



LA REVUE **INRA**  
**PRODUCTIONS**  
**ANIMALES**



2019

Volume 32 – Numéro 2

**Numéro spécial**



**ans**

**De grands défis  
et des solutions  
pour l'élevage**

Revue éditée par l'INRA

4 numéros par an

<https://productions-animales.org/>

Hébergée par l'Université de Bordeaux :

Portail de revues scientifiques en libre accès

<https://open.u-bordeaux.fr/journals/>

#### **Directeur de la publication**

Christian Huyghe

INRA Paris, Directeur Scientifique « Agriculture »

#### **Directeur scientifique**

##### **Rédacteur en chef**

René Baumont

INRA

Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores

63122 Saint-Genès-Champanelle

e-mail : [rene.baumont@inra.fr](mailto:rene.baumont@inra.fr)

#### **Secrétariat d'Édition**

##### **Administration du site web**

Pascale Béraud

INRA

Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores

63122 Saint-Genès-Champanelle

e-mail : [paurh-ara@inra.fr](mailto:paurh-ara@inra.fr)

#### **Maquette**

DESK

25 Boulevard de la Vannerie

53940 Saint-Berthevin

<http://www.desk53.com.fr/>

#### **Composition, photogravure, impression**

DESK

25 Boulevard de la Vannerie

53940 Saint-Berthevin

<http://www.desk53.com.fr/>

---

N° ISSN : 2273-774X (édition papier) 2273-7766 (édition électronique)

N° ISBN : 978-2-7380-1433-7 (édition papier) 978-2-7380-1434-4 (édition électronique)

Copyright © 2019

Reproduction même partielle interdite sans l'autorisation des auteurs et de l'INRA

#### **Comité de rédaction**

Élisabeth Baéza (INRA Tours), Nathalie Bareille (Oniris Nantes), Denis Bastianelli (CIRAD Montpellier), Isabelle Cassar-Malek (INRA Clermont-Theix), Élodie Chaillou (INRA Tours), Vincent Chatellier (INRA Nantes), Luc Delaby (INRA Rennes), Anne Farruggia (INRA Saint Laurent de la Prée), Laurence Fortun-Lamothe (INRA Toulouse), Bénédicte Lebret (INRA Rennes), Sophie Lemosquet (INRA Rennes), Pascale Le Roy (INRA Rennes), Philippe Lescoat (AgroParis Tech), Marie-Odile Nozières (INRA Montpellier), Edwige Quillet (INRA Jouy-en-Josas), Daniel Sauvart (AgroParis Tech)

---



# NUMÉRO SPÉCIAL

## De grands défis et des solutions pour l'élevage

Coordonnateur :  
R. Baumont

Numéro spécial « De grands défis et des solutions pour l'élevage » : Avant-propos.	P. MAUGUIN	85
La revue INRA Productions Animales dans la production scientifique en élevage et sciences animales.	R. BAUMONT, A. GIRARD	87
Productions animales, usage des terres et sécurité alimentaire en 2050 : l'éclairage de la prospective Agrimonde-Terra.	C. LE MOUËL, O. MORA	95
L'internationalisation des marchés en productions animales.	V. CHATELLIER	111
L'évolution de la consommation de produits animaux en France : de multiples enjeux.	F. CAILLAVET, A. FADHUÏLE, V. MICHÈLE	131
Quelle place pour les produits animaux dans l'alimentation de demain ?	D. RÉMOND	147
Les effets du processus d'intensification de l'élevage dans les territoires.	J.P. DOMINGUES <i>et al.</i>	159
Les performances économiques de l'élevage européen : de la « compétitivité coût » à la « compétitivité hors coût ».	V. CHATELLIER, P. DUPRAZ	171
Élevage et territoires : quelles interactions et quelles questions ?	J. LASSEUR <i>et al.</i>	189
Les productions animales dans la bioéconomie.	J.-Y. DOURMAD, T. GUILBAUD, M. TICHIT, T. BONAUDO	205
Évolution de la place de l'animal et des points de vue sur son élevage dans la société française : quels enjeux pour la recherche agronomique ?	A. FOSTIER	221
Quelles performances pour les animaux de demain ? Objectifs et méthodes de sélection.	P. LE ROY, A. DUCOS, F. PHOCAS	233
Rôle de l'environnement précoce dans la variabilité des phénotypes et l'adaptation des animaux d'élevage à leur milieu.	F. PITEL <i>et al.</i>	247
Gérer la diversité animale dans les systèmes d'élevage : laquelle, comment et pour quels bénéfices ?	M.-A. MAGNE <i>et al.</i>	263

## Sommaire

---

Élevage de précision et bien-être en élevage : la révolution numérique de l'agriculture permettra-t-elle de prendre en compte les besoins des animaux et des éleveurs ?	I. VEISSIER <i>et al.</i>	281
Évolution de l'usage des antibiotiques en filières bovines : état d'avancement et perspectives.	V. DAVID <i>et al.</i>	291
Intégrer les changements d'échelle pour améliorer l'efficacité des productions animales et réduire les rejets.	P. FAVERDIN, J. VAN MILGEN	305
Quelle science pour les élevages de demain ? Une réflexion prospective conduite à l'INRA.	J.-L. PEYRAUD <i>et al.</i>	323

---

Illustration de couverture : [Desk](#) et [Pascale Béraud](#)

# Numéro spécial « De grands défis et des solutions pour l'élevage » : avant-propos

Philippe MAUGUIN

INRA Paris, Siège, 147 rue de l'Université, 75338, Paris, France

Courriel : [philippe.mauguin@inra.fr](mailto:philippe.mauguin@inra.fr)

■ Pour marquer le passage des 30 ans de la revue, ce numéro spécial contribue à la mise en débat des grands défis auxquels l'élevage est confronté aujourd'hui et sans doute demain, et à la recherche de solutions pour son avenir, dans une agriculture qui devra produire, améliorer l'état de l'environnement aujourd'hui largement dégradé, et répondre aux attentes d'une société plus urbanisée et plus éloignée de la réalité agricole et biologique.

## Avant-Propos

La revue INRA Productions Animales est entrée dans sa quatrième décennie. Créée en 1988, elle a publié plus de 1 200 articles pour transférer des synthèses scientifiques issues des travaux de l'INRA et de ses partenaires en sciences animales et sur l'élevage. L'ambition de la revue est de produire des articles accessibles à un large public d'utilisateurs des résultats de la recherche, depuis les chercheurs eux-mêmes, les enseignants et les étudiants, jusqu'aux professionnels de l'élevage et les décideurs publics.

En trois décennies, le contexte et les enjeux des productions animales ont considérablement évolué. Il y a 30 ans, l'élevage et son intensification en France, en Europe et dans le monde étaient synonymes d'une meilleure productivité permettant de couvrir les besoins alimentaires des populations humaines, une plus grande efficacité de la production avec une moindre consommation de ressources pour chaque unité de viande, de lait ou d'œuf produite, une meilleure performance économique des exploitations agricoles

et des industries agro-alimentaires. Aujourd'hui lorsqu'on entend parler d'élevage dans les médias européens, c'est le plus souvent pour pointer du doigt des aspects négatifs : contribution de l'élevage au réchauffement climatique via les gaz à effets de serre émis, concurrence pour l'utilisation des terres dans un contexte où il faut nourrir une population croissante, perte de biodiversité, pathologies nutritionnelles liées à des consommations trop élevées de produits animaux dans les pays occidentaux, conditions d'élevage « intensives » pouvant entraîner des souffrances animales. C'est aussi une demande voire un plébiscite des produits, y compris animaux issus de l'agriculture biologique et plus généralement de systèmes plus extensifs. Mais, de façon partagée entre ces deux périodes éloignées d'une génération humaine, l'élevage permet la subsistance des populations pauvres dans de nombreuses régions du monde, les animaux peuvent valoriser de nombreuses ressources alimentaires non directement consommables par l'Homme, l'élevage est le premier producteur de fertilisants pour les cultures, les protéines animales sont des nutriments de haute qualité et les vecteurs de nombre de micronutriments et sont

difficilement substituables en totalité dans l'alimentation de l'Homme, et l'élevage contribue au patrimoine culturel de l'Humanité notamment à travers les paysages qu'il façonne et par l'utilisation des produits animaux dans les gastronomies de toutes les régions du monde.

