiellement de multiples espèces/communautés végétales et positions topographiques au long de son cheminement.

Une gamme de méthodes a été développée pour mesurer à la fois la quantité et la qualité fourragère; elles varient en précision, en temps passé sur le terrain, et dans l'application logistique. Pour les mesures de quantité, elles incluent des mesures directes de la végétation, l'estimation avec des variables proxy, la modélisation par simulation, ou diverses combinaisons entre ces méthodes. Pour la mesure de qualité fourragères, de méthodes directes ou indirectes sont disponibles, additionnellement au bilan nutritionnel et au logiciel de calcul des rations à moindre coût à utiliser pour la mise au point de stratégie supplémentaires d'alimentation.

La logistique, les coûts, la planification de la collecte de données et la disponibilité en personnel influencent chacun des choix de la méthode. Le but de cette revue est de donner un aperçu des technologies, outils et méthodologies actuellement disponibles pour l'évaluation qualitative et quantitative fourragère des pâturages et parcours pouvant être utilisés pour les inventaires nationaux des aliments pour animaux. Les méthodes utilisant les techniques de terrain, de télédétection, les modèles de simulation et les outils de support décisionnel pour ces évaluations sont passées en revue, et leurs avantages et inconvénients liés aux inventaires nationaux d'aliments pour animaux sont discutés. Des facteurs tels que le terrain et la distance à l'eau pouvant influencer la disponibilité fourragère sont revus et des exemples expliquent comment cette information peut être utilisée pour évaluer l'utilisation du fourrage et pour calculer les taux de charge afin qu'un programme d'inventaire des aliments pour animaux soit apte à délivrer à temps et géographiquement des données pertinentes aux parties prenantes. La gestion et le stockage des données, le contrôle de qualité et l'intégration doivent être considérés. Un survol général de ces besoins est également fourni.

## 16.2 APERCU GÉNÉRAL

### 16.2.1 Techniques de terrain pour évaluer et contrôler la quantité et la qualité du fourrage

Les techniques de terrain sont les méthodes les plus précises pour évaluer les qualités et les quantités de fourrage des parcours. Cependant, elles requièrent généralement du temps et des ressources importantes pour la récolte des données, surtout si celle-ci s'effectue sur une base annuelle. Le choix de cette méthode est influencé par les besoins en logistique, les coûts, la programmation de la récolte de données, la disponibilité en personnel, le type d'animal herbivore, et les communautés végétales. Un aperçu de quelques-unes des techniques les plus communément utilisées pour apprécier la qualité et la quantité de fourrage sont présentées ci-après.

### 16.2.2 Évaluation des qualités de fourrage

Une considération majeure pour un inventaire national des aliments pour animaux est de définir la biomasse végétale à mesurer afin de représenter les aliments pour animaux inventoriées. Du fait que les animaux au pâturage consomment préférentiellement certaines espèces au milieu des végétaux présents sur le territoire, la biomasse à mesurer doit refléter la biomasse consommée par le type d'animal considéré. La biomasse végétale hors sol produite par l'ensemble des plantes sur un site donné pendant une année de croissance peut être définie comme la *production annuelle totale* (Herrick *et al.*, 2005). Cependant, celle-ci ne reflète par la disponibilité ni l'appétence de l'animal au pâturage. La *production*

*totale annuelle de fourrage* peut être définie comme la biomasse hors sol provenant des espèces végétales susceptibles d'être consommées par les animaux au pâturage (Herrick *et al.*, 2005). Cette qualité peut être résolument différente pour les sites donnés, en fonction de l'animal qui y pâture. Par exemple, sur un site à dominante herbacée, elle sera plus élevée pour une vache que pour une chèvre, parce que cette dernière préfère consommer la végétation arbustive (Photo 16.1). Et l'inverse sera donc vrai sur un site à dominante arbustive. En outre, il convient de considérer la disponibilité du fourrage. Les plantes trop élevées ou inaccessibles ne devront pas être répertoriées dans l'inventaire. Dès lors, avant de collecter des données de terrain pour évaluation quantitative de fourrage, les animaux concernés doivent être identifiés avant d'établir un protocole d'échantillonnage prenant en compte les espèces végétales consommées par le bétail et leur disponibilité (USDA, 2003).

La période de l'année pour cette évaluation qualitative représente une autre considération majeure. La productivité végétale sur un site donné ou à travers une région peut varier au long de l'année, en fonction des variations dans les cycles de croissance et de la variabilité climatique. Généralement, l'inventaire sera mené lorsque la majorité des espèces végétales présentent leur pic de croissance. Au moment de l'échantillonnage, la biomasse mesurée devra être ajustée pour tenir compte de ce qui a déjà été pâturé ou de ce qui n'a pas encore été produit (USDA, 2003).

Les méthodes pour les mesures sont, soit directes par échantillonnage et pesée, soit indirectes par estimation des poids par l'observation, soit par combinaison de ces deux techniques.

### 16.2.3 Techniques de mesures directes

Une des méthodes les plus communes pour la mesure directe de la production fourragère sur pâturage et parcours est celle des "quadrat", ou cages isolantes. Un "quadrat", est un cadre circulaire, carré ou rectangulaire placé sur le sol d'une région donnée; à l'intérieur de ce cadre, la biomasse végétale sera coupée et transportée pour pesée (Photo 16.2). Pour les plantes herbacées (graminées, plantes similaires et légumineuses) les parties hors sol comme les feuilles, tiges, inflorescences et fruits seront coupées et retirées du quadrat (USDA, 2003). Pour les ligneux – arbres et arbustes – seuls les produits de croissance



**Photo 16.1**

*Au pâturage, les bovins préfèrent généralement paître les graminées ou la végétation herbacée, tandis que les caprins broutent les arbres et arbustes*

annuels (feuilles, brindilles, fruits) sont échantillonnés. Cependant, Catchpole et Wheeler (1992) mettent en garde sur le fait que l'échantillonnage des arbres et des grands arbustes ne sera pas pratique lorsque la variabilité spatiale est élevée; dans ce cas, d'autres techniques, comme l'estimation, se révèlent plus utiles.

Après la coupe, les échantillons sont habituellement séchés au four pour extraire l'eau afin d'exprimer la biomasse en matière sèche. Compte tenu de la surface du quadrat (en général 0,5 m<sup>2</sup>), le poids sec (en kg) peut être extrapolé à des surfaces plus étendues (kg biomasse/ha) afin d'obtenir une estimation de la biomasse végétale pour le site en question. Avant la coupe, la végétation à l'intérieur du quadrat peut également être évaluée pour d'autres caractéristiques importantes comme la composition spécifique, le taux de couverture, la fréquence et le taux de litière.

Des lignes de transect peuvent être tracées pour aider à établir une ligne de base à partir de laquelle l'échantillonnage du quadrat peut être installé (Photo 16.3). Les points de départ et de fin du transect peuvent être géoréférencés par GPS, afin de pouvoir le localiser à nouveau lors de visites ultérieures pour un contrôle à long terme et pour évaluer les changements de végétation et de productivité.

La longueur du transect, la taille et la forme du quadrat utilisé, et le nombre de transects et d'échantillons de quadrat récoltés pour mesurer la biomasse végétale dans un site d'intérêt dépendent de plusieurs facteurs. Ceux-ci incluent l'habitus de la végétation (arbre, arbuste, légumineuse, ou herbe), la distribution spatiale de la végétation sur le territoire (épaisse ou dense) et la logistique pour la collecte des données du site. Par exemple, des quadrats plus petits (0,1 à 1,0 m<sup>2</sup>) peuvent être utilisés pour échantillonner la végétation



**Photo 16.2**

*Un quadrat de 0,5 m<sup>2</sup> pour mesurer la biomasse végétale sur le parcours*

NOTE: LA VÉGÉTATION EST COUPEE A L'INTERIEUR DU QUADRAT, PLACEE DANS UN SAC IDENTIFIE AVEC DES INFORMATIONS SUR LA PARCELLE D'ECHANTILLONNAGE. LE SAC EST ENVOYE AU LABORATOIRE, SECHE ET PESE POUR OBTENIR LES POIDS EN MATIERE SECHE.

herbacée, comme en graminées et les légumineuses. De plus grands quadrats (2,0 à 500 m<sup>2</sup>) peuvent être employés pour échantillonner arbres et arbustes. Pour une végétation éparsée ou en bouquet, un quadrat long et rectangulaire est recommandé pour réduire les biais dans l'échantillonnage des plantes éparsées par opposition à un sol nu. Le nombre de quadrats requis pour échantillonner un site spécifique est lié à la taille du quadrat, mais dépend également du type de végétation, de la variabilité spatiale, et, finalement de la logistique et des coûts pour l'échantillonnage de la région d'intérêt. Plus grande est la variabilité spatiale de la végétation, plus grand le nombre de quadrats nécessaires pour accroître la précision des mesures de la biomasse (Catchpole and Wheeler, 1992). Des techniques statistiques peuvent être utilisées pour calculer la taille des échantillons afin d'aider à déterminer le nombre optimum d'échantillons. Bonham (1989) fournit une description des techniques et procédures à employer pour déterminer la taille optimale des quadrats et le nombre d'échantillons de quadrat pour les différents types de végétation.

### 16.2.4 Techniques d'estimation

Le temps nécessaire pour couper un grand nombre de quadrats et le nombre important d'échantillons à sécher et peser rendent la mesure directe de la biomasse fourragère trop coûteuse pour un programme national d'inventaire des aliments pour animaux. Les techniques d'estimation sont appliquées pour réduire le nombre d'échantillons prélevés et réduire le temps nécessaire à échantillonner chaque localisation. Deux méthodes populaires développées pour l'estimation de la biomasse fourragère dans la végétation des parcours consistent en la méthode de l'unité de pesée et la méthode de double échantillonnage.



**Photo 16.3**

*Un quadrat coupé à un endroit le long d'une ligne de transect*

NOTE: UNE TIGE DE MESURE EN FIBRE DE VERRE, TELLE QUE FIGURÉE ICI, PEUT ÊTRE UTILISÉE COMME RÉFÉRENCE POUR LA LIGNE DE TRANSECT DANS LA PÂTURE HERBACÉE.

Dans la première (USDA, 2003), une unité de poids est établie pour chacune des espèces végétales trouvées dans la région intéressée. Cette unité de pesée peut être une plante entière, une partie de plante ou un groupe de plantes, et le poids va varier avec la taille de la plante (les graminées et les légumineuses peuvent être de taille et de poids plus petit qu'une unité de poids pour un arbuste). Une fois l'unité de poids établie, le personnel de terrain calibre leur estimation en choisissant visuellement une plante ou une partie de plante dont le poids est équivalent à celui de l'unité de pesée. La biomasse végétale est alors récoltée, pesée et comparée au poids de l'unité de pesée. Le processus est répété jusqu'à ce que le personnel puisse estimer avec précision l'unité de pesée. Une fois la calibration achevée, l'échantillonnage du quadrat est effectuée; le nombre d'unités de pesée pour chaque espèce végétale au sein des quadrats y est estimé et enregistré. Le quadrat est alors récolté selon les espèces afin de comparer les poids des espèces collectées à celui des unités de pesée. Le processus est répété jusqu'à ce qu'un taux raisonnable de concordance soit obtenu entre l'estimation des unités de pesée et la biomasse collectée dans le quadrat. Une fois obtenu, le poids de la biomasse des quadrats est estimé uniquement en unités de pesée. Les quadrats peuvent être récoltés périodiquement pour s'assurer de la persistance de la précision. La biomasse végétale gardée récoltée est séchée au four et pesée pour calculer un facteur de conversion en matière sèche. La méthode par unité de pesée peut permettre un rapide échantillonnage d'un site une fois que les estimations du personnel sont calibrées et il réduit le temps nécessaire pour couper et ensuite sécher les échantillons, donc le temps total et l'effort d'échantillonnage. Une description détaillée de cette méthode peut être trouvée dans le Manuel National des Parcours et Pâturages du Département Américain de l'Agriculture (USDA, 2003).

Les méthodes de double échantillonnage impliquent généralement le développement d'une relation statistique entre la biomasse et les estimations visuelles ou une variable aisément mesurable comme la couverture, la hauteur ou l'âge de végétation (Catchpole and Wheeler, 1992). Pour développer la relation statistique, l'estimation visuelle ou la mesure ou de la variable aisément mesurable est collectée dans un certain nombre de points d'échantillonnage où la biomasse est coupée et pesée. Une équation de régression peut alors être développée entre la variable aisément mesurée et les poids de la biomasse. Un échantillonnage intensif peut alors être pratiqué pour la variable et l'équation de régression va servir à convertir les mesures de biomasse, et donc à réduire le besoin pour des coupes supplémentaires. En développant les équations de régression, l'échantillonnage initial sera effectué afin de saisir la gamme à la fois de biomasse végétale et de variable aisément mesurable.

Un grand nombre de techniques de double échantillonnage ont été développées pour l'estimation de la biomasse fourragère dans les parcours. Catchpole and Wheeler (1992) fournissent un excellent aperçu de telles techniques utilisant des variables aisément mesurables avec une discussion sur les avantages et désavantages de chaque technique en relation avec le coût, la précision, la structure et la variabilité de la végétation. Herrick *et al.* (2005) procurent un aperçu du double échantillonnage en utilisant une estimation visuelle pour son utilisation dans les écosystèmes des pâturages arides et semi arides, de steppes arbustives et de savanes.



### 16.2.5 Stratification du Territoire et Agrandissement

En développant un programme pour quantifier la biomasse fourragère des parcours afin de dresser un inventaire national des aliments pour animaux par mesures directes ou par techniques d'estimation, il est nécessaire de développer un cadre d'échantillonnage qui recouvre la gamme des communautés végétales et des types de plantes consommés par le bétail. Il est également nécessaire d'optimiser le nombre de sites d'échantillons afin de réduire les coûts et les contraintes logistiques. A partir du niveau local jusqu'au niveau national, un schéma de stratification doit être développé afin de s'assurer que l'échantillonnage soit représentatif des types de végétation et de la productivité à chaque échelon. La stratification doit être conçue là où les résultats de la biomasse peuvent aisément être élargis et intégrés aux niveaux régionaux et nationaux de manière spatialement cohérente. L'utilisation des strates de données spatiales, tels que des modèles digitaux d'élévation, de cartes de sols et de végétation, et d'images satellite au sein de logiciels GIS aide à définir des unités de contrôle possédant des sols, une végétation et des caractéristiques de gestion relativement uniformes. (Herrick *et al.*, 2005). Les contraintes logistiques tels que l'accès aux routes, le temps de voyage, et la sécurité sont également pris en compte dans la GIS afin de préciser un nombre gérable d'unités de contrôle et de satisfaire les objectifs de l'inventaire national. Les équipes de terrain conduisent alors l'échantillonnage pour l'évaluation des quantités de fourrage dans chacune des unités de contrôle. La biomasse fourragère (kg/ha) mesurées dans chacune de celles-ci est alors convertie en kilogrammes totaux en multipliant la biomasse mesurée par la surface (ha) de l'unité de contrôle. Une simple élévation au niveau national est alors menée en additionnant la biomasse fourragère à travers toutes les unités de contrôle nationale ce qui permet de fournir une estimation de la biomasse (kg ou tonnes) pour le pays tout entier. Cependant une méthode plus complexe d'extrapolation devra probablement être utilisée pour représenter la biomasse fourragère pour les différentes espèces de bétail (bovins, ovins, caprins). De plus, les quantités de biomasse demandent des ajustements pour les facteurs réduisant l'accessibilité pour le bétail à pâturer le fourrage, tels que des terrains abrupts, la disponibilité en eau et la restriction d'accès (parcs nationaux, aires de conservation).

### 16.2.6 Évaluation de la qualité fourragère

La qualité du fourrage peut être définie comme "le degré auquel il satisfait les besoins nutritionnels d'une espèce et d'une classe animale" (Allen and Segarra, 2001). L'évaluation de la qualité fourragère est importante pour la gestion du bétail car elle représente un levier essentiel pour maintenir la condition animale, la santé reproductive et la productivité du bétail ce qui, ensuite, va influencer des retombées économiques (Fales and Fritz, 2007). De plus, la qualité du fourrage influence son appétence et, ainsi, son taux d'ingestion pour l'animal en pâture. Quoique des quantités de fourrage puissent être élevées, la végétation peut ou ne peut pas être prélevée du fait de la faible qualité du fourrage disponible, entraînant ainsi une réduction de la productivité animale et une utilisation accrue dans les zones de meilleure qualité fourragère.

Du fait des grandes étendues de terrains occupés par des pâturages et parcours, de la diversité de la végétation et des animaux, des déplacements du bétail à travers le territoire et de la variété de pratiques de gestion des producteurs, l'évaluation de la qualité fourra-

gère des parcours et pâturages peut représenter un défi. Tout comme les évaluations pour les quantités de fourrage, différentes méthodes directes et indirectes ont été développées à cet effet. Un aperçu de base de ces méthodes et leur potentiel dans un inventaire national des aliments pour animaux est fourni ci-dessous.