Dans ce contexte et pour marquer le passage des 30 ans de la revue, la rédaction a souhaité contribuer par ce numéro spécial à la mise en débat des grands défis auxquels l'élevage est confronté aujourd'hui et sans doute demain et à la recherche de solutions pour son avenir, dans une production agricole et alimentaire qui devra produire, améliorer l'état de l'environnement aujourd'hui largement dégradé, et répondre aux attentes d'une société plus urbanisée et plus éloignée de la réalité agricole et biologique. C'est aussi l'occasion de réaffirmer la ligne éditoriale de la revue qui veut aborder les thématiques relatives aux sciences animales et à l'élevage dans toutes leurs dimensions, des sciences biologiques et agronomiques aux sciences économiques et sociales.

La construction de ce numéro est le fruit d'une réflexion croisée entre le comité de rédaction de la

revue, les directions des départements de recherche « Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage », « Génétique Animale », « Santé Animale », « Sciences pour l'Action et le Développement » et « Sciences sociales, Agriculture et Alimentation, Espaces et Environnement », et la direction scientifique « Agriculture » de l'INRA. Après un article introductif qui analyse le positionnement de la revue dans la production scientifique internationale, ce numéro propose une série de 15 articles partant des aspects globaux – économiques, territoriaux et sociétaux – pour aller vers les questions relatives aux animaux de demain et à leur conduite.

Pour ouvrir cette série d'articles, Chantal Le Mouël et Olivier Mora apportent l'éclairage de la prospective Agrimonde-Terra sur les productions animales à l'horizon 2050 et Vincent Chatellier analyse les conséquences de l'internationalisation des marchés en productions animales. Puis, France Caillavet *et al.* proposent une réflexion sur les enjeux socio-économiques posés par l'évolution de la consommation de produits animaux en France et Didier Rémond une réflexion sur la place des produits animaux dans l'alimentation de demain. Joao Pedro Domingues *et al.* reviennent sur les effets du processus d'intensification de l'élevage depuis plusieurs décennies, et Vincent Chatellier et Pierre Dupraz analysent comment l'élevage européen peut développer des stratégies de compétitivité hors coût à l'avenir. Jacques Lasseur *et al.* montrent com-

ment une meilleure intégration des dimensions territoriales de l'élevage peut contribuer à redéfinir un élevage durable, et Jean-Yves Dourmad *et al.* comment l'élevage en tant que transformateur et producteur de bioressources peut être un important moteur de la bioéconomie. Enfin, un défi majeur pour l'élevage est l'évolution de la place de l'animal et des points de vue sur son élevage dans la société. C'est ce qu'aborde l'article d'Alexis Fostier en cherchant à en identifier les enjeux pour la recherche.

De quels animaux les systèmes d'élevage auront-ils besoin demain et comment les conduire ? Pascale Leroy *et al.* analysent comment les programmes d'amélioration génétique s'enrichissent et doivent encore s'enrichir de nouveaux caractères pour répondre à la diversification attendue des performances animales. Frédérique Pitel *et al.* montrent l'importance de l'environnement d'élevage dans le jeune âge dans la construction des phénotypes des animaux adultes et de leurs capacités d'adaptation. Marie-Angelina Magne *et al.* proposent des pistes pour mieux gérer et valoriser la diversité animale dans les systèmes d'élevage dans le cadre de la transition agro-écologique de l'agriculture. Isabelle Veissier *et al.* s'interrogent sur les conséquences de la révolution numérique en agriculture et montrent comment les techniques d'élevage de précision peuvent être utilisées pour mieux prendre en compte à la fois les besoins des animaux et des éleveurs afin d'améliorer le bien-être

en élevage. Valérie David *et al.* font le point sur la mise en œuvre réussie du plan « EcoAntibio » et la réduction effective de l'usage des antibiotiques et proposent des perspectives d'ordre technique, sociologique et organisationnel pour poursuivre cette réduction et un usage raisonné et responsable des antibiotiques en élevage. Enfin, Philippe Faverdin et Jaap van Milgen proposent une réflexion sur l'amélioration de l'efficacité des productions animales et la réduction des rejets en mettant en lumière l'importance d'intégrer les changements d'échelle de l'animal au système d'élevage dans les solutions proposées pour en garantir les bénéfices espérés.

Il n'était pas possible d'être exhaustif et bien d'autres sujets auraient pu aussi être traités. Aussi pour conclure ce numéro, Jean-Louis Peyraud *et al.* proposent une synthèse de la réflexion scientifique prospective « Science pour les élevages de demain » conduite par l'INRA qui permet de mettre en perspective l'ensemble des priorités de recherche en sciences animales et élevage.

Je remercie chaleureusement tous les auteurs et les relecteurs des articles, et je ne doute pas que ce numéro sera largement utilisé et fera date dans l'histoire de la revue.

Bonne lecture à toutes et à tous !

Philippe MAUGUIN  
Président-Directeur Général de l'INRA

## Résumé

Pour marquer le passage des 30 ans de la revue, ce numéro spécial contribue à la mise en débat des grands défis auxquels l'élevage est confronté aujourd'hui et sans doute demain, et à la recherche de solutions pour son avenir, dans une agriculture qui devra produire, améliorer l'état de l'environnement aujourd'hui largement dégradé, et répondre aux attentes d'une société plus urbanisée et plus éloignée de la réalité agricole et biologique.

## Abstract

### ***Special issue "Major challenges and solutions for livestock farming": Foreword***

*To mark the 30<sup>th</sup> anniversary of the journal, this special issue contributes to the debate on the major challenges facing livestock farming today and probably in the future, and to the search for solutions for its future, in an agriculture that will have to produce, improve the state of the environment, which is now largely degraded, and meet the expectations of a more urbanized society that is further away from agricultural and biological reality.*

# La revue INRA Productions Animales dans la production scientifique en élevage et sciences animales

René BAUMONT<sup>1</sup>, Agnès GIRARD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, INRA, Vetagro Sup, UMR Herbivores, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

<sup>2</sup>INRA, UR1037 Laboratoire de Physiologie et Génomique des Poissons, 35042, Rennes, France

Courriel : [rene.baumont@inra.fr](mailto:rene.baumont@inra.fr)

■ **Éditée depuis 30 ans, la revue INRA Productions Animales se positionne en tant que revue de transfert dans ce domaine. Comment se situe-t-elle par rapport à la production scientifique de l'INRA et de la communauté internationale ? Dans quelle mesure les thématiques qu'elle traite reflètent-elles l'évolution des recherches conduites en France et en Europe ?**

## Introduction

Prenant la suite du « Bulletin technique du Centre de Recherches Zootechniques et Vétérinaires de Theix », la revue « INRA Productions Animales » a vu le jour en 1988 en tant que revue de transfert du secteur animal de l'INRA. Depuis plus de 30 ans maintenant, cet objectif a été maintenu (Perez *et al.*, 2008). Il s'agit de publier des articles de synthèse sur tous les sujets concernant les productions animales, à destination de l'ensemble des utilisateurs des résultats de la recherche (étudiants, enseignants, conseillers, chercheurs, décideurs...) pour mieux faire connaître les travaux et les réflexions menés par l'INRA et ses collaborateurs.

La revue n'a donc pas vocation à publier des résultats primaires de la recherche, mais des synthèses de résultats scientifiques permettant une prise de recul et une mise en perspective devant faciliter leur appropriation et leur mise en œuvre par les lecteurs. L'ambition de la revue est de conjuguer

rigueur de l'information scientifique et exigence de l'écriture dans un langage accessible à un large public. C'est une revue francophone, dont certains de ses articles peuvent être repris pour publication en anglais, et qui reprend également des articles publiés dans des revues anglophones, notamment dans la revue « Animal ».

Depuis la création de la revue, le contexte et les enjeux des productions animales ont considérablement évolué : mondialisation et ouverture progressive des marchés avec les réformes successives de la Politique agricole commune (Pac), révolutions technologiques avec l'arrivée de la sélection génomique et maintenant des techniques de précision, prise en compte croissante des impacts environnementaux de l'élevage (positifs et négatifs) et du bien-être animal, remise en cause par la société de certaines formes d'élevage, voire de l'activité d'élevage en tant que telle, etc. Dès ses débuts, les éditeurs ont cherché à inscrire la revue dans ces évolutions et à éclairer ses lecteurs par des numéros thématiques consacrés à

des avancées scientifiques majeures et à des questions d'actualité. Ainsi le premier numéro spécial de la revue a été publié en 1991 et s'intitulait « Préparer l'élevage de demain » ; le premier dossier publié en 1993 était consacré à la réforme de la Pac. La revue a publié au total 24 numéros spéciaux, 26 dossiers et 4 numéros hors-série. Pour illustrer la diversité des thèmes abordés et la volonté de répondre aux grands enjeux de l'élevage, citons à titre d'exemple, le numéro hors-série consacré aux « Encéphalopathies spongiformes transmissibles animales » (2004) ; les numéros spéciaux sur les « Biotechnologies animales » (1998), le « Bien-être animal » (2007), « Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage ? » et sur « L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts » (2017) ; ainsi que les dossiers consacrés aux « Gaz à effets de serre en élevage bovin » (2011), au « Phénotypage animal » (2014) et dernièrement aux « Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage » (2018).

Pour introduire ce numéro spécial consacré à « De grands défis et des

solutions pour l'élevage », nous avons analysé la place occupée par la revue INRA Productions Animales dans la production scientifique de l'INRA et plus largement de la communauté scientifique internationale en sciences animales et en élevage, à partir d'une analyse bibliométrique. Nous avons aussi étudié l'évolution des thématiques abordées dans la revue, par rapport à celles des publications de l'INRA et celles de l'ensemble de la catégorie « Agriculture, dairy and animal sciences » du « Web of Science™ » et évalué dans quelle mesure elle a été en phase avec l'évolution des enjeux liés à l'élevage.

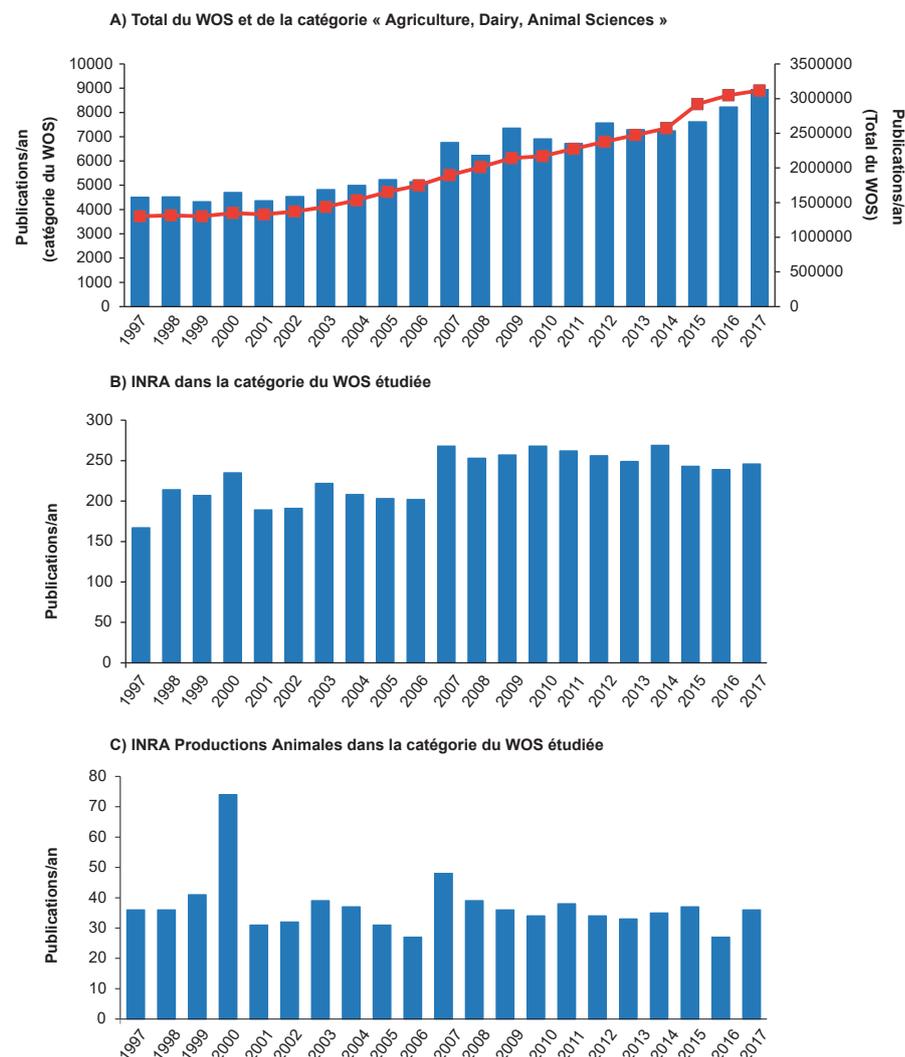
## 1. Les données et les outils d'analyse utilisés

### ■ 1.1. Les données du « Web of Science™ »

Le « Web of Science™ Core Collection » (WOS) est une base de données documentaire internationale et multidisciplinaire produite par la société Clarivate Analytics. Elle recense les principales revues scientifiques, livres et actes scientifiques depuis 1956. Chaque référence indexée dans le WOS contient les auteurs, leurs affiliations et la revue dans laquelle l'article est publié ainsi que son titre, son résumé et des mots-clés. Les revues sont réparties dans des groupes (« WOS categories ») correspondant à des champs thématiques ou disciplinaires, par exemple pour ce qui nous concerne « Agriculture, dairy and animal sciences » et « Veterinary Sciences ». Le WOS répertorie aussi les citations des références indexées ce qui permet de calculer un certain nombre d'indicateurs, comme par exemple le facteur d'impact d'une revue (ratio entre le nombre de citations en année  $n$  des articles publiés en années  $n-1$  et  $n-2$  et le nombre d'articles publiés en années  $n-1$  et  $n-2$  dans cette revue) ou le facteur  $h$  d'un auteur (nombre  $h$  de publications citées plus de  $h$  fois).

La revue INRA Productions Animales est référencée dans le WOS en intégralité depuis 1997 dans les deux catégories citées précédemment. Notre analyse a donc porté sur la

**Figure 1.** Évolution entre 1997 et 2017 du nombre total de publications référencées dans le WOS (courbe rouge) et dans la catégorie « Agriculture, dairy and animal sciences » du WOS (A), et au sein de cette catégorie les publications de l'INRA (B) et de la revue INRA Productions Animales (C).



période allant de 1997 jusqu'à 2017, qui était la dernière année complètement référencée, en août 2018, lorsque l'analyse a été réalisée. Elle a concerné la catégorie « Agriculture, dairy and animal sciences » du WOS, qui constitue le cœur de la revue. Sur cette période, en se limitant aux articles de recherche, de synthèse et éditoriaux (les types de documents que l'on retrouve dans la revue INRA Productions Animales), cette catégorie du WOS contient 781 références de la revue, 4 831 références publiées dans différents journaux par des auteurs affiliés à l'INRA et un total de 125 425 références. Une analyse de l'évolution annuelle du nombre de publications, de leur nombre de citations et de la répartition par pays et par organisation a été conduite.

### ■ 1.2. L'analyse lexicale des titres, mots-clés et résumés

L'analyse lexicale a été réalisée sur la plateforme CorText (<https://managerv2.cortext.net>), développée par le Laboratoire Interdisciplinaire Sciences Innovations Sociétés (LISIS). Cette plateforme vise à renforcer les capacités de recherche et d'études sur la dynamique de la science, de la technologie, de l'innovation et de la production de connaissances.

Dans un premier temps, nous avons constitué la liste des termes décrivant le corpus des références analysées à partir de l'extraction lexicale des mots et termes présents dans le titre, le résumé et les mots-clés. La plateforme CorText

permet une extraction automatique des termes que nous avons complétée par un travail de regroupement en concepts afin d'éviter le plus possible les termes redondants. Une liste de 152 concepts ou termes décrivant le corpus des références indexées dans la catégorie « Agriculture, dairy and animal science » du WOS a été ainsi constituée.

Dans un deuxième temps, nous avons analysé l'évolution entre 1997 à 2017 de l'occurrence des termes de la liste afin d'identifier les thèmes dominants, en régression ou en émergence. Les résultats de cette analyse sont représentés sous forme de graphique permettant de visualiser l'évolution de la hiérarchie entre les termes les plus utilisés au cours du temps.

Dans un troisième temps, nous avons isolé dans le corpus des références les publications avec au moins un auteur affilié à un laboratoire européen. Nous avons ensuite réalisé une cartographie des termes afin d'identifier les associations de termes ou de concepts les plus fréquentes dans les différents corpus de références. Nous présentons ici la cartographie obtenue sur les corpus des références publiées par *i)* les auteurs européens, *ii)* l'INRA et *iii)* INRA Productions Animales.

## 2. La place de la revue dans les publications de l'INRA et de la communauté internationale

Le nombre total de publications référencées dans le WOS entre 1997 et 2017 a été multiplié par 2,4. Le nombre de publications dans la catégorie « Agriculture, dairy and animal sciences » a suivi globalement cette progression en passant de 4 500 à près de 9 000 références par an (figure 1). En revanche sur la même période, la production de l'INRA dans cette catégorie est restée stable entre 200 et 260 publications par an, comme celle de la revue qui a été en moyenne de 39 articles référencés par an.