### 16.2.7 Méthodes directes

Du fait que les animaux en pâture sont sélectifs dans le choix des plantes à consommer, il ne suffit pas de simplement analyser la biomasse végétale présente pour espérer obtenir des résultats significatifs sur la qualité du fourrage. La méthode directe pour évaluer la qualité du fourrage implique généralement l'observation des animaux au pâturage et essayer de recréer leur ration, ou l'utilisation de fistules de l'œsophage ou du rumen afin de récupérer le fourrage consommé et de l'examiner pour sa qualité. Les méthodes d'observation comprennent la cueillette manuelle (Devries, 1995; Kiesling *et al.*, 1969; Langlands, 1974) et le dénombrement des bouchées (Glasser *et al.*, 2008; Ortega *et al.*, 1997; Timmons *et al.*, 2010).

La cueillette manuelle implique de suivre et d'observer les animaux au pâturage et de recueillir ensuite des parties de plantes similaires à celles qu'ils consommaient. Ces échantillons seront alors analysés pour des indicateurs de qualité, comme la protéine brute, la matière organique digestible, les macronutriments et les cendres. La méthode du décompte des bouchées suppose de suivre les animaux et d'enregistrer le nombre de coups de dents que l'animal donne pour des plantes ou des parties (feuille, tige, fleurs) ainsi que l'ampleur de ceux-ci. L'enregistrement est effectué sur un magnétophone et transcrit immédiatement après la séance d'observation (Glasser *et al.*, 2008; Timmons *et al.*, 2010). Après chaque séance d'observations, des échantillons sont prélevés soit à la main, soit par coupe et leur nombre est proportionnel aux coups de dents enregistrés et aux parties de plantes pâturées par l'animal. Les échantillons sont ensuite analysés pour les indicateurs de qualité fourragère.

Ces deux méthodes présentent des limites pour être appliquées dans un inventaire d'aliments pour animaux. Par exemple, elles sont chronophages et requièrent des animaux relativement dociles afin de permettre l'observation de leur comportement en pâture (Gordon, 1995). De plus, les observateurs doivent être bien formés à ces méthodes pour s'assurer que les plantes et les parties de plante soient correctement identifiées et que la classification des coups de dents soit cohérente entre les observateurs.

L'utilisation d'animaux fistulisés (œsophage ou rumen) est généralement reconnue comme l'une des méthodes les plus précises pour obtenir un échantillon représentatif de ce que l'animal a consommé (Pfister *et al.*, 1990; Holecheck *et al.*, 1982). Ces animaux sont chirurgicalement traités afin de pratiquer une ouverture (fistula) soit dans l'œsophage soit dans le rumen. Après cicatrisation, l'ouverture est munie d'un bouchon en caoutchouc ou plastique afin de la garder fermée entre les prélèvements pour échantillonnage.

Pour un échantillonnage de qualité de fourrage sur un animal porteur d'une fistule de l'œsophage, le bouchon de cette dernière est déplacé et un sac est placé sur l'ouverture. L'animal est alors placé en pâture et le matériel végétal consommé va tomber dans le sac à travers la fistule (extrusa). A la fin de la séance de pâturage, le sac est retiré et la fistule rebouchée. Les extruses sont récoltés dans le sac, séchés au four ou au congélateur et

ensuite analysés pour les indicateurs de qualité fourragère, comme la protéine brute, la fibre, la digestibilité et autres nutriments.

Pour un animal porteur d'une fistule du rumen, l'animal est préparé pour une évaluation préalable totale du rumen, nettoyé à l'eau afin de retirer tout le contenu (Ganskopp and Bohnert, 2006; Hirschfeld *et al.*, 1996). Le bouchon est alors replacé et l'animal autorisé à pâturer pendant une séance de 60-90 minutes. Cette dernière terminée, le contenu du rumen est entièrement récolté et analysé ensuite pour les indicateurs de qualité fourragère.

Les avantages de ce type de fistulisation sont que les animaux cicatrisent plus vite et demandent moins de surveillance et de soins pendant la séance de pâture (Holecheck *et al.*, 1982). L'utilisation d'animaux fistulés présente plusieurs inconvénients, dont le besoin de maintenir un troupeau spécial à cet effet qui requiert un entretien permanent et d'avoir un personnel disponible hautement formé pour travailler avec les animaux (Van Soest, 1994). Du fait de ces problèmes et de la nécessité d'échantillonner une zone géographique étendue, l'utilisation d'animaux fistulés pour évaluer la qualité de la ration pour l'établissement d'un inventaire national d'aliments pour animaux n'est probablement pas très pratique.

### 16.2.8 Méthodes indirectes

Les méthodes indirectes pour déterminer la qualité de fourrage inclut généralement l'examen des fèces pour les indicateurs pouvant être liés au fourrage consommé par le bétail; Les premiers travaux sur ces méthodes préconisaient l'examen de constituants tels que l'azote fécal, (Holecheck *et al.*, 1982; Squires and Siebert, 1983) et le contenu en fibres. A titre d'exemple, Wofford *et al.* (1985) utilisaient l'azote fécal, l'azote non lignine lié aux fibres, la fibre neutro dissoute, la fibre acido dissoute, la lignine acido dissoute et la dissolution par la pepsine et l'acide comme variables indépendantes dans des régressions afin de prévoir l'ingestion de fourrage, la digestibilité *in vivo* de la ration, et l'azote de celle-ci. Les résultats ont indiqué que l'azote fécal prédisait relativement bien l'azote de la ration, ce qui se révélait utile pour détecter les déficiences du bétail en protéine brute. Toutefois, la capacité de prédiction de l'ingestion et de la digestibilité par l'emploi des constituants fécaux était faible.

Au cours des 20 dernières années, le balayage par Spectroscopie Réflectante proche de l'infra rouge (SRPIR) a émergé comme un outil fiable pour l'évaluation de la qualité du fourrage pâturé par les ruminants (Dixon and Coates, 2010; Leite and Stuth, 1995; Li *et al.*, 2007; Lyons and Stuth, 1992; Showers *et al.*, 2006; White *et al.*, 2010; Dixon and Coates, 2009). La méthodologie pour développer la capacité de balayage des fèces par la SRPIR implique la formulation d'équations qui comparent statistiquement les caractéristiques spectrales proches de l'infrarouge des fèces du bétail avec les constituants qualitatifs (protéine brute, digestibilité, fibre) du fourrage consommé. Des doublons de rations animales et de fèces nécessaires à l'établissement des équations peuvent être rassemblé dans des essais d'alimentation en cages (e.a. Li *et al.*, 2007; Showers *et al.*, 2006) ou d'essais utilisant des animaux fistulés et du bétail élevé en liberté (e.a. Leite and Stuth, 1995; Lyons and Stuth, 1992).

Pour des essais d'alimentation en cages, les fourrages sont récoltés à la main et mélangés afin de constituer une ration connue. Une gamme de qualités et de mélanges d'espèces végétales sont utilisés afin de couvrir la diversité locale de la zone ou de la région.

Les rations sont alors distribuées au bétail et les fèces collectées pendant une période définie. Pour les essais sur animaux fistulés, les animaux sont confinés en pâturage avec du bétail en liberté et les extrusa collectés sont utilisés pour représenter la ration du bétail. Des échantillons de fèces sont récoltés auprès du bétail en liberté pendant quelques jours après la collecte des extruses.

Pour chacune des deux méthodes, les rations sont analysées pour les constituants qualitatifs et les échantillons fécaux scannés avec le spectroscope. Le logiciel spectroscopique est alors appliqué pour définir une équation multivariable qui prédira la qualité de la ration en fonction des caractéristiques spectrales des fèces. Les statistiques, telles que l'erreur standard ou les valeurs de régression  $r^2$  peuvent être calculées pour évaluer la solidité de l'équation. Le balayage SRPIR des fèces pour les constituants fourrager qualitatifs présentée généralement une précision similaire à celles des méthodes standard de laboratoire (Dixon and Coates, 2010; Lyons and Stuth, 1992; Showers *et al.*, 2006; Decruyenaere *et al.*, 2009).

Les avantages de la SRPIR fécale sont sa rapidité et fiabilité dans l'évaluation de la qualité du fourrage consommé, (Dixon and Coates, 2009), la facilité de récolte des échantillons en l'absence de toute collecte destructive, et la qualité de l'information fournie aux producteurs pour l'assistance dans la gestion des besoins nutritionnels de leurs troupeaux afin de répondre aux objectifs de production (Dixon and Coates, 2009; Dixon and Coates, 2010). Les désavantages comportent le coût élevé évident de l'équipement SRPIR, le besoin de développer des essais d'alimentation et les équations qui recouvrent la gamme de types et de qualités de fourrage rencontrés dans la région par les animaux au pâturage et les besoins d'une validation indépendante des équations SRPIR fécales (Decruyenaere *et al.*, 2009).

Pour un inventaire national des aliments pour animaux, la SRPIR fécale peut représenter le choix le plus pratique pour évaluer la qualité nutritionnelle à travers un pays. Un centre de recherche ou un projet peut être installé pour la mise au point des équations, en utilisant des troupeaux de recherche et des essais d'alimentation à cette fin. Cependant les coûts d'équipements, de logistique et de formation du personnel pour rassembler un grand nombre d'échantillons fécaux représentatifs d'une région peuvent se révéler prohibitifs.

### 16.3 APPROCHES PAR TÉLÉDÉTECTION POUR L'ÉVALUATION FOURRAGÈRE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE

L'emploi de l'imagerie par télédétection semble, attractive pour évaluer les conditions de végétation des parcours du fait de la large couverture aérienne fournie, de sa capacité à examiner des régions éloignées potentiellement inaccessibles et de recevoir l'information à des fréquences temporelles plus élevées que celles de l'échantillonnage sur terrain. Depuis les années 70, l'imagerie par télédétection a été employée pour évaluer les conditions de végétation des parcours. Par exemple, Rouse *et al.* (1973) ont appliqué l'imagerie par balayage multispectral pour l'examen du verdissement et mis au point un indice de végétation corrélé à la biomasse végétale. Depuis lors, plusieurs approches différentes ont été développées pour examiner les conditions des parcours et quantifier la biomasse.

Les indices de végétation dérivés des images de télédétection représentent l'un des produits le plus populaires et les plus étudiés extensivement pour évaluer la biomasse végétale. Ils sont produits par transformation des bandes du spectre électromagnétique, mesuré comme la réflectance à partir de la surface terrestre par des satellites observant la terre.

Ces indices permettent l'examen des variations temporelles et spatiales et la contribution relative des propriétés végétales, comme l'activité photosynthétique et la structure de la canopée (Huete *et al.*, 2002). Les indices de végétation peuvent fournir une représentation non biaisée de la végétation, sans relation avec le type de sol, la classification de la couverture ou les conditions climatiques (Huete *et al.*, 2002). Depuis le début des années 70, une variété d'indices ont été proposés (voir Tucker, 1979; Huete *et al.*, 2002 pour une revue des indices). En général, ceux-ci impliquent une certaine combinaison des portions rouge et près de l'infra rouge du spectre électromagnétique, spécifiquement les longueurs d'ondes dans la gamme des 0,6-0,71  $\mu\text{m}$  (rouge) et 0,75-1,1  $\mu\text{m}$  (près de l'IR) (Tucker *et al.*, 1983). Dans la gamme du rouge, une quantité importante de la radiation incidente est absorbée par la chlorophylle foliaire, tandis que la gamme proche de l'IR, la radiation incidente est reflétée par les cellules mésophiles des feuilles. Ceci fournit un contraste net dans la réflectance de la lumière de retour au satellite, pouvant être utilisée pour l'établissement de ratios ou l'indexation (Gitelson, 2004; Hurcom and Harrison, 1998; Brown *et al.*, 2006).

Parmi les différents indices de végétation, l'index de Différence Normalisée de Végétation (IDNV) est le plus utilisé et historiquement accepté (Cracknell, 2001). Il fut d'abord proposé comme le "Paramètre de Ratio de Bande" par Rouse *et al.* (1973). Il devint d'usage élargi avec le lancement du Radiomètre Avancé à très haute résolution, instrument à bandes spectrales rouge et proche de l'IR qui ne se chevauchaient pas, et qui permettent ainsi le calcul des indices de végétation (Tucker *et al.*, 2005). L'IDNV est calculé à partir des bandes rouges et proches de l'IR, comme suit:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{nir}} - \rho_r) / (\rho_{\text{nir}} + \rho_r)$$

Où  $\rho_{\text{nir}}$  et  $\rho_r$  sont respectivement les réflectances spectrales des longueurs d'onde du rouge et proche de l'IR.

L'indice a une portée de -1 à +1. Les quantités croissantes de végétation déplacent l'indice vers 1. Des sols dénudés et des rochers ont des réflectances rouges et proches de l'IR similaires de sorte que l'indice est proche de zéro pour ces surfaces.

La neige, l'eau, et les nuages ont une réflectance rouge plus élevée que celle proche de l'IR de sorte que les valeurs de l'IDNV sont négatives pour ces surfaces (Hurcom and Harrison, 1998). L'IDNV a été utilisé comme substitut pour l'indice de surface foliaire, la biomasse végétale, et la radiation absorbée photosynthétiquement active (FAPAR) (Asrar *et al.*, 1984; Sellers, 1985; Tucker, 1979).

Actuellement, de nombreuses plates-formes satellitaires existent afin de produire une imagerie par télédétection et de nombreux produits sont disponibles gratuitement. La disponibilité et le faible coût de l'imagerie par télédétection en ont fait un outil attractif pour le contrôle des conditions territoriales. Son faible coût et la densité des données en font un produit attirant à utiliser dans des inventaires d'aliments pour animaux. Ci-dessous, est fourni un aperçu des applications de télédétection pour les évaluations qualitatives et quantitatives du fourrage avec une discussion des approches pour introduction de modèles empiriques et de télédétection.

### 16.3.1 Quantité du fourrage

Deux approches ont généralement été appliquées pour l'évaluation de la biomasse par imagerie de télédétection. Ce sont: 1) des modèles empiriques prédisant la biomasse four-

ragère en se basant sur une relation statistique entre les bandes du spectre (ou une combinaison de certaines d'entre elles) de l'image et la biomasse végétale, et 2) des modèles de processus utilisant des données de télédétection comme intrants afin de prédire la biomasse végétale.

### 16.3.2 Approches empiriques

Les approches empiriques pour évaluation de la biomasse à partir de produits de télédétection impliquent généralement l'usage d'une relation de régression entre la variable de produit de télédétection et les données de biomasse collectées sur le terrain (Dungan, 1998). Par exemple, Tucker *et al.* (1983) ont appliqué à la fois une régression linéaire et logarithmique entre l'IDNV et les données de biomasse récoltées au sol pour prévoir la biomasse au niveau régional dans la partie sahélienne du Sénégal. Dans la steppe Xilingol de Mongolie Intérieure, Kawamura *et al.* (2005) ont découvert que l'Indice de Végétation Amélioré (IVA), dérivée du satellite avec spectroradiomètre à images de Résolution Modérée, s'avérait utile pour prédire la biomasse vivante et la biomasse totale. En Nouvelle Zélande, le fourrage pour les pâturages à vocation laitière a été prédit avec une marge d'erreur de 10%, en utilisant un modèle de régression reliant l'IDNV et l'époque de l'année avec la biomasse fourragère (Mata *et al.*, 2007). Pour les parcours jordaniens, Al-Bakri and Taylor (2003) ont appliqué un modèle de régression linéaire afin de prévoir la production de biomasse arbustive. Ils ont énoncé que cette approche a le potentiel d'estimer la capacité de charge des parcours en Jordanie. En Mongolie, la biomasse des parcours a été estimée à partir d'une relation avec l'index de santé végétale et les données de biomasse récoltées sur le terrain (Kogan *et al.*, 2004). L'index de santé végétale a été calculé en utilisant l'IDNV et les températures de radiance à partir du satellite AVHRR. Cet index procure une indication de conditions végétales anormales. Dans les Grandes Plaines du Nord des Etats-Unis, Frank and Karn (2003) ont trouvé une réponse non linéaire entre la biomasse et l'IDNV, mais la relation était hautement corrélée ( $r^2=0.83$ ). En examinant la cartographie en temps réel de la biomasse du parc National d'Etosha en Namibie, pour une évaluation des risques de feu, Sannier *et al.* (2002) ont employé des techniques de mesures rapides du terrain pour la végétation herbacée et arbustive et mis au point des relations de régression entre celle-ci et l'IDNV. Ils ont découvert de bonnes corrélations entre la biomasse verte et l'IDNV, quoique la force de ces relations soit reliée au type de végétation. Ils ont conclu que la capacité de prédire la biomasse via ces méthodes permet la cartographie proche en temps réel pour les risques de feu d'être réalisable pour le Parc National d'Etosha.