L'évolution contrastée de la production mondiale et de celle de l'INRA

**Tableau 1.** Les 15 premiers pays contribuant à la production scientifique de la catégorie « Agriculture, dairy, and animal sciences » du WOS.

Pays	Nombre de références	% du Total
USA	25 697	20,49
Inde	11 130	8,87
Brésil	9 377	7,48
Chine	6 914	5,51
Allemagne	6 727	5,36
Canada	6 541	5,22
France dont INRA dont INRA Productions Animales	5 957 4 831 731	4,75 3,85 0,62
Italie	5 802	4,63
Espagne	5 279	4,21
Japon	5 003	3,99
Australie	4 428	3,53
Angleterre	3 862	3,08
Pologne	3 842	3,06
Pays-Bas	3 474	2,77
Corée du Sud	2 857	2,28

s'explique très vraisemblablement par la montée en puissance au cours des 20 dernières années de l'Inde, du Brésil et de la Chine qui se classent respectivement aux 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> places derrière les USA parmi les pays contribuant le plus à la production scientifique dans cette catégorie du WOS (tableau 1). La France, avec 5 957 références, soit 4,75 % du total mondial, se classe au 7<sup>e</sup> rang et est le 2<sup>e</sup> pays européen derrière l'Allemagne.

Avec 4 831 références, l'INRA représente plus de 80 % de la production française dans cette catégorie et un peu moins de 4 % de la production mondiale. L'INRA se classe à la 2<sup>e</sup> place des organisations les plus représentées, derrière l'« Indian Council of Agricultural Research » et devant l'« United States Department of Agriculture ». Suivent

respectivement aux 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> places, « Wageningen University Research », « Agriculture Agri Food Canada », et l'« Universidade Estadual Paulista ».

Les 781 références d'INRA Productions Animales (sur un total de 1 204 articles publiés par la revue depuis 1988) représentent 16,2 % de la production totale de l'INRA dans cette catégorie du WOS depuis 1997. La revue INRA Productions Animales est la deuxième revue de cette catégorie dans laquelle les chercheurs de l'INRA publient, derrière la revue « Animal » si on lui ajoute les revues lui ayant précédées (*Animal Research*, *Animal Science* et les *Annales de Zootechnie*) pour tenir compte du fait qu'elle n'a été créée qu'en 2008. Suivent par ordre décroissant du nombre de publications issues de l'INRA, les deux revues américaines *Journal of Dairy*

Science et Journal of Animal Science la revue de l'INRA Génétique Sélection Évolution et une autre revue de transfert, la revue Fourrages.

Ces quelques chiffres montrent le fort investissement des chercheurs en productions animales de l'INRA à la fois pour produire des résultats scientifiques et pour les synthétiser dans les publications de synthèse et de transfert, activité indispensable pour atteindre les utilisateurs finaux des recherches et qui prend tout son sens dans un organisme de recherche finalisée dont la devise est « Science et Impact ».

En termes de citations, les articles de l'INRA publiés dans la catégorie « Agriculture, dairy and animal sciences » sont cités en moyenne 18,05 fois avec un nombre de citations annuel qui croît régulièrement et qui a atteint les 9 000 citations en 2017. Pour ce qui est des articles publiés dans INRA Productions Animales, le taux moyen de citation s'élève à 4,83. Cette relative faiblesse peut s'expliquer d'une part, par la langue de publication de la revue, le français, qui ne représente que 1,0 % des publications de la catégorie derrière l'Anglais (93,2 %), le Portugais (3,2 %) et l'Allemand (1,1 %), et d'autre part, par le fait que les lecteurs d'une revue de transfert n'ont pas forcément vocation à écrire eux-mêmes des articles scientifiques. Toutefois, ce nombre de citations, ainsi que le facteur d'impact de la revue, qui est d'environ 0,75 depuis plusieurs années, attestent d'une pénétration de la revue dans le monde de la recherche.

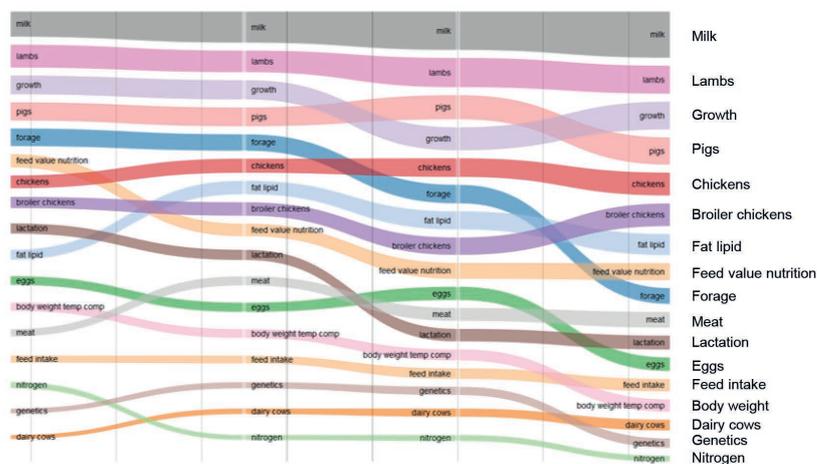
### 3. L'évolution des thématiques abordées en sciences animales et élevage

#### ■ 3.1. Évolution des termes utilisés dans les publications internationales, de l'INRA et de la revue depuis 20 ans

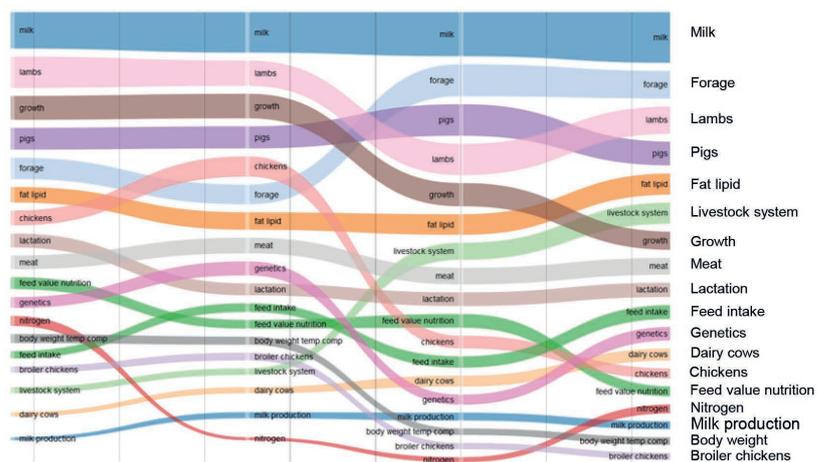
Sur l'ensemble des références de la catégorie du WOS étudiée, on constate une grande stabilité des termes les plus fréquents (figure 2a). Les quatre termes les plus fréquents à la fin de la période analysée (« milk », « lambs », « growth » et

**Figure 2.** Évolution entre 1997 et 2017 de la fréquence des termes sur les corpus de publications de la catégorie « Agriculture, dairy and animal sciences » du WOS (A) des publications de l'INRA au sein de cette catégorie (B) et de celles de la revue INRA Productions Animales (C).

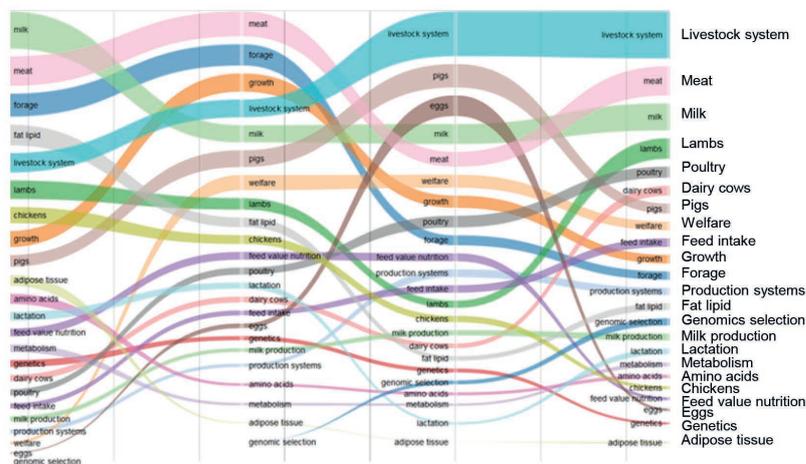
#### A) Catégorie « Agriculture, Dairy, Animal Sciences » du WOS



#### B) INRA



#### C) INRA Productions Animales



« pigs ») l'étaient déjà 20 ans auparavant et dans le même ordre. On note également que l'importance relative de ces 4 termes se renforce au cours du temps.