### 16.3.3 Modèles d'intrants pour télédétection

Un problème noté pour les modèles empiriques utilisant des données de télédétection pour prédire les qualités de biomasse est qu'ils transgressent l'hypothèse de l'absence de corrélation entre les variables de prédiction (Dungan, 1998; Foody, 2003). Etant donné que la plupart des données de corrélation sont fondamentalement auto-corrélées (similarité pour les pixels comme une fonction à distance), cette hypothèse ne peut être ignorée. Une voie pour surmonter cela est d'utiliser des modèles de croissance végétale, dirigés par des variables contributives de télédétection sur une base pixel par pixel. Reeves *et al.* (2001) décrivent une telle approche pour prédire la biomasse de parcours avec l'emploi de pro-

duits du système MODIS et un modèle de croissance végétale d'efficacité modérée. Leur approche utilise l'imagerie MODIS afin d'estimer FAPAR, qui alors, est intégré au sein d'un modèle d'efficacité modérée (Montieth, 1972, 1977) estime la productivité nette primaire hors sol. Des cartes régionales de biomasse sont alors produites à 1 km<sup>2</sup> de résolution. Hunt and Miyake (2006) ont utilisé un modèle similaire d'efficacité pour usage léger pour prédire les taux de charge à l'intérieur de cellules de 1 km<sup>2</sup> pour l'ensemble de l'Etat du Wyoming aux Etats-Unis. Leur modèle différait de celui de Reeves *et al.* (2001), car ils ont utilisé le Radiomètre Avancé NOAA à très haute résolution pour estimer FAPAR et ont converti la production primaire nette hors sol en fourrage disponible à soustraire de la biomasse non utilisable par le bétail.

Quoiqu'une forte évidence plaide pour que l'application de biomasse sur parcours en utilisant des variables de télédétection soit faisable, l'extrapolation de ces relations à de nouvelles régions n'est pas toujours faisable, ni recommandée. Généralement, les données de terrain doivent être collectées pour de nouvelles zones ou région afin de formuler les équations de prédiction. Un autre problème est que plusieurs de ces modèles prédisent la biomasse végétale mais non la disponibilité de fourrage pour les animaux au pâturage. Si les déficits ou les surplus de fourrage pour les types spécifiques de bétail doivent être pris en compte, alors des équations spécifiques ou des modèles pour pâturage doivent être mis au point pour le fourrage disponible. Dans une étude examinant l'utilisation des données de télédétection pour l'estimation de la biomasse fourragère afin d'évaluer la capacité de charge en Namibie, Espach *et al.* (2009) ont intégré les problèmes de quantification de disponibilités fourragères en apportant des corrections pour la biomasse arbustive qui n'était ni appétante ni accessible aux animaux en pâture.

### 16.3.4 Qualité du fourrage

La recherche par télédétection sur la qualité de fourrage n'est pas aussi exhaustive que pour l'estimation de la biomasse. Ceci est dû probablement aux difficultés rencontrées dans l'obtention d'information sur la qualité de fourrage à utiliser en approche empirique et par modélisation. Un autre problème est que lorsque les données de télédétection deviennent plus grossières en résolution, le pixel s'intègre à la végétation, ce qui le rend plus difficile à séparer des composants végétaux pâturés par les animaux. Ceci rend aussi plus compliqué de déterminer un schéma approprié d'échantillonnage pour mesurer la qualité du fourrage, spécialement lorsque la végétation devient plus hétérogène et lorsque les animaux au pâturage sont plus nombreux.

### 16.3.5 Approches empiriques

Les approches empiriques pour l'estimation de la qualité du fourrage impliquent l'examen des relations statistiques entre les variables de qualité et l'information spectrale provenant de l'imagerie par télédétection. Thoma *et al.* (2002) ont utilisé la régression linéaire simple avec l'IDNV comme variable indépendante pour prédire qualité et quantité de fourrage dans les parcours du Montana, Etats-Unis. Ils ont relevé des relations raisonnables entre l'IDNV et la biomasse vivante ( $r^2 = 0,68$ ), la biomasse totale ( $r^2 = 0,68$ ), et l'azote dans la biomasse sur pied ( $r^2 = 0,66$ ), mais n'ont trouvé que de pauvres relations avec la biomasse ( $r^2 = 0,18$ ) et la concentration en azote ( $r^2 = 0,01$ ) dans la biomasse morte sur pied. En

Chine, les équations de régression utilisant l'Index de Végétation Amélioré, dérivé du récepteur MODIS, ont été utilisées pour prédire la biomasse vivante et morte, ainsi que la protéine brute dans la biomasse sur pied (Kawamura *et al.*, 2005). Ils ont relevé une bonne prédiction entre la biomasse vivante sur pied et la biomasse totale (verte + morte) ( $r^2 = 0,77$  à  $0,80$ ), mais de faibles corrélations avec la protéine brute ( $r^2 = 0,11$ ).

En utilisant les techniques de SRPIR fécales pour déterminer la qualité de la ration pour le cerf à queue blanche au Texas, USA, Showers *et al.* (2006) ont examiné la capacité de l'IDNV à prédire celle-ci. Ils ont relevé de fortes relations statistiques entre l'IDNV et les variables de qualité de la ration (protéine brute, matière organique dispersible et phosphore) pour toutes les saisons ( $r^2 > 0,70$ ), sauf pour le phosphore en hiver.

### 16.3.6 Interpolation géostatistique

Pour un inventaire national deS aliments pour animaux, la possibilité de cartographier la qualité du fourrage pour une région est très utile. Compte tenu de la logistique et des coûts, il s'avère peu pratique de collecter suffisamment de données à partir du terrain par méthodes directes ou indirectes, pour mener à bien une telle tâche. Toutefois, des techniques d'interpolation comme le co-kriging peuvent être commodes en cartographiant des variables coûteuses, difficiles à collecter étant donné la disponibilité d'une seconde variable corrélée plus aisée et moins dispendieuse à collecter. Le co-kriging est une technique d'interpolation géostatistique qui calcule des estimations pour des points inconnus en appliquant la moyenne linéaire des poids des échantillons disponibles des variables primaire et secondaire. La variable secondaire (co-variable) est cruci-corrélée avec la première variable d'intérêt et est habituellement échantillonnée plus fréquemment et plus régulièrement (Isaaks et Srivastava, 1989), ce qui permet d'estimer les points inconnus par les deux variables. L'imagerie par télédétection fournit un ensemble de données dense et exhaustif pouvant servir comme variable secondaire pour une interpolation géostatistique, puisqu'une corrélation (à la fois directe et spatiale) existe entre la variable primaire et la secondaire (Dungan, 1998). Le Co-krigeage de la qualité du fourrage a été testée au Ghana en appliquant comme variable primaire les attributs de qualité de la ration estimés par les techniques de SRPIR fécales et l'IDNV comme seconde variable (Awuma *et al.*, 2007). Les attributs de qualité de la ration (protéine brute et matière organique digestible) ont été collectés à partir du bétail de ménages sélectionnés au cours de 2000. Les variables de qualité de la ration ont été appariées avec l'IDNV extrait pour les pixels au site et à la date de la récolte fécale. La qualité de la ration et les données IDNV ont été sujets à une analyse co-kriging et des cartes ont été produites pour les variables de qualité de la ration. Les résultats de validation ont indiqué que cette analyse a réalisé un travail raisonnable en prédisant la protéine brute en saison sèche ( $r^2 = 0,687$ ) mais pas aussi performant en saison des pluies ( $r^2 = 0,513$ ). Pour la matière organique digestible, la prévision fut faible en saison sèche ( $r^2 = 0,13$ ), mais raisonnablement meilleure en saison humide ( $r^2 = 0,548$ ). Il a été supposé que ceci fût dû à la couverture arbustive de certaines zones d'échantillonnage qui ne contribuait pas à la disponibilité fourragère pour le bétail, mais augmentait le signal de verdure pour l'IDNV. Les résultats de cette étude indiquent que la technique des cartographies de la qualité du fourrage est faisable mais qu'une étude complémentaire et une validation sont nécessaires pour améliorer les résultats à fin d'utilisation pour des programmes nationaux.



## 16.4 UTILISATION DES MODÈLES DE SIMULATION POUR L'ESTIMATION QUANTITATIVE DU FOURRAGE

La modélisation par simulation offre des capacités uniques pour l'estimation quantitative du fourrage au sein d'un programme d'inventaire national des aliments pour animaux. Quoique les efforts initiaux nécessaires pour paramétrer, calibrer, et valider ce modèle de simulation peut s'avérer chronophage et coûteux, spécialement pour une action nationale, les capacités offertes, telles que le contrôle en temps proche du réel, le pouvoir de prévision, et l'exploration d'alternatives, en fait un choix attractif pour un programme national d'inventaire des aliments pour animaux. L'emploi des modèles de simulation pour l'analyse des parcours et pâturages s'est accru dans les dernières trente années, en relation à l'augmentation des capacités informatiques, l'accessibilité aux langages de programmation, et la disponibilité de données pour le paramétrage des modèles. Les modèles de simulation pour les parcours/pâturages présentent différents niveaux de complexité et beaucoup d'entre eux sont conçus non seulement pour simuler la production de biomasse, mais aussi d'examiner d'autres aspects comme l'hydrologie, les plantes, les animaux et l'économie (Wight and Skiles, 1987; Bouraoui and Wolfe, 1990; Carlson and Thurow, 1992). Un aperçu des modèles utilisés pour la prédiction de la biomasse sur les parcours est fourni ci-dessous, simultanément avec des exemples de l'emploi de la simulation par modélisation au sein d'un cadre intégré pour la gestion des risques et la prise de décisions.

### 16.4.1 Modèles pour parcours

Un des premiers modèles exhaustifs de simulation des parcours fut "Simulation de la Production et de l'Utilisation des Parcours" (SPUP) (Wight and Skiles, 1987). SPUP simule la fonction de l'écosystème Parcours et permet l'évaluation du changement de pratique de gestion. Le modèle a une base physique et intègre des modules pour le climat, l'hydrologie, les plantes, les animaux et l'économie (Carlson and Thurow, 1992; Hanson *et al.*, 1992; Foy *et al.*, 1999; Pierson *et al.*, 2001). Le modèle SPUP a fonctionné dans plusieurs localisations, géographiques différentes pour vérifier sa capacité à prédire la production de biomasse. Par exemple, dans une étude de terrain menée dans le Texas Nord-Central, USA, Teague and Foy (2002) ont trouvé un accord correct entre le produit du modèle et la biomasse hors sol pour les herbages pendant la saison froide. Dans le Sud-Ouest de l'Idaho (USA) le produit du modèle SPUP, a été comparé avec le pic de biomasse sur pied pour les arbustes (sauge), les graminées et un mélange de diverses légumineuses (Pierson *et al.*, 2001). La biomasse *elymoïdes* (herbe à queue d'écureuil) a présenté la meilleure correspondance avec le produit du modèle pendant la période d'observation de huit années, tandis que les biomasses à *Artemisia tridentata* ssp. *Vvyomingensis* (sauge) et par Sandberg (*herbe bleue de sandberg*) correspondaient respectivement au modèle durant 4 des 8 années et 3 des huit années.

D'autres modèles de simulation capables de prédire la biomasse des parcours inclut le projet de Prédiction de l'Erosion hydrique, (Flanagan and Nearing 1995), les alternatives pour la Gestion des Terres Agricoles avec les critères d'Evaluation numérique (ALMANAC) (Kiniry *et al.*, 2002), et le modèle de Simulation Dynamique Ecologique (Childress *et al.*, 2002). Le premier d'entre eux a été développé à l'origine pour remplacer l'Equation Universelle de Perte des sols avec son premier centre d'intérêt sur l'érosion hydrique et les pertes de sédiments, mais la croissance du fourrage et le pâturage peuvent être simulés pour com-

pléter l'information sur l'érosion (Flanagan and Nearing, 1995). Le modèle ALMANAC est un modèle multispécifique qui produit la biomasse et prédit en outre la biomasse et simule les équilibres en eau et nutriments (Kiniry *et al.*, 2002). Il a été développé pour fonctionner à travers un large éventail de sols et de conditions climatiques et est actuellement utilisé comme modèle de simulation pour l'évaluation de la biomasse du Programme d'évaluation des effets sur la conservation des Parcours au sein du Département Américain de l'Agriculture; Le modèle EDYS est un modèle général méthodologique pour les parcours, capables de modéliser les changements dans la biomasse, ainsi que les processus écologiques pertinents, tels que la perturbation physique, le prélèvement des croûtes végétaux, les feux, les herbivores et les activités de gestion (Childress *et al.*, 2002). Il peut modéliser ces dynamiques au niveau de la parcelle, mais peut également fonctionner dans un environnement grillagé, afin de capturer la variabilité spatiale et permettre l'échelonnage. Le modèle a été employé pour examiner les impacts de l'entraînement militaire sur la végétation et l'érosion du sol, les impacts des troupeaux de wapitis sur les pâturages hivernaux et l'habitat des espèces en danger et des invasions d'espèces végétales ligneuses.

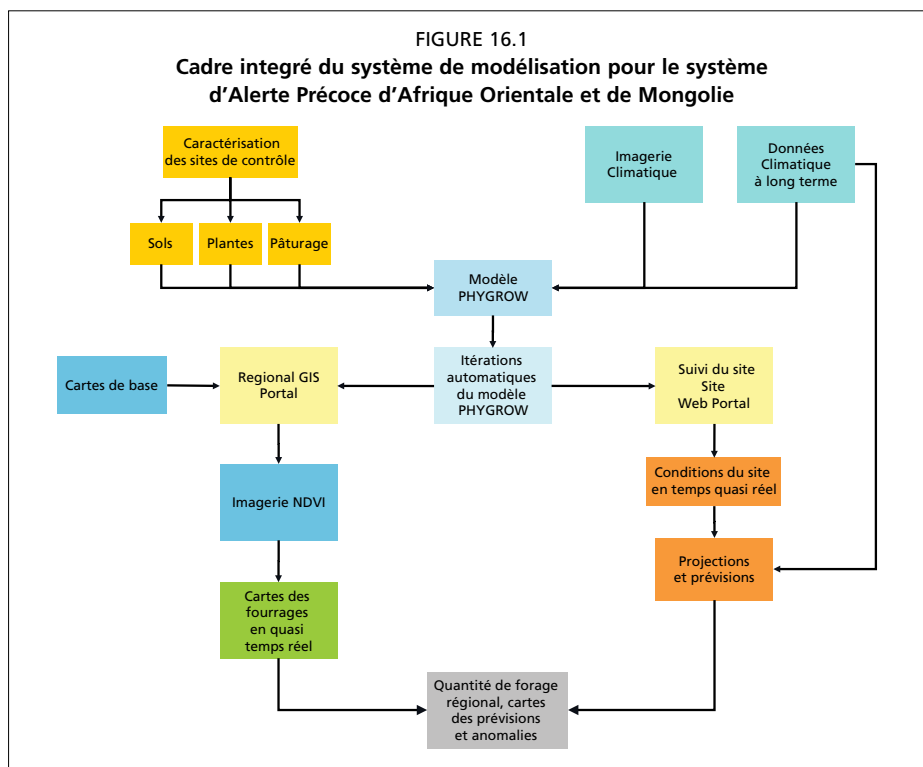
Un autre modèle biophysique exhaustif pour les parcours est le Modèle de simulation pour la croissance de la Phytomasse (PHYGROW) (Stuth *et al.*, 2003b). Il s'agit d'un modèle multispécifique capable de simuler la production de biomasse, la dynamique de l'eau du sol, le trop plein, le pâturage sélectif par le bétail et les taux de charge d'espèces animales multiples. Le sous-modèle de croissance végétale est un modèle efficacité d'usage léger (Montieth, 1972 1977) qui simule les conditions optimales par la croissance végétale, sans limite d'eau. Le modèle soustrait alors la croissance végétale basée sur le degré de stress hydrique, de stress de température et la demande du bétail en pâture, basée sur les variables de climat, la composition du troupeau au pâturage, et les préférences en plantes. Le sous-modèle de pâturage et de taux de charge permet à la biomasse d'être pâturée sélectivement par de nombreuses espèces/types de bétail présentant des besoins et préférences en fourrages différents (Stuth *et al.*, 2003b; Quirk and Stuth, 1995); il permet donc de prendre en compte le fourrage disponible pour l'individu qui pâture. Le modèle représente le fondement du système LEWS d'Alerte Précoce en Afrique de l'Est (Ryan, 2005; Stuth *et al.*, 2003a; Stuth *et al.*, 2005) et en Mongolie (Angerer, 2008; Bolor-Erdene *et al.*, 2008). LEWS a été développé pour évaluer les conditions fourragères en temps proche du réel afin de gérer la sécheresse et les déplacements du bétail.

Le modèle APEX (modèle de Politique agricole et d'extension de l'environnement) (Williams *et al.*, 2008) a été appliqué dans des systèmes pastoraux variés aux Etats-Unis et ailleurs pour l'évaluation des effets de la conservation et l'examen des pratiques optimales de gestion. Un des aspects particuliers d'APEX est qu'il est capable de simuler la gestion de fermes entières, de systèmes pastoraux ou de petits bassins versants afin d'examiner les pratiques en relations aux services d'écosystèmes (qualité de l'eau, qualité du sol, représentation du carbone, etc.). Le modèle permet aussi l'évaluation de différentes pratiques de gestion, tels l'installation de terrasses, de rigoles pour l'herbe, de bandes tampons, rotations, pâtures et cultures, irrigation, systèmes de drainage et gestion du fumier. Le modèle est actuellement mis à jour afin d'améliorer l'algorithme pour la simulation du pâturage sélectif afin d'étendre ses capacités pour les parcours (J. Williams, communication personnelle).

### 16.4.2 Approches intégrées

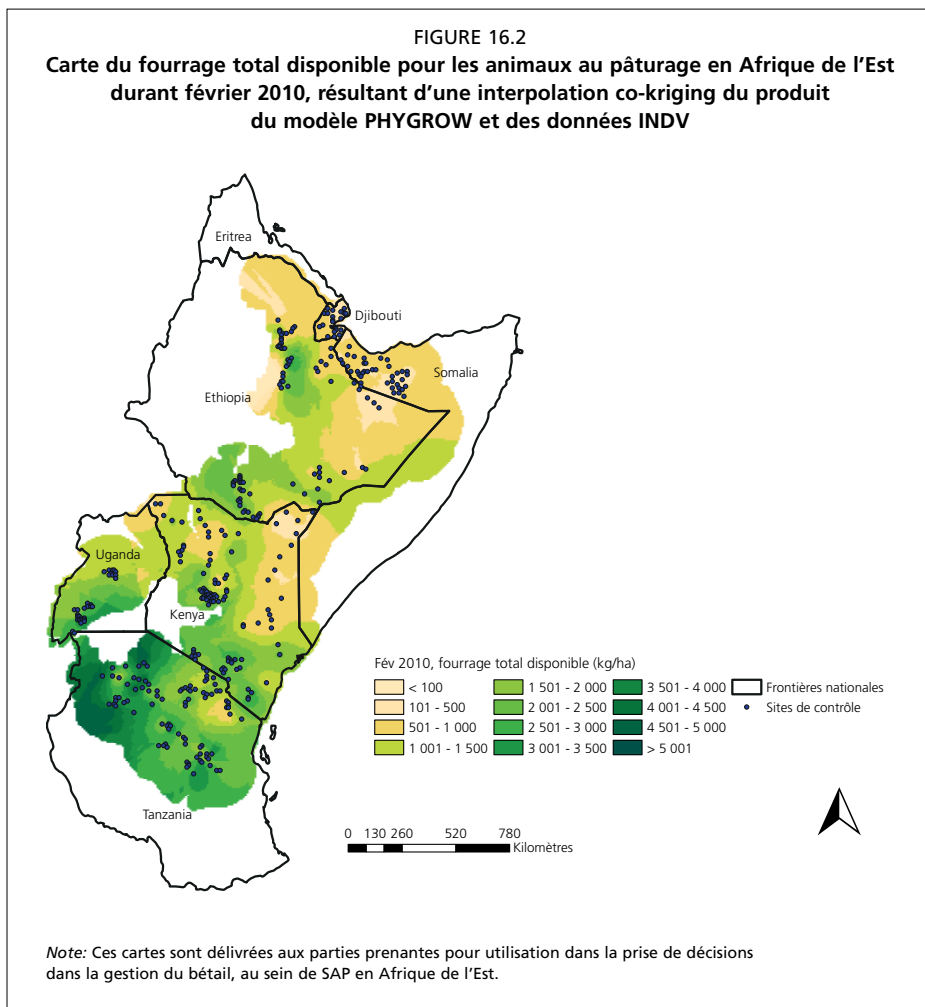
Les données récoltées sur le terrain, les produits de simulation et les données de télédétection peuvent être regroupées dans GIS afin de fournir des produits exhaustifs pouvant améliorer les résultats d'un inventaire national de aliments pour animaux. De plus, un cadre intégré de GIS peut permettre l'emploi d'outils géostatistiques; ceux-ci pourront procurer des points sur la quantité et la qualité de fourrage ou améliorer l'interpolation en prenant avantage de corrélations croisées entre les données de fourrage et les variables de télédétection.

Un exemple d'approche intégrée pour une évaluation de la quantité du fourrage à un niveau régional est le système d'Alerte Précoce pour le bétail (LEWS) en Afrique de l'Est (Stuth *et al.*, 2003a; Stuth *et al.*, 2005) et en Mongolie (Angerer, 2008; Bolor-Erdene *et al.*, 2008). LEWS a été développé pour fournir des estimations en temps proche du réel de la biomasse fourragère et sa déviation à partir des conditions moyennes (anomalies) afin de procurer aux pastoralistes, des décideurs politiques et autres parties prenantes l'information sur les conditions fourragères prévalentes afin d'améliorer la prise de décisions sur la gestion des risques. Le système combine la collecte de données de terrain d'une série de sites de contrôle, de produits de modèles de simulation, des prévisions statistiques et des GIS afin de produire des cartes régionales des conditions actuelles et prévues, des conditions fourragères (Figure 16.1). Le système utilise le modèle de simulation PHYGROW comme outil primaire pour l'estimation des conditions fourragères. Les données sur la végétation, les sols et les animaux au pâturage sont récoltées auprès des sites de contrôle sur le terrain et sont stockées dans la base de données du modèle PHYGROW. Les données climatiques



proviennent des sources nationales et sont également stockées dans la base de données. Les données servent à paramétrer et calibrer le modèle. Celui-ci fonctionne à intervalles de 15 jours pour chaque site de contrôle et les produits sont rendus disponibles via le portail web GIS. Pour produire des cartes de conditions fourragères, le fourrage total disponible pour le bétail représente le produit pour chaque site de contrôle et est intégré avec les données d'IDNV pour la région. Une interpolation co-kriging est alors menée pour créer des cartes régionales de fourrage disponible. Des cartes d'anomalie (déviations par rapport aux moyennes à long terme) des conditions fourragères sont produites également afin de fournir aux parties prenantes régionales et locales la possibilité de comparer les conditions actuelles à celles du passé et d'identifier des zones de sécheresse et pauvres en fourrage.

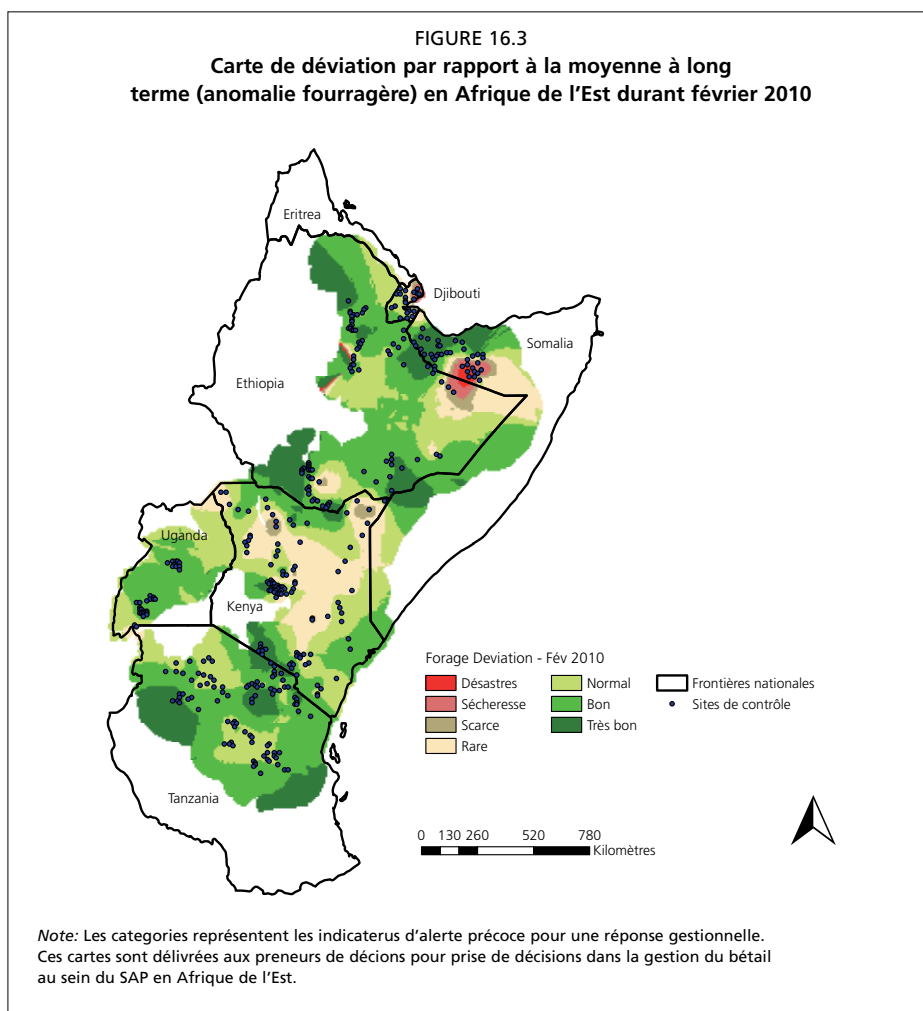
Le système LEWS incorpore également un système statistique de prévisions fournissant une projection des conditions fourragères disponibles à 60 jours utilisant GIS, les cartes de disponibilité de fourrage total et d'anomalies pour l'Afrique de l'Est sont combinées aux cartes de base et délivrées aux parties prenantes.



Installer un système tel que LEWS pour un inventaire national des aliments pour animaux requiert un investissement pour la collecte des données de terrain dans les sites de contrôle sélectionnés à travers la région. Au cours des visites initiales, les données de terrain rassemblées servent à paramétrer et calibrer le modèle de simulation. Des visites de terrain suivantes aux sites de contrôle sont nécessaires pour un calibrage complémentaire et une validation du modèle afin de s'assurer que les produits du modèle soient précis. De plus, les investissements en infrastructures informatique et en bases de données sont nécessaires afin d'adapter la modélisation par simulation, de stockage des données et l'intégration GIS.

### 16.4.3 Modèles d'écosystèmes

Les modèles d'écosystèmes donnent l'occasion d'examiner, de manière intégrée, les processus écologiques et gestionnels complexes pouvant influencer la biomasse fourragère et les modifications de qualité au cours du temps. Plutôt que de se fier aux relations empiriques, aux fins de prévisions, les modèles d'écosystème sont méthodologiques et conçus pour



simuler les résultats basés sur les interactions complexes entre les processus gestionnels biotiques, abiotiques et humains. Pour un système national d'inventaire des aliments pour animaux, l'utilisation d'un modèle d'écosystème fournit la possibilité d'examiner de manière holistique, les processus de production fourragère et l'utilisation par les herbivores. Les causes spécifiques pour les déficits ou les surplus en aliments pour animaux sont également explorées pour déterminer où des mesures d'allégement sont nécessaires et où des améliorations peuvent être apportées au système.

Le modèle SAVANNA (Coughenour, 1993; Chapitre 15 de ce manuel) est un modèle d'écosystème utilisé extensivement sur les parcours d'Afrique de l'Est, d'Asie et des Etats-Unis (Thornton *et al.*, 2006, Wiesberg *et al.* (2006). Il est méthodologique, explicite spatialement, ce qui permet de simuler les changements de qualité et de quantité de fourrage suivant le climat, la situation du territoire, la communauté végétale, la sélectivité herbivore et la gestion des terres. Le modèle est intégré avec GIS pour permettre aux strates des données de télédétection et spatiales d'être aisément incorporées dans le cadre du modèle. Il contient des modules, pour les sites hydrologiques, des dynamiques, des populations végétales, la production de biomasse végétale, le bilan énergétique et la dynamique de la population herbivore. Il est unique dans sa capacité à simuler les déplacements des animaux au pâturage en réponse aux conditions fourragères qualitatives et quantitatives, à la distribution de l'eau et à la topographie en plus des changements de la structure de la population et de la productivité du troupeau dues aux modifications de la végétation en quantité et qualité (Ellis and Coughenour, 1998). Le modèle SAVANNA a été développé à l'origine pour l'examen de la dynamique de l'écosystème et des stratégies de lutte des pastoralistes dans la région de Turkana au Kenya, et a, depuis été adaptée à de nombreuses autres régions et systèmes de pâturage (Boone and Wang, 2007; Ellis and Coughenour, 1998). Il a été appliqué pour évaluer la dynamique des grands herbivores en situation de restriction fourragère dans une large variété d'écosystèmes à travers le monde (Coughenour 1999, 2002, 2005; [www.nrel.colostate.edu/projects/savanna](http://www.nrel.colostate.edu/projects/savanna)). Une attention égale est apportée à l'animal et aux réponses végétales en termes d'ingestion fourragère, bilan énergétique, distribution spatiale et dynamique des populations; une comparaison de cette approche par modélisation avec d'autres est fournie par Weisberg *et al.* (2006). Christensen *et al.* (2003) ont utilisé le modèle pour examiner les différences de productivité et la dynamique du bétail au pâturage sous différents taux de charge afin de fournir des aperçus sur la durabilité des pâturages de Mongolie Intérieure face à la pression croissante de pâturage. Ils ont identifié les seuils à partir desquels une augmentation de la pression de pâturage conduit à des modifications de la végétation herbacée vers des communautés végétales arbustives. Boone and Wang (2007) ont utilisé le modèle SAVANNA pour évaluer la dynamique des populations bovines sous des régimes climatiques variés en Afrique et ont découvert que le total et la variété des précipitations n'étaient pas toujours liés avec des changements de population bovine au cours du temps. Plumb *et al.* (2009) ont utilisé le modèle pour examiner les capacités de charge pour le bison dans le parc national du Yellowstone, USA, et ont pu recommander un effectif général de bisons que pouvait supporter le parc.

En utilisant un modèle d'écosystème comme SAVANNA pour un programme national d'inventaire de aliments pour animaux sur les parcours, un montant important de temps et d'efforts doivent être dépensé pour acquérir les strates de données GIS et pour collecter les

données végétales et animales pour paramétrer le modèle. Cependant, une fois le modèle paramétré et calibré, non seulement les estimations de biomasse fourragère et leur qualité peuvent être examinées et mises sur cartes, mais une gamme entière d'autres produits peut également être mise à la disposition des décideurs pour comprendre les causes sous-jacentes de déficits et surplus en aliments pour animaux.

## **16.5 INFLUENCE DU TERRAIN, DE LA DISTRIBUTION EN EAU ET D'AUTRES FACTEURS SUR LA DISPONIBILITE FOURRAGÈRE**

Dans des sections antérieures, le concept de fourrage disponible a été introduit et le besoin de définir le fourrage à mettre spécifiquement à la disposition des animaux intéressés a été discuté. D'autres facteurs pouvant influencer cette disponibilité, comportent le terrain, la distance à l'eau et la pénétration au sein des arbustes et des arbres. L'espèce animale au pâturage est également importante à considérer car différentes espèces et classe d'animaux au pâturage diffèrent par leur capacité à s'accommoder à ces facteurs.

### **16.5.1 Terrain**

Des caractéristiques territoriales peuvent influencer le mode d'utilisation de la végétation pour le bétail. La pente du terrain peut représenter un facteur primaire pour l'accessibilité au fourrage par les animaux. Pour les bovins, les pentes escarpées sont difficiles à gravir: de ce fait, l'utilisation du fourrage par les bovins sur des pentes à plus de 60% est, en général, très faible. Holechek *et al.* (2001) fournissent des directives à prendre en compte pour la réduction de la capacité à paître pour les bovins, basées sur le pourcentage de pente.