Au total, les termes « milk » et « growth » sont présents dans plus de 16 % des publications. Le terme « lambs » n'était pas attendu aussi fréquemment utilisé

compte-tenu de l'importance moindre de cette production. Sa fréquence élevée, que l'on retrouve dans tous les corpus analysés (cf. ci-dessous) pourrait s'expliquer par l'utilisation des agneaux et plus largement de l'espèce ovine comme espèce modèle dans un certain nombre d'études. Les termes caractérisant la production de volailles (« *chickens* » et « *broiler chickens* ») montrent également une grande stabilité à l'exception du terme « *eggs* » dont la fréquence décroît au cours des dernières années. En revanche, on note un recul du terme « *forage* » qui passe de la cinquième à la neuvième place du classement, bien qu'étant présent dans 11,9 % des publications.

Dans l'ensemble des publications de la catégorie du WOS étudiée, le terme « *livestock system* » est en croissance ; il se classe en 17<sup>e</sup> position en termes de fréquence et est présent dans 6,9 % des publications. En revanche, les termes relatifs à des enjeux de société comme le bien-être animal et les émissions de méthane demeurent plus loin dans le classement des fréquences d'utilisation : ainsi « *welfare* » apparaît en 27<sup>e</sup> position et est présent dans 3,9 % des publications et « *methane production* » seulement en 91<sup>e</sup> position et est présent dans 0,5 % des publications. Il est vraisemblable qu'une partie des recherches sur ces thématiques sont publiées dans des journaux appartenant à d'autres catégories du WOS. Pour la production de méthane, cela peut aussi s'expliquer par le fait qu'il s'agit d'un domaine de recherche qui ne concerne principalement que les ruminants et pas toutes les productions animales.

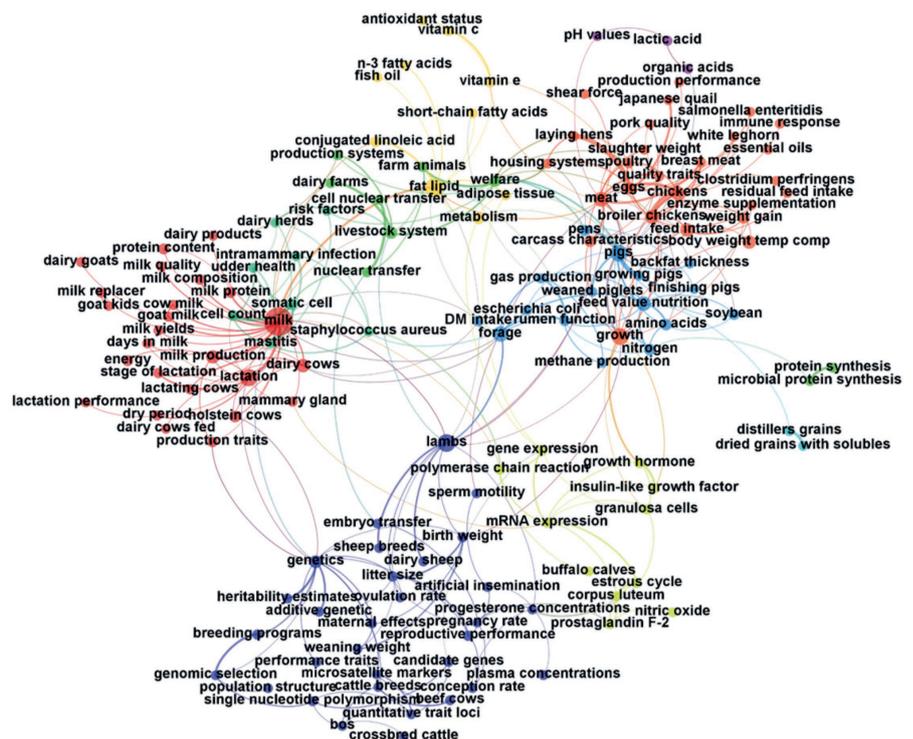
Le profil de fréquence des termes utilisés dans les publications de l'INRA et son évolution présente des différences nettes avec celui de la catégorie du WOS étudiée (figure 2b). Ainsi, si le classement des cinq termes les plus fréquents était identique à celui de la catégorie au début de la période analysée, il a fortement évolué au cours des 20 dernières années et s'en démarque assez nettement aujourd'hui. Le terme le plus fréquent dans les publications de l'INRA est également « *milk* », le terme « *forage* » n'a pas reculé au contraire et se retrouve le 2<sup>e</sup> le plus fréquent à la fin de la période

analysée alors que le terme « *growth* », en net recul, se retrouve en 7<sup>e</sup> position à la fin de la période. En termes d'espèces animales, l'importance de « *lambs* » et de « *pigs* » est comparable dans le corpus INRA à celle observée dans le corpus total de la catégorie du WOS. En revanche, les termes « *chickens* » et « *broiler chickens* », qui caractérisent les volailles sont relativement moins importants dans le corpus INRA. Enfin, le corpus des publications de l'INRA se caractérise par une forte fréquence du terme « *fat lipids* » en 5<sup>e</sup> ou 6<sup>e</sup> position selon les périodes considérées et par la montée en puissance du terme « *livestock system* », quasiment absent il y a 20 ans et qui devient le 6<sup>e</sup> terme le plus fréquent dans les dernières années.

Le profil de fréquence des termes utilisés dans les publications de la revue INRA Productions Animales et son évolution se démarquent encore plus de celui de la catégorie du WOS, mais aussi de celui des publications de l'INRA (figure 2c). Le terme le plus fréquemment utilisé dans la revue INRA Productions Animales est « *livestock system* » depuis plus de cinq ans. Les termes « *milk* » et « *meat* » qui étaient les premiers au début de la période

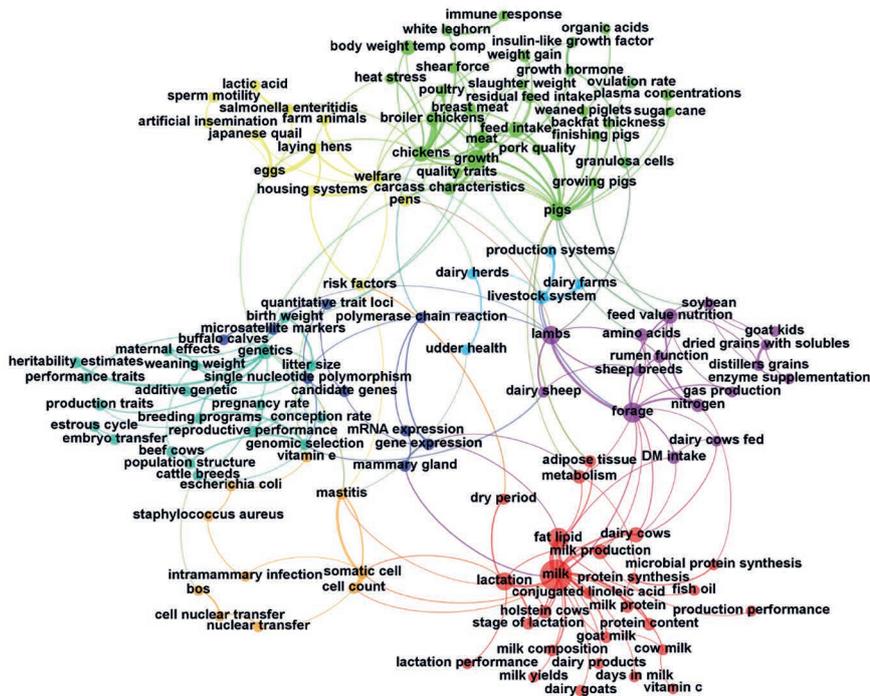
restent importants en 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> position respectivement. Comme pour les publications de la catégorie du WOS étudiée on observe un recul du terme « *forage* ». L'ensemble des termes caractérisant les espèces animales se retrouve dans le classement, mais avec des fréquences moindres que dans les publications de la catégorie du WOS et dans celles de l'INRA. Cela peut s'expliquer par le fait que la revue publiant des articles de synthèses, ceux-ci traitent moins fréquemment d'une espèce en particulier. En termes de thématiques émergentes on note une forte montée en puissance du terme « *welfare* » dans les publications de la revue à partir du milieu des années 2000, celui-ci se classant à la 8<sup>e</sup> position des termes les plus fréquemment utilisés, et plus récemment du terme « *genomic selection* », ce dernier se classant à la 14<sup>e</sup> position en fin de période analysée. Notons aussi que sur un corpus de références de taille plus limitée comme celui de la revue INRA Productions Animales, des fluctuations importantes peuvent être liées à des numéros thématiques, comme par exemple l'importance du terme « *eggs* » en 2010 associé à un dossier sur l'œuf paru cette année-là.