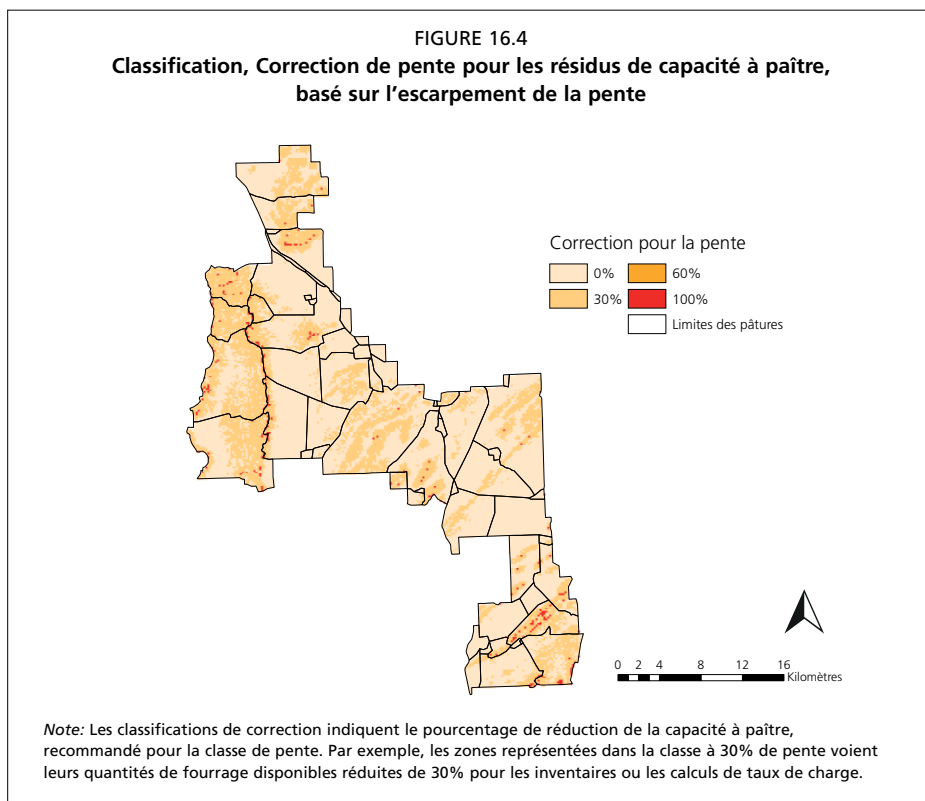
De 0% à 10%, pas de réduction; de 11% à 30% et de 31 à 60%, réduction de 30% à 60% de la capacité à paître. Les pentes supérieures à 60% sont considérées inaccessibles pour les bovins; la capacité à paître est donc réduite de 100%. Ovins et caprins, de par leur gabarit plus petit, et des dimensions de leurs sabots, peuvent se déplacer et utiliser la végétation sur des pentes plus fortes. Dans leurs directives pour la réduction de la capacité à paître des ovins, Holechek *et al.* (2001) recommandent que les pentes de plus de 45% soient considérées comme inutilisables.

La détermination du pourcentage de pente pour calculer la réduction de capacité à paître peut s'effectuer en utilisant les données du logiciel GIS et du Modèle d'Élévation Digitale (DEM) disponibles pour le public à partir de diverses sources gouvernementales. La résolution des ensembles de données DEM peut varier, de sorte qu'il convient de considérer la résolution appropriée pour l'analyse. Une plus haute résolution des données DEM peut capturer plus de détails sur la variation de pente à travers le terrain, mais peut augmenter le temps d'analyse et les besoins en stockage de données. Une fois les pourcentages de pente, déterminés, le logiciel GIS peut évaluer les réductions appropriées de la capacité à paître (ou la disponibilité en fourrage) en se basant sur l'escarpement de la pente et le type d'animal. La Figure 16.4 dépeint une classification GIS des pentes en fonction de la réduction de la capacité à paître suivant le protocole ci-dessus pour les bovins.

Un autre facteur de terrain pouvant influencer l'utilisation du fourrage sur le terrain est son caractère inégal ou rocailleux. Les bovins évitent généralement les surfaces rocheuses, tandis que les ovins et les caprins s'y déplacent plus aisément. Par exemple, Hohlt *et al.* (2009) ont observé que les bovins préfèrent paître sur des types de sol et des régions où

la couverture rocheuse est inférieure à 30%. Evaluer le degré d'inégalité ou la couverture rocheuse pour un terrain, est difficile sans des mesures de terrain ou des appréciations visuelles. La photographie aérienne à haute résolution peut fournir l'information sur ces facteurs mais, vu son coût et sa disponibilité, s'avère peu pratique pour un programme local ou régional

La disposition spatiale et la densité de la végétation, spécialement en milieu arboré et arbustif, peuvent influencer la consommation de fourrage territorial par le bétail en pâture. Des massifs épais, denses d'arbustes et d'arbres peuvent s'avérer impénétrables pour certains types d'animaux et donc empêcher l'affouragement et réduire l'accessibilité au fourrage au-delà de la limite du massif. Sur les parcours mélangés d'arbustes et d'herbes de la région du Plateau Edwards au Texas, Etats Unis, Owens *et al.* (1991), ont noté que, plus la densité des arbustes augmentait, moins les bovins utilisaient l'herbe. Ils ont attribué cela à la barrière physique créée par la densité arbustive. Dans des études utilisant des capteurs GIS sur les bovins, Hohlt *et al.* (2009) ont observé que, tant sur le Plateau Edwards que dans les régions méridionales du Texas, les animaux évitaient les zones à couverture arbustive dense et épaisse. Pour évaluer la densité et l'inaccessibilité due aux arbustes, et réduisant la disponibilité fourragère, la collecte des données de terrain, la classification, ou la photographie aérienne peuvent servir à dresser des cartes de la couverture arbustive et arborée. Toutefois pour un programme d'inventaire régional et national d'aliments pour animaux, les coûts et la logistique nécessaires à cette récolte peuvent être prohibitifs.



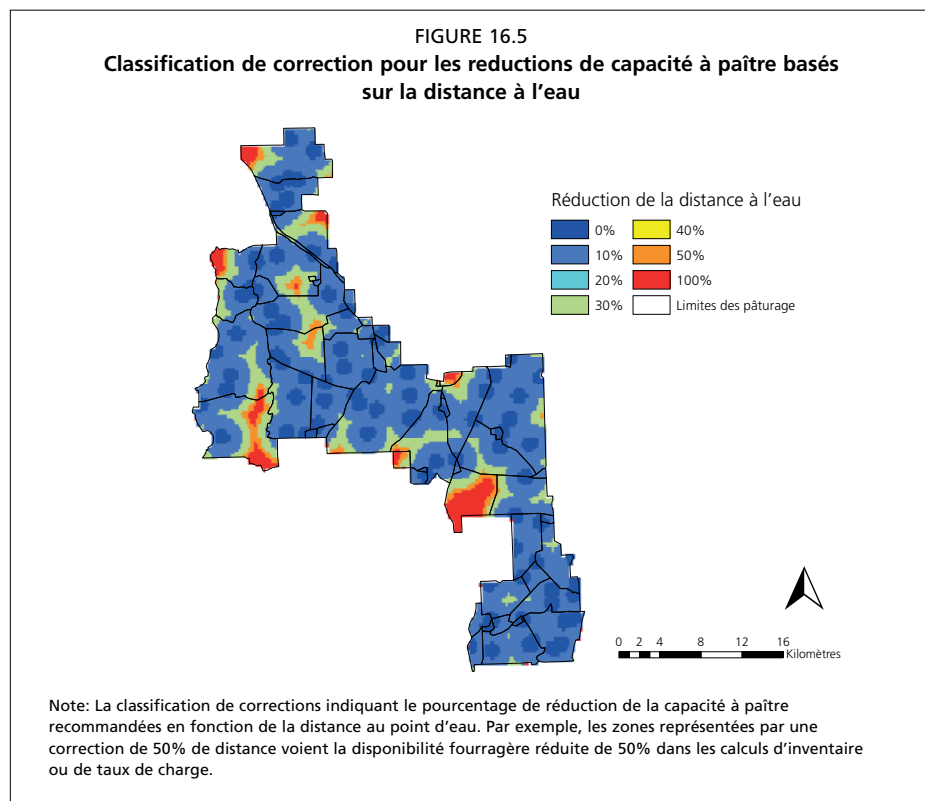


### 16.5.2 Distance à l'eau

Un autre facteur majeur influençant la disponibilité du fourrage pour le bétail est la distance à l'eau. Comme pour le terrain, le degré auquel ce facteur affecte l'accessibilité au fourrage dépend du type d'animal. Les bovins ont besoin d'eau quotidiennement pour une croissance efficace; dès lors, ils n'utilisent plus le fourrage s'ils se trouvent à plus de 3,2 km d'un point d'eau (Holechek *et al.*, 2001). Les ovins et caprins peuvent parcourir de plus grandes distances pour le fourrage car ils n'ont pas besoin d'eau chaque jour (McDaniel et Tiedeman, 1981). Les races bovines des régions arides requièrent également moins d'eau. Les camelins, avec leur adaptation unique de subsister sans eau pendant de longues périodes, sont à même de pâturer fort loin d'un point d'eau.

Holechek *et al.* (2001) fournissent des directives pour les réductions de capacité des bovins à paître avec l'accroissement des distances à l'eau. Pour des distances entre 0 à 1,6 km, aucune réduction. Pour des distances de 1,6 à 3,2 km, une réduction de 50% est recommandée. Pour des distances supérieures à 3,2 km, une réduction de 100% est recommandée.

Développer une carte des réductions de la capacité à paître peut aisément être construite en utilisant le logiciel GIS, sous condition que la localisation des points d'eau soit connue; Des tampons de distanciation peuvent être installés autour de chaque point d'eau et être fondus afin de former une couverture de réduction de capacité à paître. La Figure 16.5 représente une carte de réductions de capacité à paître au sein d'un système de pâturages.



Pour incorporer les réductions de capacité à paître dus à la distance à l'eau dans un programme régional ou national d'inventaire des aliments pour animaux, une base de données exhaustive sur la localisation géographique de l'eau est nécessaire. Cette base de données doit être périodiquement mise à jour afin d'y ajouter de nouveaux sites et fournir des actualisations pour les points d'eau déjà introduits dans le système.

## **16.6 ÉVALUATION DES REPONSES DE PRODUCTION ANIMALE AUX QUANTITÉS ET QUALITÉS DU FOURRAGE**

Du fait que la production animale sur les pâturages et parcours représente une contribution significative à l'ensemble du PIB dans de nombreux pays et une composante de la richesse et du bien-être de nombreuses personnes, spécialement les pastoralistes, son évaluation par rapport à la qualité et aux quantités de fourrage est importante à contrôler au niveau national ou régional. Beaucoup de pays mènent des inventaires du bétail, mais comparent rarement les effectifs animaux avec la base fourragère, afin de s'assurer de la capacité productive ou de la durabilité des ressources fourragères. Dans les sections suivantes, seront discutées les considérations sur la capacité et le taux de charge, et le bilan nutritionnel, ainsi que les voies par lesquelles un programme d'inventaire national des aliments pour animaux peut être appliqué pour rassembler l'information pour une production animale durable et une gestion améliorée des aliments pour animaux.

### **16.6.1 Considérations sur la capacité et le taux de charge**

Une fois qu'un inventaire national ou régional de la biomasse fourragère est mené à travers des mesures directes, des modèles de simulation, des méthodes de télédétection ou leur combinaison, la biomasse fourragère devra alors être traduite en effectifs d'animaux qu'elle pourra supporter. Le taux de charge peut être défini comme le nombre d'animaux pouvant être réparti sur une surface de terrain donnée pour une période spécifique. La capacité à paître ou la capacité de charge peuvent être définis comme le taux de charge maximal pour une surface donnée utilisée année après année sans endommager la végétation ni les ressources associées (sol, qualité de l'eau, etc...) (Holechek *et al.*, 2001). En utilisant l'information sur la biomasse fourragère, les caractéristiques animales au pâturage, et d'autres catégories de données comme la pente du terrain et la distance à l'eau, il est possible de calculer un taux de charge pour l'animal considéré.

Ce calcul est mené en quatre phases: 1) détermination du fourrage disponible; 2) ajustements pour la pente et la distance à l'eau; 3) calcul de la demande fourragère 4) calcul du taux de charge. Pour la première étape, la qualité du fourrage disponible pour l'animal considéré peut être évaluée en utilisant les outils et méthodologies décrites dans les sections antérieures. Comme discuté antérieurement, la quantité de fourrage disponible pour un animal donné sur un territoire dépend des espèces végétales présentes et des préférences nutritionnelles de celui-ci. Dès lors, les estimations de biomasse fourragère déterminées à travers l'inventaire nationale des aliments pour animaux doit être séparé en fourrage disponible pour chaque animal au pâturage afin de pouvoir calculer les taux de charge. Du fait d'un chevauchement nutritionnel entre les animaux au pâturage, une attention particulière doit être apportée en séparant la biomasse fourragère correctement là où existent ces possibilités de chevauchement, autrement trop d'animaux risquent d'être répartis sur une parcelle donnée.

Une fois déterminé le fourrage disponible, les ajustements pour la pente et la distance à l'eau seront calculés. Cela peut être effectué dans une GIS où la catégorie de données de biomasse fourragère disponible sera multipliée par les corrections pour la pente (Figure 16.6) (Figure 16.4) et pour la distance à l'eau (Figure 16.5), afin de produire une carte du fourrage utilisable (Figure 16.7). Ce dernier peut être lié à une limite (clôture, limite administrative) afin de donner le poids total de fourrage utilisable pour la zone d'intérêt.

Dès que le fourrage utilisable est déterminé, la demande fourragère de l'animal au pâturage sera quantifiée. L'ingestion en MS de la plupart des ruminants est de 2% du poids vif corporel (Holechek *et al.*, 2001). Dès lors, ce dernier sera multiplié par 0,02 pour connaître l'ingestion quotidienne de fourrage. Ce qui sera ensuite multiplié par la durée (jours) de séjour au pâturage pour aboutir aux besoins fourragers de l'animal pendant la période considérée (kg/ha/période).

Pour le calcul du taux de charge, le fourrage total utilisable (phase 2) sera séparé en fourrage durablement utilisé par l'animal au pâturage (pourcentage d'utilisation admissible) et les résidus abandonnés sur le site pour protéger le sol et régénérer les végétaux. Le pourcentage d'utilisation admissible varie selon le type de végétation et le climat, généralement de 25% à 50%. Holechek *et al.* (2001) ont fourni des directives sur les différentes valeurs d'utilisation pour différents types de végétation et régimes de pluies; après avoir multiplié le fourrage total utilisable par le pourcentage d'utilisation admissible, s'obtient le poids total en kg de fourrage disponible pour la pâture. Ce montant est alors divisé par la demande fourragère (phase 3) pour fournir le nombre total d'animaux pouvant pâturer la zone d'intérêt.

Les étapes pour calculer le taux de charge (adapté de Holechek *et al.*, 2001) sont résumés ci-dessous:

1. *Détermination du fourrage disponible (kg/ha/MS pour une zone déterminée).*

Évaluée par mesures directes sur terrain, méthodes de télédétection, simulation par modélisation, ou leur combinaison.

2. *Calcul du fourrage utilisable (poids total de MS) pour la zone d'intérêt.*

Fourrage disponible (kg/ha)     x correction pente  
   x correction distance à l'eau  
   x surface (ha)  
   = fourrage total utilisable pour la pâture (kg)

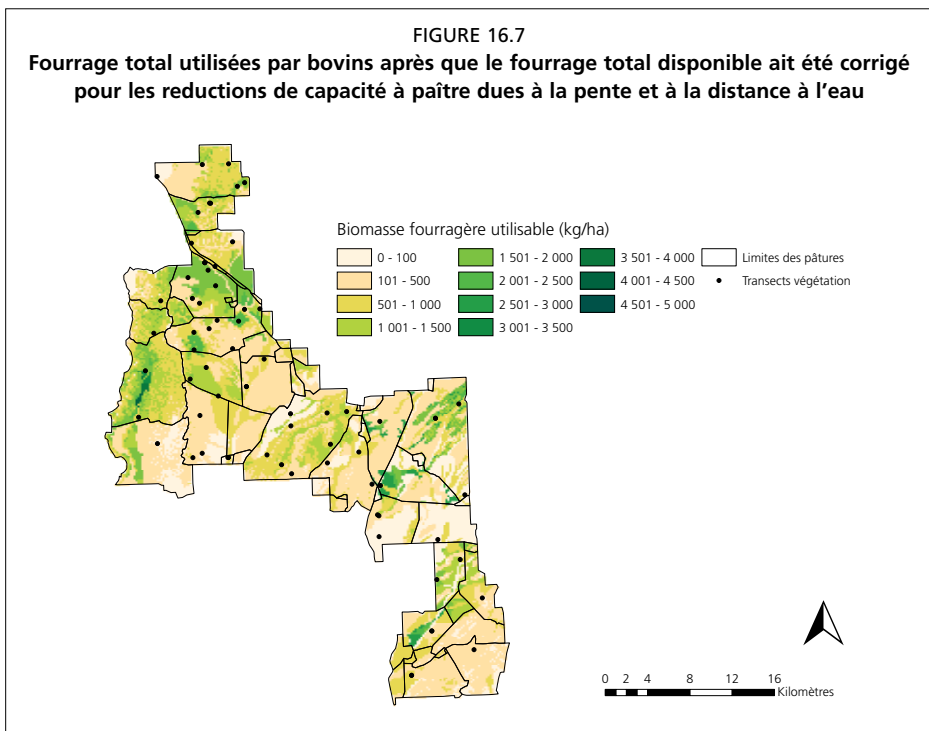
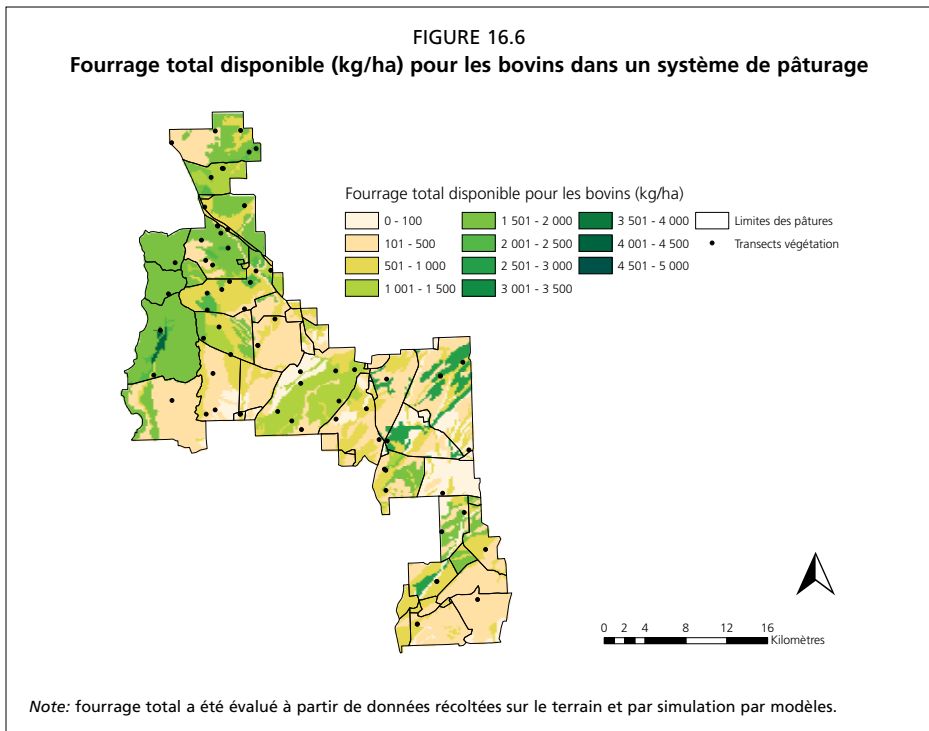
3. *Calcul de la demande en fourrage.*

Poids de l'animal                 x ingestion quotidienne de MS (2% poids vif)  
 au pâturage (kg)                 x durée du séjour en pâture (jours)  
   = demande fourragère par animal pour la période  
   de pâturage (kg).

4. *Calcul du taux de charge.*

Fourrage total utilisable (kg)   x usage admissible en pourcentage  
   ÷ demande fourragère par animal (kg)  
   = nombres d'animaux au pâturage (têtes)

Une considération importante doit être apportée à l'utilisation du fourrage par la faune sauvage, ainsi qu'aux événements qui peuvent réduire la masse fourragère, comme le feu. Dans des régions, comme l'Afrique, bétail et faune sauvage pâturent sur les mêmes



surfaces. Prendre en compte l'affouragement de la faune sauvage est donc extrêmement important, autrement les calculs des taux de charge aboutissent à affecter plus d'animaux qu'une zone peut durablement supporter. De même, pour les inventaires nationaux, il est important de posséder une cartographie détaillée des limites des parcs nationaux, des réserves, et des zones non pâturables, afin que ces zones ne soient pas incluses dans les inventaires fourragers et les analyses du taux de charge.

### 16.6.2 Bilans nutritionnels

Pour des évaluations de qualité de fourrage, des outils de décision pour bilans nutritionnels peuvent se révéler utiles en intégrant des besoins en aliments pour animaux supplémentaires afin d'améliorer/maintenir la production et des stratégies optimales pour une alimentation complémentaire pendant les périodes de déficit fourrager des parcours. Un logiciel pour bilan nutritionnel est disponible; il permet aux utilisateurs d'introduire l'information sur la qualité du fourrage consommé par les animaux ainsi que sur les aliments pour animaux complémentaires nécessaires pour maintenir les objectifs de performance. NUTBAL (<http://cnrit.tamu.edu/>), est ce type de logiciel; il modélise l'état en protéine brute et d'énergie nette pour les bovins, les ovins et caprins. Cette assistance informatisée à la décision permet à l'utilisateur d'introduire le type, la classe et la race de l'animal à contrôler, sa condition corporelle actuelle, les conditions climatiques actuelles, les objectifs de performance corporelle, et l'information sur la qualité de fourrage (protéine brute et matière organique digestible). Un bilan nutritionnel est calculé et un rapport est fourni, décrivant les conditions protéiniques et d'énergie nette de l'animal. Si un déficit en protéines ou en énergie existe une ration à moindre coût est calculée à partir d'une liste d'aliments pour animaux ou de fourrages disponibles.

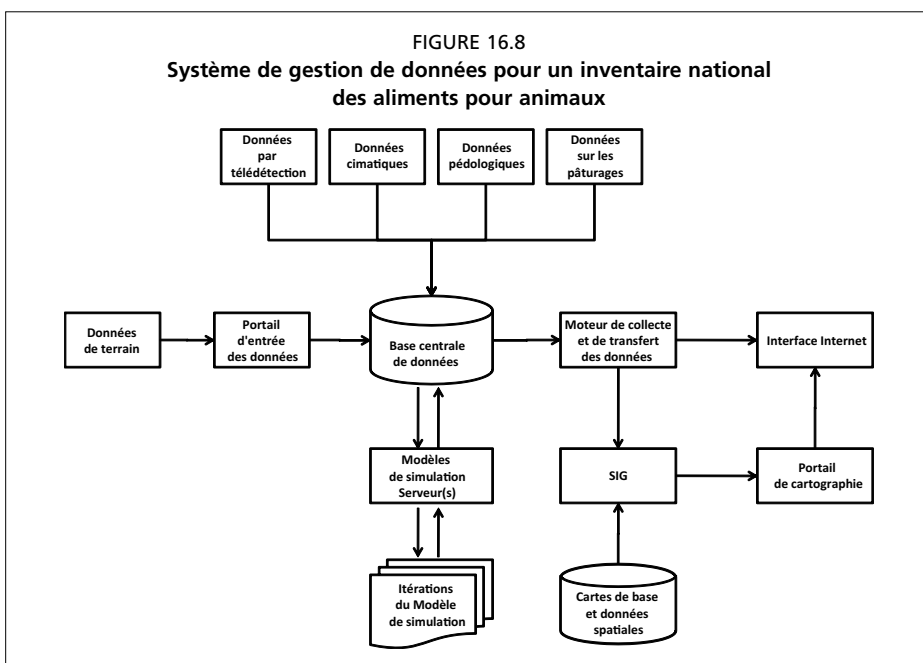
Des outils additionnels d'aide à la décision pour bilan nutritionnel comprennent le système de nutrition pour petits ruminants (<http://nutritionmodels.tamu.edu/srns.htm>) le calculateur pour les besoins nutritionnels de la chèvre de l'Université de Langston (<http://www.luresext.edu/goats/research/nutreqgoats.html>). Tous deux ont été conçus pour aborder les bilans nutritionnels des ovins et caprins.

## 16.7 GESTION DES DONNEES POUR UN PROGRAMME NATIONAL D'INVENTAIRE DES ALIMENTS POUR ANIMAUX

Pour qu'un programme national d'inventaire des aliments pour animaux soit effectué avec succès, la gestion des données et une infrastructure du contrôle de qualité sont nécessaires. La grande quantité de données générées comme partie de l'inventaire doivent être stockées dans des bases de données relationnelles afin de faciliter leur compilation et leur disponibilité. Si la télédétection et/ou simulation par modélisation sont utilisées, des systèmes informatiques capables de manipuler et stocker ce type de données, ainsi que de faire fonctionner le logiciel efficacement, sont requis. Comme beaucoup de données sont spatiales par nature, une GIS intégrée dans la base de données de l'inventaire va faciliter l'analyse, le compte rendu et la production cartographique. Finalement, un personnel qualifié sera nécessaire pour entretenir, améliorer et dépanner le système afin de rendre celui-ci durable. La gestion des données, les besoins en GIS et personnel qui doivent être considérés pour effectuer un inventaire national de aliments pour animaux sont décrites ci-dessous.

### 16.7.1 Gestion des données et infrastructures

Indépendamment de la méthodologie utilisée pour rassembler les données sur la qualité et les quantités de fourrage, une énorme somme de données sera nécessaire et gérées pour un programme d'inventaire d'aliments pour animaux. Antérieurement à la mise en route de celui-ci un plan de gestion des données devra être développé afin de décrire comment les données seront collectées, comment et où elles seront stockées, ainsi que les méthodes pour y accéder. Une fois ce plan agréé, l'infrastructure nécessaire à soutenir le stockage et l'analyse des données devra être achetée et installée. La Figure 16.8 présente la structure générale d'un système de gestion des données pour un inventaire national des aliments pour animaux. Le cœur du système est la base centrale de données qui stocke celles-ci et permet de les récupérer aisément. Les données de terrain sont collectées et introduites dans un portail d'entrée qui s'assure que toute l'information requise est saisie dans la base centrale de données sous un format standard. Les informations par télédétection, sur le climat, les sols et les animaux au pâturage peuvent être rassemblées à partir d'autres sources et stockées dans la base de données. Dans le cas des données de télédétection et de climat, des liens peuvent exister avec des systèmes télécommandés pour l'acquisition en temps proche du réel. Si la simulation par modélisation est employée, la base centrale de données peut intégrer les données du terrain et d'autres sources pour fournir des intrants au modèle de simulation et servir de stockage pour le produit du modèle de simulation. Un moteur de transfert et d'exploitation de données extrait ces dernières et les conduit vers un portail Web ou une GIS. Le portail Web agit comme l'interface de l'utilisateur pour extraire les comptes rendus ou les données à partir de système d'inventaire d'aliments pour animaux. Les liens au GIS permet la cartographie et l'analyse spatiale des données qui peuvent être affichées via un portail cartographique ou intégré dans le portail Web.



L'équipement nécessaire pour le système de gestion des données comporte une baie de stockage et la sauvegarde centralisée des données, des serveurs Web pour l'introduction des données et des portails web, des stations de travail ou des serveurs pour les GIS, des serveurs pour la simulation par modélisation, et des générateurs de courant complémentaires. L'infrastructure comporte un espace de sécurité pour abriter l'équipement avec les sources d'énergie et de refroidissement adaptées. Une connexion internet à grande vitesse est nécessaire pour un téléchargement efficace des données et une présence Web.

Afin de réduire les coûts informatiques, on peut acquérir un logiciel "Open source" tel que PostgreSQL (<http://www.postgresql.org/>) pour la gestion des données. Pour l'entrée et le transfert de données, le moteur d'exploitation et le portail Web, le logiciel et les pages Web doivent être conçus et codés) afin de s'adapter aux besoins spécifiques de l'inventaire national de aliments pour animaux. Pour le GIS, des systèmes mis gratuitement à disposition sont disponibles; cependant, les packs commerciaux disponibles pour GIS et analyse d'images sont plus robustes et sont capables d'adapter la cartographie et l'analyse nécessaires pour un inventaire national des aliments pour animaux. La majorité des packs commerciaux de GIS et d'analyses d'images requièrent une licence, de sorte que son coût doit être budgétisé dans les frais annuels d'entretien du système.

### 16.7.2 Personnel

Disposer de personnel qualifié disponible pour travailler avec des systèmes de gestion de la base de données est capital pour une exécution réussie d'un inventaire national d'aliments pour animaux. Un effectif minimal de 3 personnes est nécessaire pour entretenir le système. D'abord, un administrateur du système avec une expérience reconnue dans la gestion du matériel informatique et des logiciels pour les données de base d'entreprises et les serveurs Web. Ensuite, un analyste de systèmes pour les logiciels, le développement de page Web, et la restitution de données. Enfin, un spécialiste GIS pour l'analyse spatiale de l'inventaire aliments pour animaux et pour développer des produits cartographiques. Le personnel de gestion des données peut faire partie d'une équipe de technologie de l'information élargie, mais la plus grande partie de leur temps doit être consacrée à gérer le système.

### 16.8 RÉSUMÉ

Une quantification exhaustive des aliments pour animaux, est nécessaire au niveau national afin de permettre aux pays de développer des politiques pour maintenir ou accroître la production animale et pour mettre en œuvre les mesures éventuelles face à la sécheresse et autres catastrophes. Pour les systèmes de parcours de pâturages, l'estimation quantitative et qualitative du fourrage pour les inventaires d'aliments pour animaux peut représenter un défi du fait des grandes étendues occupées par les parcours/pâturages, leurs situations éloignées, et les mélanges divers d'espèces animales qui les utilisent.

Pour l'évaluation tant quantitative que qualitative du fourrage, de nombreuses méthodes ont été développées pour la mesure de ces variables; elles varient quant au niveau de précision pour les mesures quantitatives, elles comprennent les mesures directes de la végétation, l'estimation par des variables proxy, la simulation par modélisation ou leur combinaison, de temps dispensé sur le terrain et de la logistique à mettre en œuvre.

Pour des mesures de qualité, sont disponibles des méthodes directes, indirectes, ou des estimations avec variable proxy. La logistique, les coûts, la durée de collecte de données et la disponibilité en personnel qualifié peuvent tous influencer le choix de la méthode pour les deux types d'évaluation.

Les mesures directes sur le terrain donnent les résultats les plus précis pour l'évaluation de la qualité fourragère des parcours. Toutefois, ces techniques nécessitent généralement une quantité importante de temps et de ressources, surtout si la collecte de données s'effectue sur le plan national et sur une base annuelle. Les mesures de terrain pour la biomasse fourragère inclut des mesures directes où celle-ci est échantillonnée et pesée, des techniques d'estimation où le poids de la biomasse est estimé par l'observateur, ou leur combinaison. La méthode de mesure directe la plus commune est la méthode par quadrat dans laquelle une série de quadrats sont coupés sur une zone, pesés ensuite, et la moyenne des poids, permet une estimation de la biomasse fourragère. Du fait du temps requis pour couper un grand nombre de quadrats, les techniques d'estimation peuvent être appliquées afin de réduire le nombre d'échantillons prélevés et de diminuer le temps d'échantillonnage. Deux méthodes populaires sont la méthode d'unité de poids et la méthode par double échantillonnage. La méthode par unité de poids permet au personnel de terrain d'estimer la majorité des quadrats en se basant sur des unités de poids prédéterminées. La méthode du double échantillonnage combine la taille des quadrats avec une variable aisément mesurable comme la couverture végétale afin de développer une équation statistique permettant de prédire la biomasse dans les quadrats non coupés.

Pour un inventaire national qui s'appuie sur des mesures directes ou sur les mesures par techniques d'estimation, il convient de dresser un plan d'échantillonnage permettant à la productivité régionale d'être correctement représentée et de fournir le moyen de graduer les résultats au niveau régional ou national. Le logiciel GIS et les catégories de données comme les sols, la végétation et les routes peuvent aider à stratifier les zones régionales et nationales en unités d'échantillonnage représentatives. Les régions peuvent être délimitées dans la GIS et procurent les moyens d'incorporation aux niveaux nationaux.

Les techniques de télédétection pour évaluer la biomasse fourragère comprennent les modèles de prédiction empirique et les modèles méthodologique utilisant les données de télédétection pour prédire la biomasse. Les modèles empiriques prédisent la quantité de biomasse en se basant sur une relation statistique entre la biomasse et les bandes spectrales (ou une combinaison de celles-ci) de l'imagerie de télédétection. Les modèles méthodologiques basés sur les données de télédétection impliquent généralement l'usage de variables provenant de l'imagerie de télédétection pour piloter un modèle d'efficacité d'usage léger ou similaire pour prédire la biomasse. Indépendamment du fait que soient utilisés des modèles empiriques ou méthodologiques, avec l'imagerie de télédétection pour en extraire la biomasse, les données de mesure directe sont généralement nécessaires pour développer la relation statistique ou pour valider les produits du modèle. Les désavantages de l'utilisation des techniques de télédétection pour prédire la quantité de fourrage comprennent les problèmes d'extrapolation de données à de nouvelles régions et l'incapacité des modèles de prédire la biomasse pour des animaux spécifiques en pâture. La simulation par modélisation offre des capacités uniques pour l'évaluation de la quantité de fourrage nécessaire pour un programme d'inventaire national d'aliments pour animaux. Initialement, la simulation par



modélisation peut se révéler chronophage et coûteuse en efforts pour paramétrer, calibrer et valider le modèle de simulation. Cependant, les capacités que procure la simulation par modélisation, telles que le contrôle en temps proche du réel, la prévision et l'exploration d'alternatives, en fait un choix attractif pour un programme national d'inventaire d'aliments pour animaux. Plusieurs modèles de simulation sont disponibles pour l'estimation de la biomasse fourragère sur les parcours et pâturages. Le choix du modèle sera dirigé par les besoins du programme national. Les modèles peuvent être intégrés avec un logiciel GIS et d'autres données pour améliorer la pertinence spatiale des données et/ou étendre les produits du modèle de simulation. Pour une analyse exhaustive de la production de biomasse fourragère, en relation avec des processus et des variables d'autres écosystèmes, des modèles de ceux-ci peuvent être utilisés. L'emploi de tels modèles procure la possibilité d'examiner holistiquement les processus de production fourragère, de consommation par le bétail et d'explorer les causes spécifiques pour les déficits et surplus en aliments pour animaux. Cette information peut alors être utilisée pour aider à déterminer les interventions ou décider où des améliorations peuvent être apportées dans la production fourragère.