**Figure 3.** Cartographie des termes utilisés dans les publications comprenant au moins un auteur affilié à un laboratoire européen dans la catégorie « Agriculture, dairy and animal sciences » du WOS.

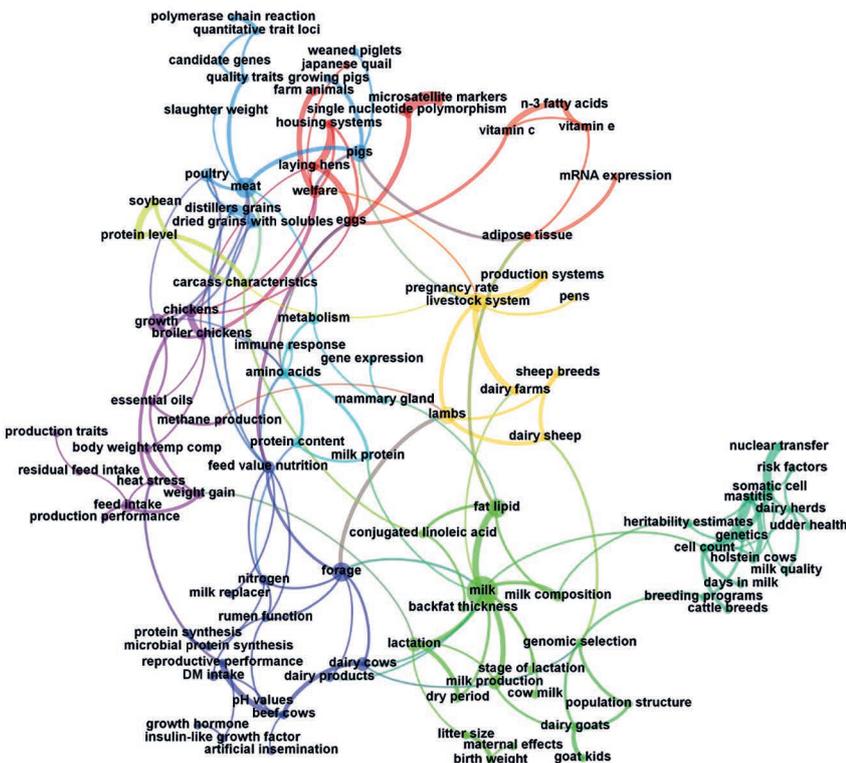


**Figure 4.** Cartographie des termes utilisés dans les publications de l'INRA (A) et de la revue INRA Productions Animales (B) dans la catégorie « Agriculture, dairy and animal sciences » du WOS.

### A) Publications de l'INRA



### B) Publications d'INRA Productions Animales



### 3.2. Cartographie des associations de termes dans les publications européennes, de l'INRA et de la revue

La cartographie des termes utilisés dans les publications des « auteurs européens » (affiliés à un laboratoire européen) fait apparaître de nombreuses communautés de termes (ou clusters), mais également de nombreux termes attachés à un cluster qui pointent également sur un autre (figure 3). Le cluster centré sur « milk » comprend les thèmes liés à la lactation, à la qualité du lait et à la santé de la mamelle. Il présente des liens avec les clusters centrés sur « fat lipids », « livestock systems », « forage » et « genetics ». Le cluster centré sur les mots « meat » et « growth » comprend le thème qualité de la viande et est en forte relation avec les clusters caractérisant les espèces monogastriques (porcs et volailles). Le terme « welfare » fait partie du cluster « livestock system », mais en position excentrée car il est aussi en forte relation avec les espèces monogastriques. Le cluster centré sur la génétique et la reproduction est principalement relié au terme « milk », ce qui atteste d'un poids important des publications sur la génétique des animaux producteurs de lait. Le cluster centré sur « fat lipid » est à égale distance des deux principaux groupes « milk » et « meat – growth ». Enfin le cluster centré sur la nutrition est plus proche de ceux des animaux producteurs de viande, « pigs » en particulier, à l'exception des mots « forage » et « DM intake » qui sont également fortement liés aux groupes de termes caractérisant les animaux producteurs de lait et aux aspects concernant le rumen et les émissions de gaz.

On retrouve globalement les mêmes associations de termes dans les cartographies des termes utilisés dans les publications de l'INRA et de la revue INRA Productions Animales que dans celle des publications européennes (figure 4a et 4b). On peut identifier toutefois quelques spécificités, avec par exemple les termes « milk » et « fat lipids » qui sont dans le même cluster sur la carte de la revue, ce qui traduit une association plus forte qu'aux niveaux européens et de l'INRA. On

Voir figure 3 pour description des algorithmes utilisés et la signification des clusters et des liens.

peut noter aussi que la position et le contenu du cluster « *livestock system* » diffèrent selon la carte considérée. Au niveau européen, il se trouve proche du cluster centré sur « *milk* », alors qu'au niveau de l'INRA il est proche du terme « *lambs* » et que sur la carte de la revue « *livestock system* » et « *lambs* » sont dans le même cluster. Au niveau européen « *livestock system* » et « *welfare* » se retrouvent dans le même cluster alors que le terme « *welfare* » se trouve dans d'autres clusters sur les cartes de l'INRA et de la revue. Mais sur les trois cartes le terme « *welfare* » se trouve proche du terme « *housing system* » et des termes caractérisant les espèces monogastriques. Malgré ces quelques nuances, il apparaît que les recherches conduites par l'INRA dans le domaine des productions animales, et en particulier celles diffusées par la revue INRA Productions Animales, se positionnent clairement sur les axes de recherches que l'on retrouve dans les publications des chercheurs européens.

## Conclusion

La revue INRA Productions Animales existe depuis plus de 30 ans et a acquis une place spécifique dans le monde des sciences animales par la publication d'articles de synthèse issus des travaux de l'INRA. La publication de la revue depuis 2018 en « *open access* » sur le portail de revues scientifiques en libre accès de l'université de Bordeaux (<http://open.u-bordeaux.fr/journals/>) est en adéquation avec sa vocation de revue de transfert destinée à un large public et a pour objectif d'en augmenter la visibilité.

## Références

Perez J.M., Farce M.H., Caste D., 2008. La revue INRA Productions Animales a 20 ans. INRA Prod. Anim., 2008, 21, 5-10.

## Résumé

Depuis 30 ans, la revue INRA Productions Animales publie principalement des articles de synthèse sur tous les sujets concernant les productions animales à destination d'un large public d'utilisateurs des résultats de la recherche. À partir de la base de données « *Web of Science™* » (WOS) et dans le périmètre limité à la catégorie « *Agriculture, dairy and animal sciences* » dans laquelle la revue est indexée depuis 1997, cet article propose une analyse du positionnement de la revue dans la littérature scientifique internationale, européenne et de l'INRA. Dans une production scientifique multipliée par deux entre 1997 et 2017 dans cette WOS catégorie (9 000 articles en 2017), le nombre d'articles publiés chaque année par l'INRA (environ 250) et par la revue (entre 30 et 35) est stable. La France est le 7<sup>e</sup> pays contributeur derrière les USA, l'Inde, la Chine, le Brésil, l'Allemagne et le Canada. L'analyse lexicale de l'ensemble des références du WOS montre une grande stabilité des termes les plus fréquemment utilisés qui restent dominés par les problématiques de production. En revanche, l'analyse de l'évolution

Dans une littérature scientifique en sciences animales et sur l'élevage en forte expansion, en particulier du fait de la montée en puissance de l'Inde, de la Chine et du Brésil, le nombre de publications de l'INRA et de la revue dans la catégorie du WOS étudiée sont stables. L'impact international des publications de l'INRA dans le WOS est notable avec 18 citations par article publié. Celui de la revue INRA Productions Animales est plus modeste, notamment du fait qu'elle est publiée en français, et le public scientifique n'est pas le public prioritairement visé par la revue. Celui-ci est en large partie constitué de professionnels de l'élevage, d'étudiants et d'enseignants à différents niveaux de formation qui pour la plupart n'ont pas vocation à écrire eux-mêmes des articles scientifiques. Aussi nous semble-t-il indispensable pour le lectorat du secteur de la formation et de la recherche-développement de conserver la publication en français des articles de la revue, ce qui permet aussi d'atteindre les pays francophones d'Afrique, d'une partie de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Néanmoins, une formule de publication à la fois en français et en anglais permettrait certainement d'augmenter l'impact de la revue au niveau international. Les progrès des techniques de traduction automatique laissent espérer que la mise en œuvre de publications bilingues sera facilitée dans un proche avenir.

L'analyse lexicale du corpus de références dans la catégorie « *Agriculture, dairy and animal science* » du WOS montre une grande stabilité des termes les plus fréquemment utilisés qui restent dominés par les problématiques de production (« *milk, growth,*

*meat...* »). Cette stabilité est cohérente avec la forte augmentation des contributions de pays comme l'Inde, la Chine et le Brésil. Au-delà de cette stabilité on observe des évolutions spécifiques aux publications de l'INRA et de la revue, que l'on retrouve également au niveau européen. Ces spécificités concernent la montée en puissance des publications sur les systèmes d'élevage et sur des thématiques comme le bien-être animal ou la sélection génomique par exemple. L'analyse des associations de termes montre une grande similitude entre les trois niveaux analysés : Europe, INRA et la revue. Au cours de 20 dernières années, la revue INRA Productions Animales a donc su renouveler ses thèmes en cohérence avec les évolutions des recherches conduites à l'INRA et en Europe, et produire des articles de synthèse scientifique sur les nouveaux fronts de science et les enjeux sociétaux pour l'élevage. Le présent numéro spécial consacré aux grands défis pour les productions animales de demain s'inscrit dans cette dynamique.

## Remerciements

Les auteurs de l'article remercient vivement Hughes Leiser pour l'appui technique dans les analyses réalisées sur la plateforme CorText. Le rédacteur en chef de la revue remercie la Direction Scientifique de l'INRA et les départements de recherches Phase, GA, Sad, SA et SAE2 pour leur soutien continu à la revue. Enfin la revue ne pourrait exister sans le travail assidu de Pascale Béraud, sa secrétaire de rédaction. Qu'elle en soit tout particulièrement remerciée ici !

des publications montre clairement l'émergence et la montée en puissance des recherches menées sur les systèmes d'élevage, le bien-être animal et la sélection génomique, à la fois en Europe et à l'INRA. Au final, les recherches conduites par l'INRA dans le domaine des productions animales, et en particulier celles diffusées par la revue INRA Productions Animales, sont au diapason des recherches conduites à l'échelle européenne.

## Abstract

---

### ***The journal "INRA Productions Animales" in the scientific production in the animal sciences and husbandry***

*For 30 years, the journal "INRA Productions Animales" has published mainly review articles on all subjects concerning animal production to a broad audience of users of research results. This article proposes an analysis of the position of the journal and its evolution in the scientific literature at the international, European and INRA level using data from the "Web of Science™" (WOS) database and the category "Agriculture, dairy and animal sciences" in which the journal has been indexed since 1997. Between 1997 and 2017, scientific production in this WOS category (9 000 articles in 2017) has been multiplied by two. During this period, the number of articles published each year by INRA (about 250) and by the journal (between 30 and 35) has been stable. France is the seventh largest contributor to the WOS category behind the US, India, China, Brazil, Germany and Canada. The lexical analysis of all the references of the WOS category shows a great stability of the most frequently used terms, which remain dominated by production issues. However, the analysis of the evolution of the publications clearly shows the emergence and the rise of research carried out on livestock production systems, animal welfare and genomic selection, both in Europe and at INRA. In the end, the research conducted by INRA in the field of animal production, and in particular those disseminated by the journal INRA Productions Animales, correspond to research conducted at the European level.*

BAUMONT R., GIRARD A., 2019. La revue INRA Productions Animales dans la production scientifique en élevage et sciences animales. In : Numéro spécial, De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 87-94.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2543>

# Productions animales, usage des terres et sécurité alimentaire en 2050 : l'éclairage de la prospective Agrimonde-Terra

Chantal LE MOUËL<sup>1</sup>, Olivier MORA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR 1302, SMART-LERECO, INRA, 35000, Rennes, France

<sup>2</sup> UAR 1241, DEPE, INRA, 75000, Paris, France

Courriel : chantal.le-mouel@inra.fr

■ La prospective Agrimonde-Terra propose cinq scénarios d'usage des terres et de sécurité alimentaire à l'horizon 2050. Les productions animales sont un élément clé de ces scénarios et de leurs conséquences sur l'usage des terres et pour la sécurité alimentaire. La prospective Agrimonde-Terra n'apporte pas un message uniforme et globalisé sur la consommation de produits animaux, et notamment sur sa réduction, mais un message différencié en fonction des enjeux régionaux de la sécurité alimentaire.

## Introduction

L'élevage et la consommation de produits animaux sont au cœur des débats sur l'avenir des systèmes alimentaires à l'échelle globale. D'un côté, la croissance de la consommation de produits animaux est une tendance de long terme qui résulte de la transformation des régimes alimentaires liée à l'augmentation des revenus, à l'urbanisation et aux changements de style de vie (Kearney, 2010 ; Alexandratos et Bruisma, 2012 ; Popkin *et al.*, 2012 ; Zhai *et al.*, 2014). D'un autre côté, l'élevage est source d'impacts négatifs significatifs sur l'environnement et sur la santé humaine (FAO, 2006 ; Tilman et Clark, 2014 ; Godfray *et al.*, 2018). Il en résulte que dans les travaux qui s'interrogent sur les leviers qui permettraient de réduire les impacts négatifs sur l'environnement et/ou la santé des systèmes alimentaires mondiaux, la limitation de la croissance de la consommation de produits animaux, en particulier

de viande et plus spécifiquement de viande de ruminant, fait toujours partie des leviers invoqués (Stehfest *et al.*, 2009 ; Popp *et al.*, 2010 ; Wirsenius *et al.*, 2010 ; Bajželj *et al.*, 2014 ; Springmann *et al.*, 2016 ; Rööös *et al.*, 2017 ; Weindl *et al.*, 2017 ; Springmann *et al.*, 2018).

On retrouve le même consensus dans les travaux de prospective qui s'intéressent à la sécurité alimentaire mondiale et qui proposent des scénarios globaux d'évolution des systèmes alimentaires mondiaux : la transition vers des régimes alimentaires moins riches en énergie et moins riches en produits d'origine animale fait partie des options avancées pour nourrir une population mondiale croissante de manière durable (pour une revue, voir Le Mouël et Forslund, 2017, par exemple).

La prospective Agrimonde-Terra (Le Mouël *et al.*, 2018a) fait partie de ces travaux. Ses scénarios d'usage des terres et de sécurité alimentaire en 2050 confirment le rôle clé de l'élevage et de la

consommation de produits animaux au regard de l'usage des terres et de la sécurité alimentaire. Ils montrent également que l'évolution des régimes alimentaires vers une diète, en moyenne mondiale, moins riche en énergie, plus diversifiée et contenant moins de produits d'origine animale est nécessaire pour assurer la sécurité alimentaire mondiale à l'horizon 2050.

Les scénarios d'Agrimonde-Terra reposent sur quatre hypothèses d'évolution alternative des régimes alimentaires à 2050, qui donnent une place contrastée aux produits animaux, dans le temps mais aussi dans l'espace. En particulier, dans un souci de sécurité alimentaire régionale, Agrimonde-Terra fait l'hypothèse que les régimes alimentaires des régions en développement (Afrique sub-Saharienne et Inde) voient leur contenu en énergie et leur contenu en produits animaux augmenter à 2050, même lorsque la trajectoire générale d'évolution conduit ces contenus à diminuer en moyenne mondiale.

Cette hypothèse se révèle cruciale au regard de l'équilibre global entre l'offre et la demande de biomasse et en termes d'usage des terres au niveau mondial et régional, car, dans les scénarios d'Agrimonde-Terra, ces régions en développement très peuplées connaîtront une croissance démographique très rapide, tandis que leurs systèmes d'élevage peu performants en termes de rendements à l'hectare verront leur productivité s'améliorer à 2050, mais dans une mesure limitée comme l'ensemble des autres régions du monde.

Au total, si les résultats d'Agrimonde-Terra permettent de différencier clairement entre les scénarios qui ne seraient pas capables et ceux qui seraient susceptibles d'assurer la sécurité alimentaire mondiale en 2050, les résultats au niveau régional sont plus ambigus : pour les régions en développement, en particulier pour l'Afrique sub-saharienne, tous les scénarios conduisent à une expansion de la surface agricole difficilement soutenable.

L'objectif de cet article est double : après avoir décrit la méthode utilisée (partie 1) il s'agit tout d'abord de présenter les scénarios d'Agrimonde-Terra, en mettant en évidence le rôle des productions animales dans ces scénarios (partie 2) ; puis, dans un second temps, d'éclairer les enjeux des scénarios pour les productions animales dans le monde de demain (partie 3).