Pour les évaluations de la qualité de fourrage, les mesures directes impliquent généralement l'observation ou l'utilisation d'animaux porteurs de fistules œsophagiennes ou du rumen. Les méthodes d'observation de l'animal comprennent la cueillette à la main de la végétation ou le décompte des coups de dent; les deux méthodes sont chronophages et requièrent l'utilisation d'animaux relativement dociles pour les observations de terrain. L'utilisation d'animaux fistulés est généralement considérée comme une des méthodes les plus précises pour obtenir des estimations sur la qualité du fourrage. Pour cette méthode, les animaux de recherche sont opérés chirurgicalement afin de créer une ouverture au niveau de l'œsophage ou du rumen. Un bouchon est placé sur l'ouverture et déplacé pour la récolte d'échantillons de fourrage; la végétation récoltée dans une poche œsophagienne ou prélevés dans le rumen est récoltée et échantillonnée pour la qualité. Les désavantages d'utiliser des animaux fistulés pour les évaluations de la qualité fourragère sont le maintien d'un troupeau spécial d'animaux à cette fin et le besoin de personnel hautement qualifié pour travailler avec ces animaux. Du fait de ce problème et de la nécessité d'échantillonner une grande étendue géographique, l'utilisation d'animaux fistulés pour les évaluations de qualité de la ration pour un inventaire national d'aliments pour animaux n'est généralement pas pratique.

Les méthodes indirectes pour déterminer la qualité de fourrage impliquent l'examen des fèces du bétail pour la recherche d'indicateurs pouvant être corrélés à la qualité du fourrage consommé par l'animal au pâturage. Les travaux antérieurs par méthodes indirectes supposaient l'examen des constituants fécaux comme l'azote fécal et les composants fibreux. Plus récemment, l'utilisation du balayage des fèces du bétail par Spectroscopie de la Réflectance proche de l'Infra Rouge s'est révélée un outil fiable pour évaluer la qualité du fourrage pâturé par les ruminants. La méthodologie, les capacités de balayage par SPPIR fécale suppose la mise au point d'équations de référence qui comparent statistiquement les caractéristiques spectrales proches de l'Infra Rouge des matières fécales du bétail avec les constituants qualitatifs (protéine brute, digestibilité, fibre) du fourrage consommé par les animaux; l'information sur la qualité de la ration nécessaire à la formulation de l'équation peut être rassemblée à partir d'essais d'alimentation sur animaux en enclos ou l'essai sur animaux fistulés et de bétail en libre parcours. Les avantages de la SRPIRF sont sa rapidité

et sa fiabilité dans l'évaluation de la facilité du fourrage consommée par l'animal, ainsi que la qualité à recueillir des échantillons sans coupe destructive. Parmi les désavantages, peuvent être cités le coût élevé évident de l'équipement SRPIR, la nécessité de mettre en œuvre des essais d'alimentation et des équations qui recouvrent la gamme de types et de qualités de fourrage, et le besoin d'une validation indépendante des équations SRPIR. Pour un inventaire national d'inventaire d'aliments pour animaux, SRPIR peut s'avérer le choix le plus pratique pour évaluer la qualité nutritionnelle à travers le pays. Cependant, le coût de l'équipement, de la formation du personnel et de la logistique pour la récolte des échantillons fécaux, peut être prohibitif.

Les approches pour utiliser les données de télédétection pour estimer la qualité du fourrage supposent généralement le développement de relations statistiques entre les données de la bande spectrale et des variables de qualité du fourrage comme la protéine brute et la digestibilité. Plusieurs études ont examiné ces dernières en relation avec l'INDV, recueilli à partir de l'imagerie de télédétection pour représenter l'état de verdure de la végétation. D'autres méthodes comprennent l'emploi de techniques d'interpolation comme le co-kriging qui permet la cartographie de la qualité du fourrage basée sur des corrélations spatiales entre les variables de qualité fourragère et des données de télédétection comme l'INDV. Les données de qualité du fourrage sont collectées dans des lieux représentatifs à travers une région et les données de co-kriging avec l'INDV permettent l'interpolation des données de qualité afin de pouvoir dresser des cartes territoriales de qualité de fourrage.

Des facteurs de terrain, tels la pente, les densités en arbres/arbustes et la distance à l'eau peuvent influencer la disponibilité de biomasse pour le bétail au pâturage, mais le degré d'influence de ces facteurs dépend de l'espèce animale. Les pentes de plus de 45° sont difficiles à gravir par la majorité du bétail, de sorte que des réserves doivent être émises sur l'utilisation de la végétation sur des régions aussi accidentées. Les régions très rocailleuses ou présentant des massifs arbustif ou arborés très denses peuvent également limiter la capacité du bétail à paître dans de telles zones. Toutefois, ovins et caprins peuvent généralement se déplacer dans ces régions du fait de leurs dimensions corporelles plus réduites et de la conformation de leurs sabots.

La distance à l'eau influence également la disponibilité ou l'utilisation du fourrage dans une région. Les bovins ont besoin d'eau quotidiennement de sorte qu'ils ne s'éloignent généralement pas de plus de 3,2 km d'un point d'eau à moins qu'ils ne soient gardiennés. Ovins et caprins peuvent pâturer sur de plus grandes distances car ils ne doivent pas être abreuvés chaque jour. Pour un inventaire des aliments pour animaux dans des zones avec des points d'eau largement distancés, des corrections doivent être apportés pour réduire l'allocation en fourrage pour certains types de bétail.

Comme la production animale sur parcours et pâturages représente une importante contribution à l'ensemble du PIB dans beaucoup de pays et une composante de la richesse et du bien-être de nombreuses populations, spécialement pastorales, l'évaluation de la production animale en relation avec la quantité et la qualité du fourrage est importante pour son contrôle au niveau national ou régional.

Le développement d'un inventaire national des aliments pour animaux pour l'évaluation de la biomasse fourragère donne l'occasion d'estimer la capacité de production par le biais du calcul du taux de charge. L'inventaire sur la qualité du fourrage peut permettre d'amé-

liorer la production animale et la gestion des aliments pour animaux à travers un bilan nutritionnel. Il peut aussi évaluer les besoins en aliments pour animaux complémentaires pour augmenter/maintenir la production et proposer les stratégies optimales de supplémentation alimentaire pendant les disettes fourragères des terrains de parcours. Pour l'exécution réussie d'un programme national d'inventaire d'aliments pour animaux, une infrastructure est nécessaire pour la gestion des données et le contrôle de qualité. Une quantité énorme de données doit être réunie, et, à cet effet, un plan de gestion de données doit être dressé au début du programme afin de préciser comment les données seront collectées, comment et où elles seront stockées, et les méthodes pour y accéder. Un système centralisé de bases de données flanqué d'un portail pour l'entrée des données de terrain et d'un portail Web pour l'extraction et la visualisation des données fournira la facilité d'utilisation et la flexibilité au sein du système. Lier la base de données à une GIS permet la cartographie et l'analyse spatiale des données qui pourront être affichées via un portail cartographique ou intégrées dans le portail Web. Du personnel qualifié est nécessaire pour soutenir le système de gestion des données et s'assurer du maintien du contrôle de qualité.

## 16.9 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al-Bakri, J. T. & Taylor, J. C.** 2003. Application of NOAA AVHRR for monitoring vegetation conditions and biomass in Jordan. *J. Arid Environ.*, 54(3): 579–593.
- Allen, V. G. & Segarra, E.** 2001. Anti-quality components in forage: Overview, significance, and economic impact. *J. Range Manag.*, 54(4): 409–412.
- Angerer, J. P.** 2008. *Examination of high resolution rainfall products and satellite greenness indices for estimating patch and landscape forage biomass*. Texas A&M University, College Station, Texas. USA. 129 pp (PhD Thesis).
- Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E. T. & Hatfield, J. L.** 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agron. J.*, 76: 300–306.
- Awuma, K. S., Stuth, J. W., Kaitho, R. & Angerer, J.** 2007. Application of normalized differential Vegetation Index and geostatistical techniques in cattle diet quality mapping in Ghana. *Outlook Agric.*, 36(3): 205–213.
- Bolor-Erdene, L., Angerer J., Granville-Ross S., Urgamal M., Narangarel D., Tsogoo D., Stewart T. & Sheehy, D.** 2008. Gobi Forage: An early warning system for livestock in the Gobi region of Mongolia. In: *Joint Meeting of the 21st International Grassland Congress and the 8th International Rangeland Congress*. Hohhot, China.
- Bonhan, C.D.** 1989. Measurements for terrestrial vegetation. Wiley, New York, 338p
- Boone, R.B. & Wang, G.** 2007. Cattle dynamics in African grazing systems under variable climates. *J. Arid Environ.*, 70(3): 495–513.
- Brown, J. R. & Thorpe, J.** 2008. Climate change and rangelands: Responding rationally to uncertainty. *Rangelands*, 30(3): 3–6.
- Bouraoui, F., Wolfe, M.L.**, 1990. Application of hydrologic models to rangelands. *J. Hydrol.* 121, 173-191.
- Brown, M.E., Pinzon, J. E., Didan, K., Morisette, J.T. & Tucker, C.J.** 2006. Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-Vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM+ sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 44(7): 1787–1793.

- Carlson D.H. & Thurow T.L.** 1992. *SPUR-91: Workbook and User Guide*. Texas A&M University, Department of Rangeland Ecology and Management in cooperation with USDA Soil Conservation Service. College Station, TX Pub. No. MP-1743. pp. 259.
- Catchpole, W.R. & Wheeler, C.J.** 1992. Estimating plant biomass: A review of techniques. *Australian J. Ecol.*, 17(2): 121–131.
- Childress, W.M., Coldren, C. L. & McLendon, T.** 2002. Applying a complex, general ecosystem model (EDYS) in large-scale land management. *Ecol. Model.*, 153: 97–108.
- Christensen, L., Coughenour, M. B., Ellis, J.E. & Chen, Z.Z.** 2003. Sustainability of inner Mongolian grasslands: Application of the Savanna model. *J. Range Manag.*, 56(4): 319–327.
- Coughenour, M.B.** 1993. *SAVANNA – A Spatial ecosystem model. Model description and user guide*. Natural Resources Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA 64 pp. Available at [www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/](http://www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/).
- Coughenour, M.B.** 1999. *Ecosystem modelling of the Pryor Mountain Wild Horse Range*. Report to USGS. Biological Resources Division, National Park Service, and Bureau of Land Management. 55 pp. & 100 Figs. Available at [www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/](http://www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/).
- Coughenour, M.B.** 2002. *Elk in the Rocky Mountain National Park Ecosystem – A model-based assessment*. Final report to USGS Biological Resources Division, Ft. Collins, Colorado and U.S. National Park Service, Rocky Mountain National Park. 125 pp. 116 Figs. Available at [www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/](http://www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/).
- Coughenour, M.B.** 2005. *Spatial modelling of Yellowstone Bison and their environments*. Final Report to U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Bozeman, MT, USA. (Three-part report. 93 pp. 100 figures & 73 tables. Available at [www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/](http://www.nrel.colostate.edu/projects/savanna/).
- Cracknell, A.P.** 2001. The exciting and totally unanticipated success of the AVHRR in applications for which it was never intended. *Adv. Space Res.*, 28(1): 233–240.
- Decruyenaere, V., Buldgen, A. & Stilmant, D.** 2009. Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: a review. *Biotechnol. Agron. Soc. et Environ.*, 13(4): 559–573.
- Devries, M.F.W.** 1995. Estimating forage intake and quality in grazing cattle - a reconsideration of the hand-plucking method. *J. Range Manag.*, 48(4): 370–375.
- Dixon, R. & Coates, D.** 2009. Review: Near infrared spectroscopy of faeces to evaluate the nutrition and physiology of herbivores. *J. Near Infrared Spectros.*, 17(1): 1–31.
- Dixon, R.M. & Coates, D.B.** 2010. Diet quality estimated with faecal near infrared reflectance spectroscopy and responses to N supplementation by cattle grazing buffel grass pastures. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 158(3–4): 115–125.
- Dungan, J.** 1998. Spatial prediction of vegetation quantities using ground and image data. *International J. Remote Sens.*, 19(2): 267–285.
- Ellis, J.E. & Coughenour, M.B.** 1998. The SAVANNA integrated modelling system: an integrated remote sensing, GIS and spatial simulation modelling approach. In V. R. Squires & A. E. Sidahmed, eds. *Drylands: Sustainable use of rangelands into the twenty-first century*. IFAD Series Technical Report. pp. 97–106.
- Espach, C., Lubbe, L.G. & Ganzin, N.** 2009. Determining grazing capacity in Namibia with the aid of remote sensing. *African J. Range Forage Sci.*, 26(3): 133–138.

- Fales, S.L. & Fritz, J.O.** 2007. Factors affecting forage quality. In R. F. Barnes, D. A. Miller & C. J. Nelson, eds. pp. 569–580. *Forages, Volume 2: The Science of Grassland Agriculture*. Ames, Iowa. Blackwell Publishers, USA.
- Flanagan, D.C. & Nearing, M.A.** 1995. *WEPP technical documentation*. National Soil Erosion Research Lab, West Lafayette, Indiana, USA.
- Foody, G. M.** 2003. Geographical weighting as a further refinement to regression modelling: An example focused on the NDVI–rainfall relationship. *Remote Sens. Environ.*, 88: 283–293.
- Foy, J.K., Teague, W.R. & Hanson, J.D.** 1999. Evaluation of the upgraded SPUR model (SPUR2.4). *Ecol. Modelling*, 118(2–3): 149–165.
- Frank, A.B. & Karn, J.F.** 2003. Vegetation indices, CO<sub>2</sub> flux, and biomass for Northern Plains grasslands. *J. Range Manag.*, 56(4): 382–387.
- Ganskopp, D. & Bohnert, D.** 2006. Do pasture-scale nutritional patterns affect cattle distribution on rangelands? *Rangeland Ecol. Manag.*, 59(2): 189–196.
- Gitelson, A.A.** 2004. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *J. Plant Physiol.*, 161(2): 165–173.
- Glasser, T., Landau, S., Ungar, E.D., Perevolotsky, A., Dvash, L., Muklada, H., Kababya, D. & Walker, J. W.** 2008. A fecal near-infrared reflectance spectroscopy-aided methodology to determine goat dietary composition in a Mediterranean shrubland. *J. Anim. Sci.*, 86(6): 1345–1356.
- Gordon, I.J.** 1995. Animal-based techniques for grazing ecology research. *Small Rumin. Res.*, 16(3): 203–214.
- Hanson J.D., Baker B.B. & Bourdon R.M.** 1992. *SPUR2 documentation and user guide*. GPSR technical report No. 1. pp. 24. US Dept. of Agric. USA.
- Herrick, J., Van Zee, J., Havstad, K., Burkett, L. & Whitford, W.** 2005. *Monitoring manual for grassland, shrubland, and Savanna ecosystems, Vol II. Design, supplementary methods and interpretation*. USDA Jornada Experimental Range. University of Arizona Press, Tucson AZ, USA. pp. 236.
- Hirschfeld, D.J., Kirby, D.R., Caton, J.S., Silcox, S.S. & Olson, K.C.** 1996. Influence of grazing management on intake and composition of cattle diets. *J. Range Manag.*, 49(3): 257–263.
- Hohlt, J.C., Lyons, R.K., Hanselka, C.W. & McKown, D.** 2009. *Estimating grazeable acreage for cattle*. Texas AgriLife Extension Service, College Station, TX. Texas AgriLife Extension Publication B-6222, USA.
- Holecheck, J.L., Vavra, M. & Pieper, R.D.** 1982. Methods for determining the nutritive quality of range ruminant diets: A review. *J. Anim. Sci.*, 54(2): 363–376.
- Holechek, J., Pieper, R.D. & Herbel, C.H.** 2001. *Range Management: Principles and Practices*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., USA.
- Holechek, J.L., Vavra, M. & Arthun, D.** 1982. Relationships between performance, intake, diet nutritive quality and fecal nutritive quality of cattle on mountain range. *J. Range Manag.*, 35(6): 741–744.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. & Ferreira, L.G.** 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.*, 83(1–2): 195–213.
- Hunt, E.R. & Miyake, B.A.** 2006. Comparison of stocking rates from remote sensing and geospatial data. *Rangeland Ecol. Manag.*, 59(1): 11–18.

- Hurcom, S.J. & Harrison, A.R.** 1998. The NDVI and spectral decomposition for semi-arid vegetation abundance estimation. *Int. J. Remote Sens.*, 19(16): 3109–3125.
- Isaaks, E.H. & Srivastava, R.M.** 1989. *Applied geostatistics*. Oxford University Press, New York, USA.
- Kawamura, K., Akiyama, T., Yokota, H., Tsutsumi, M., Yasuda, T., Watanabe, O., Wang, G. & Wang, S.** 2005. Monitoring of forage conditions with MODIS imagery in the Xilingol steppe, Inner Mongolia. *Int. J. Remote Sens.*, 26(7): 1423–1436.
- Kiesling, H.E., Nelson, A.B. & Herbel, C.H.** 1969. Chemical composition of tobosa grass collected by hand-plucking and esophageal-fistulated steers. *J. Range Manag.*, 22(3): 155–159.
- Kiniry, J.R., Sanchez, H., Greenwade, J., Seidensticker, E., Bell, J.R., Pringle, F., Peacock, G. & Rives, J.** 2002. Simulating grass productivity on diverse range sites in Texas. *J. Soil Water Conser.*, 57(3): 144–150.
- Kogan, F., Stark, R., Gitleson, A., Jargalsaikhan, C., Dugrajav, C. & Tsooj, S.** 2004. Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *Int. J. Remote Sens.*, 25(14): 2889–2896.
- Langlands, J.P.** 1974. Studies on the nutritive value of the diet selected by grazing sheep VII. A note on hand plucking as a technique for estimating dietary composition. *Anim. Sci.*, 19(02): 249–252.
- Leite, E.R. & Stuth, J.W.** 1995. Fecal NIRS equations to assess diet quality of free-ranging goats. *Small Rumin. Res.*, 15(3): 223–230.
- Li, H., Tolleson, D., Stuth, J., Bai, K., Mo, F. & Kronberg, S.** 2007. Faecal near infrared reflectance spectroscopy to predict diet quality for sheep. *Small Rumin. Res.*, 68(3): 263–268.
- Lyons, R.K. & Stuth, J.W.** 1992. Fecal NIRS equations for predicting diet quality of free-ranging cattle. *J. Range Manag.*, 45(3): 238–244.
- Mata, M., Clark, D. A., Edirisinghe, A., Waugh, D., Minneé, E. & Gherardi, S.G.** 2007. Predicting accurate paddock average pasture cover in Waikato dairy farms using satellite images. *Proc. 69th Annual NZ Grassland Assoc. Conf.*, 69: 23–28.
- McDaniel, K.C. & Tiedeman, J.A.** 1981. Sheep use on mountain winter range in New Mexico. *J. Range Manag.*, 34(2): 102–104.
- Montieth, J.L.** 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Appl. Ecol.*, 9: 747–766.
- Montieth, J.L.** 1977. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Trans. Royal Soc. London, Series B*, 281: 277–294.
- Ortega, I.M., SolteroGardea, S., Drawe, D. L. & Bryant, F. C.** 1997. Evaluating grazing strategies for cattle: Nutrition of cattle and deer. *J. Range Manag.*, 50(6): 631–637.
- Owens, M.K., Launchbaugh, K.L. & Holloway, J.W.** 1991. Pasture characteristics affecting spatial distribution of utilization by cattle in mixed brush communities. *J. Range Manag.*, 44(2): 118–123.
- Pfister, J.A., Hansen, D. & Malechek, J.C.** 1990. Surgical establishment and maintenance of esophageal fistulae in small ruminants. *Small Rumin. Res.*, 3(1): 47–56.
- Pierson, F.B., Carlson, D. H. & Spaeth, K.E.** 2001. A process-based hydrology submodel dynamically linked to the plant component of the simulation of production and utilization on rangelands SPUR model. *Ecol. Modelling*, 141(1–3): 241–260.

- Plumb, G.E., White, P. J., Coughenour, M.B. & Wallen, R.L.** 2009. Carrying capacity, migration, and dispersal in Yellowstone bison. *Biol. Cons.*, 142(11): 2377–2387.
- Quirk, M.F. & Stuth, J.W.** 1995. Preference-based algorithms for predicting herbivore diet composition. *Ann. Zootech.*, 44: 110.
- Reeves, M.C., Winslow, J.C. & Running, S.W.** 2001. Mapping weekly rangeland vegetation productivity using MODIS algorithms. *J. Range Manag.*, 54: A90–A105.
- Rouse, J.W., Haas, R. H., Schell, J.A. & Deering, D.W.** 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings of the third ERTS Symposium, Vol. 1*, pp. 309–317 Washington DC, USA.
- Ryan, Z.** 2005. *Establishment and evaluation of a livestock early warning system for Laikipia, Kenya*. Texas A&M University: College Station, Texas, USA (PhD Thesis).
- Sannier, C.A.D., Taylor, J.C. & Du Plessis, W.** 2002. Real-time monitoring of vegetation biomass with NOAA-AVHRR in Etosha National Park, Namibia, for fire risk assessment. *Int. J. Remote Sens.*, 23(1): 71–89.
- Sellers, P.J.** 1985. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International J. Remote Sens.*, 6: 1335–1372.
- Showers, S.E., Tolleson, D.R., Stuth, J.W., Kroll, J.C. & Koerth, B.H.** 2006. Predicting diet quality of white-tailed deer via NIRS fecal profiling. *Rangeland Ecol. Manag.*, 59(3): 300–307.
- Squires, V. & Siebert, B.** 1983. Botanical and chemical components of the diet and liveweight change in cattle on semi-desert rangeland in central Australia. *The Rangeland J.*, 5(1): 28–34.
- Stuth, J.W., Angerer, J., Kaitho, R., Zander, K., Jama, A., Heath C., Bucher, J., Hamilton, W., Conner, R., & Inbody, D.** 2003a. The Livestock Early Warning System (LEWS): Blending technology and the human dimension to support grazing decisions. Arid Lands Newsletter, University of Arizona, USA. Available at <http://cals.arizona.edu/OALS/ALN/aln53/stuth.html>.
- Stuth, J.W., Angerer, J., Kaitho, R., Jama, A. & Marambii, R.** 2005. Livestock early warning system for Africa rangelands. In V. K. Boken, A. P. Cracknell & R. L. Heathcote, eds. *Monitoring and predicting agricultural drought: A global study*. Oxford University Press. New York, USA. pp. 472.
- Stuth, J.W., Schmitt, D., Rowan, R.C., Angerer, J.P., & Zander, K.** 2003b. *PHYGROW users guide and technical documentation*. Texas A&M University, USA.
- Teague, W.R. & Foy, J.K.** 2002. Validation of SPUR2.4 rangeland simulation model using a cow-calf field experiment. *Agric. Syst.*, 74(2): 287–302.
- Thoma, D.P., Bailey, D.W., Long, D.S., Nielsen, G.A., Henry, M.P., Breneman, M.C. & Montagne, C.** 2002. Short-term monitoring of rangeland forage conditions with AVHRR imagery. *J. Range Manag.*, 55(4): 383–389.
- Thornton, P.K., BurnSilver, S.B., Boone, R.B. & Galvin, K.A.** 2006. Modelling the impacts of group ranch subdivision on agro-pastoral households in Kajiado, Kenya. *Agric. Syst.*, 87(3): 331–356.
- Timmons, G.R., Hewitt, D. G., DeYoung, C. A., Fulbright, T.E. & Draeger, D.A.** 2010. Does supplemental feed increase selective foraging in a browsing ungulate? *J. Wildlife Manag.*, 74(5): 995–1002.
- Tucker, C.J.** 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 8(2): 127–150.

- Tucker, C.J., Pinzon, J.E., Brown, M.E., Slayback, D.A., Pak, E.W., Mahoney, R., Vermote, E. F. & El Saleous, N.** 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *Int. J. Remote Sens.*, 26(20): 4485–4498.
- Tucker, C.J., Vanpraet, C., Boerwinkel, E. & Gaston, A.** 1983. Satellite remote-sensing of total dry-matter production in the Senegalese Sahel. *Remote Sens. Environ.*, 13(6): 461–474.
- USDA (United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service).** 2003. *National Range and Pasture Handbook*. U.S. Dept. of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Grazing Lands Technology Institute. Fort Worth, Texas, USA.
- Van Soest, P.J.** 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Comstock Publication. Ithaca, New York, USA.
- Weisberg, P.J., M.B. Coughenour, M.NB. & Bugmann, H.** 2006. Modelling of large herbivore-vegetation interactions in a landscape context. Chapter 12 *In* K. Danell, R. Bergstrom, P. Duncan & J. Pastor, eds. *Large Herbivore Ecology, Ecosystem Dynamics and Conservation*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- White, I.A., Hunt, L.P., Poppi, D.P. & Petty, S.R.** 2010. Sampling requirements for predicting cattle diet quality using faecal near-infrared reflectance spectroscopy (F.NIRS) in heterogeneous tropical rangeland pastures. *Rangeland J.*, 32(4): 435–441.
- Wight, J.R. & Skiles, J.W.** 1987. *SPUR: Simulation and production and utilization of rangelands. Documentation and user's guide*. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, USA. pp. 372.
- Williams, J.R., Izaurralde, R.C. & Steglich, E.M.** 2008. *Agricultural policy/environmental extender model: Theoretical documentation, Version 0604*. Blackland Research and Extension Center, Texas AgriLife Research, Texas A& M University Temple, Texas, USA.
- Wofford, H., Holechek, J. L., Galyean, M.L., Wallace, J.D. & Cardenas, M.** 1985. Evaluation of fecal indices to predict cattle diet quality. *J. Range Manag.*, 8(5): 450–454.



## MANUELS FAO: PRODUCTION ET SANTÉ ANIMALES

1. Production en aviculture familiale, 2004 (A, F, Ar)
2. Bonnes pratiques pour l'industrie de la viande, 2006 (A, F, E, Ar)
3. Se préparer à l'influenza aviaire hautement pathogène, 2007 (A, Ar, E<sup>e</sup>, F<sup>e</sup>, Mk<sup>e</sup>)
3. Revised version, 2009 (A)
4. Surveillance de la grippe aviaire hautement pathogène chez les oiseaux sauvages, 2007 (A, F, R, Id, Ar, Ba, Mn, E<sup>e</sup>, C<sup>e</sup>)
5. Oiseaux sauvages et influenza aviaire – Une introduction à la recherche appliquée sur le terrain et les techniques d'échantillonnage épidémiologique, 2007 (A, Ar, F, R, Id, Ba, E<sup>\*\*</sup>)
6. Compensation programs for the sanitary emergence of HPAI-H5N1 in Latin American and the Caribbean, 2008 (A<sup>e</sup>, E<sup>e</sup>)
7. The AVE systems of geographic information for the assistance in the epidemiological surveillance of the avian influenza, based on risk, 2009 (A<sup>e</sup>, E<sup>e</sup>)
8. Préparation des plans d'intervention contre la peste porcine africaine, 2011 (A, F, R, Hy, Ka, E<sup>e</sup>)
9. Bonnes pratiques pour l'industrie de l'alimentation animale – Mise en oeuvre du Code d'usages pour une bonne alimentation animale du Codex Alimentarius, 2013 (A, C, Ar, F, S, P<sup>\*\*</sup>)
10. Epidemiología Participativa – Métodos para la recolección de acciones y datos orientados a la inteligencia epidemiológica, 2011 (E<sup>e</sup>)
11. Méthode de bonne gestion des urgences: les fondamentaux – GEMP: un guide pour se préparer aux urgences en santé animale, 2013 (A, F, E<sup>\*</sup>)
12. Investigating the role of bats in emerging zoonoses – Balancing ecology, conservation and public health interests, 2011 (A)
13. Rearing young ruminants on milk replacers and starter feeds, 2011 (A)
14. Assurance qualité pour les laboratoires d'analyse d'aliments pour animaux, 2011 (A, F<sup>\*\*</sup>, R<sup>e</sup>)
15. La conduite d'évaluations nationales des aliments pour animaux, 2014 (A, F)
16. Quality assurance for microbiology in feed analysis laboratories, 2013 (A)

Disponibilité: septembre 2014

A – Anglais	Multil. – Multilingue
Ar – Arabe	* – Epuisé
C – Chinois	** – En préparation
E – Espagnol	e – Publication électronique
F – Français	
P – Portugais	Mk – Macédonien
R – Russe	Ba – Bengali
Mn – Mongol	Hy – Arménien
Id – Bahasa	Ka – Géorgien

On peut se procurer les *Manuels FAO: production et santé animales* auprès des points de vente des publications de la FAO, ou en s'adressant directement au Groupe des ventes et de la commercialisation, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie.

## MANUELS FAO DE SANTÉ ANIMALE

1. Manual on the diagnosis of rinderpest, 1996 (A)
2. Manual on bovine spongiform encephalopathy, 1998 (A)
3. Epidemiology, diagnosis and control of helminth parasites of swine, 1998
4. Epidemiology, diagnosis and control of poultry parasites, 1998
5. Reconnaître la peste des petits ruminants – Manuel de terrain (F, A)
6. Manual on the preparation of national animal disease emergency preparedness plans, 1999 (A, C)
7. Manual on the preparation of rinderpest contingency plans, 1999 (A)

8. Manual on livestock disease surveillance and information systems, 1999 (A)
9. Reconnaître la peste porcine africaine – Manuel de terrain, 2000 (F, A)
10. Manual on participatory epidemiology – method for the collection of action-oriented epidemiological intelligence, 2000 (A)
11. Manual on the preparation of African swine fever contingency plans, 2001 (A)
12. Manual on procedures for disease eradication by stamping out, 2001 (A)
13. Reconnaître la péripneumonie contagieuse bovine, 2001 (F, A)
14. Préparation des plans d'intervention contre la péripneumonie contagieuse bovine, 2002 (F, A)
15. Préparation des plans d'intervention contre la fièvre de la vallée du rift, 2002 (F, A)
16. Preparation of foot-and-mouth disease contingency plans, 2002 (A)
17. Recognizing Rift Valley fever, 2003 (A)



Consulter davantage de publications sur:  
<http://www.fao.org/ag/againfo/resources/fr/publications.html>

Un Système d'Évaluation des Aliments pour Animaux (SNEAA) est un ensemble complet de procédures, d'équipements, d'outils, de personnel, d'organisations impliquées dans la collecte, la manipulation et le traitement des données nécessaires pour calculer et rapporter des provisions d'aliments pour les animaux provenant de toutes sources et destinés à tous types d'animaux dans un pays. Il comprend plusieurs composantes qui interagissent de manière intégrée pour aboutir à un produit commun, l'Évaluation Nationale des Aliments pour Animaux (ENAA). Une ENAA est une analyse de données informatisées des demandes en Aliments pour le bétail pour un pays.

Des évaluations précises des provisions présentes et futures et des besoins en aliments pour animaux sont nécessaires pour une politique nationale de sécurité alimentaire et pour sa planification, ainsi que pour l'établissement de taux de charge des animaux durables pour l'environnement. Les ressources alimentaires animales doivent être évaluées et suivies afin de fournir des informations pour le développement et la mise en oeuvre de politiques pouvant contribuer à la croissance durable des secteurs nationaux de l'élevage. Les évaluations fourniront des informations sur les disponibilités des ressources alimentaires animales permettant la mise en place de décisions politiques optimales concernant l'utilisation des ressources alimentaires animales nationales.

Ce document fournit une orientation aux pays pour le développement de leurs SNEAAs. Les membres des gouvernements et des organisations de recherche désirant établir des SNEAAs vont vraisemblablement chercher des conseils sur les aspects procéduriers pour bâtir, et institutionnaliser les SNEAAs. Un ensemble de procédures recommandées étape par étape est fournie pour l'exécution des SNEAAs y compris des méthodes pour la planification, l'établissement et la mise à jour d'une SNEAA. Il faut espérer que les informations fournies dans ce document permettront aux pays d'initier des activités pour établir et maintenir l'ENAA.

ISBN 978-92-5-207332-1 ISSN 1810-1127



9 7 8 9 2 5 2 0 7 3 3 2 1

I3043F/1/08.14