## 1. La méthode d'Agrimonde-Terra

Pour penser les futurs de l'usage des terres et de la sécurité alimentaire mondiale à l'horizon 2050, la méthode adoptée dans Agrimonde-Terra combine diverses approches : une analyse systémique, une méthode des scénarios basée sur l'analyse morphologique (Ritchey, 2011) et mobilisée à différentes échelles du système, la mise en œuvre de « forums prospectifs » où sont débattues les hypothèses d'évolution du système (de Jouvenel, 1972 ; Mermet, 2009), et la construction et l'utilisation d'un outil de modélisation et de simulation GlobAgri-AgT.

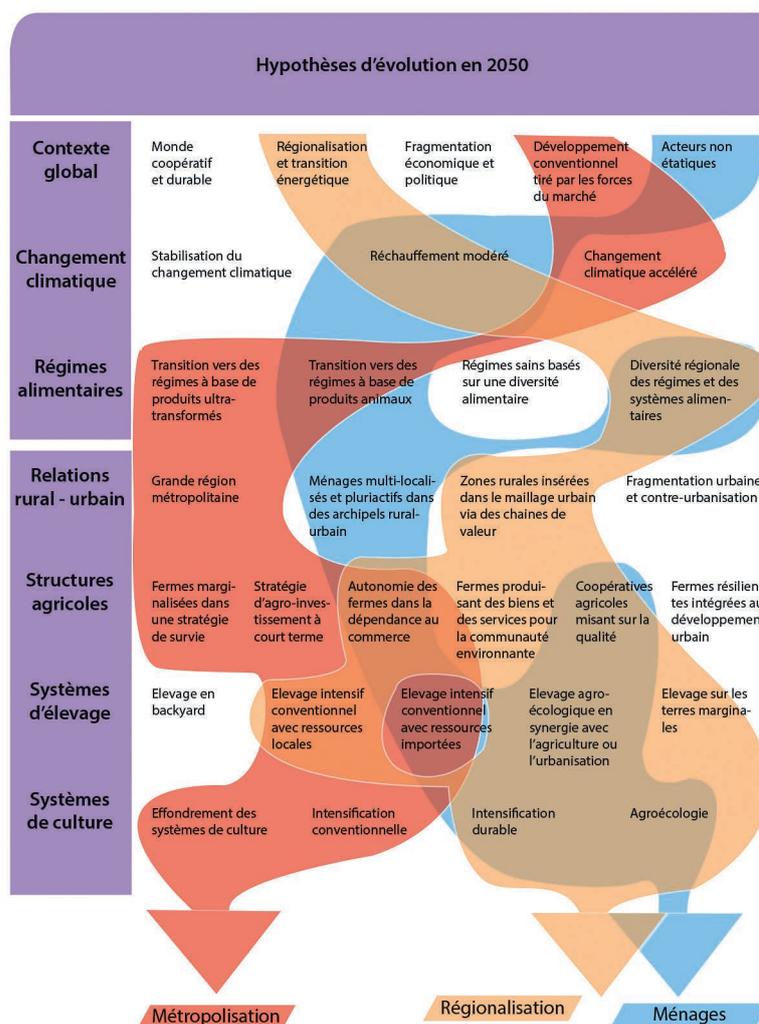
Agrimonde-Terra se définit comme un exercice à visée *exploratoire* dont le but est de préparer les acteurs et la recherche à différents futurs possibles, en leur fournissant des éléments de compréhension et d'anticipation des enjeux à venir sous la forme de scénarios. La méthode des scénarios basée sur une analyse morphologique permet d'envisager un grand nombre de scénarios alternatifs à partir d'une analyse commune des dynamiques du système, tout en prenant en compte un degré élevé d'incertitude (Zurek et Henrichs, 2007).

Dans l'approche systémique Agrimonde-Terra, les principaux déterminants des changements d'usage des terres ont été analysés dans un premier

temps : systèmes de culture, systèmes d'élevage, structures de production, relations entre les zones urbaines et rurales ; changement climatique, régimes alimentaires et contexte global. En s'appuyant sur une analyse rétrospective et prospective de ces déterminants, menée avec l'appui de groupes d'experts, des hypothèses d'évolution alternative d'ici 2050 de chaque déterminant ont été élaborées. Sur cette base, cinq scénarios contrastés ont été construits, en recherchant les combinaisons plausibles et pertinentes de ces hypothèses, et en s'appuyant sur un comité d'experts internationaux.

Les figures 1 et 2 permettent de visualiser la méthode de construction des scénarios. Le tableau morpholo-

**Figure 1.** Combinaisons alternatives d'hypothèses d'évolution à 2050 des déterminants constituant les scénarios « Métropolisation », « Régionalisation » et « Ménages » (Conception graphique : Élodie Carle).

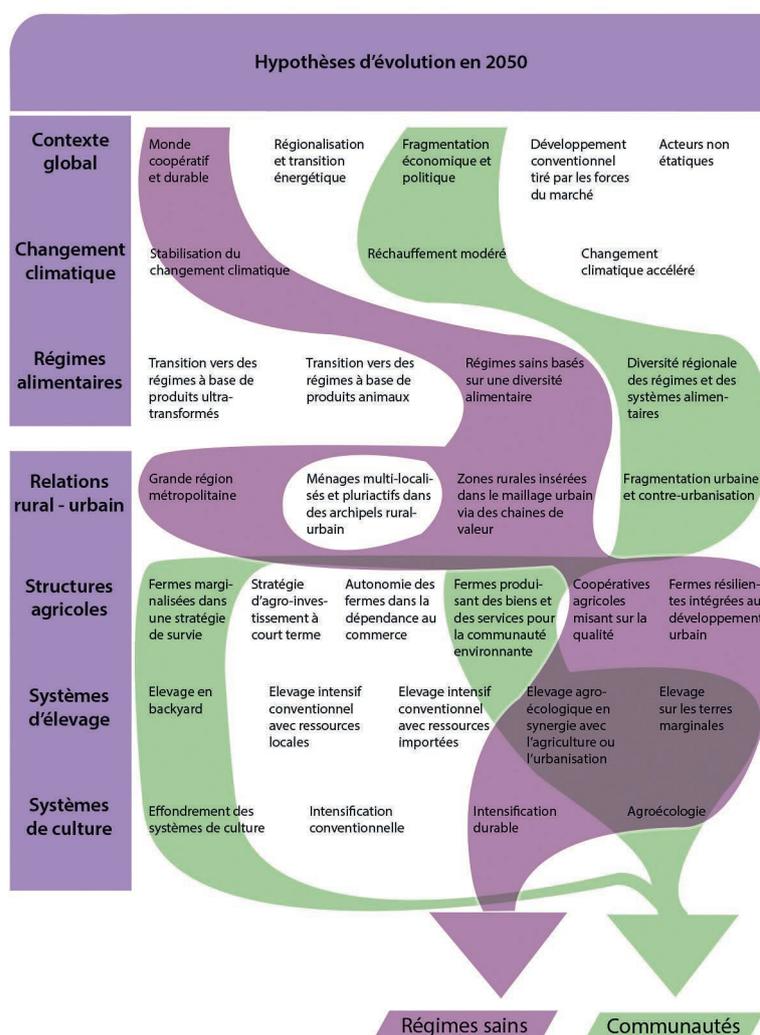


gique, sous-jacent dans ces graphiques, rapporte pour chaque déterminant du système (en ligne) les hypothèses d'évolution alternative à 2050 retenues (en colonne). Les cinq scénarios d'Agrimonde-Terra sont construits en combinant une ou plusieurs hypothèses d'évolution par déterminant (flèches de couleur sur les graphiques). Les trois premiers scénarios sont basés sur des tendances concurrentes actuelles identifiées dans la plupart des régions du monde (figure 1). Les deux derniers scénarios impliquent des ruptures potentielles qui pourraient changer radicalement le système « usage des terres et sécurité alimentaire » dans son ensemble (partie 2).

Dans une deuxième étape, les impacts des scénarios en termes d'usage des terres ont été évalués à l'aide du modèle GlobAgri-AgT (cf. encadré). Pour ce faire, chaque hypothèse d'évolution alternative à 2050 des différents déterminants du système a d'abord été quantifiée pour disposer, pour chaque hypothèse et pour chacune des 14 régions considérées, de valeurs pour les variables d'entrée du modèle<sup>1</sup>. Puis quatre des cinq scénarios ont été simulés, fournissant ainsi des résultats quantitatifs sur leurs impacts en termes d'usage des terres, de production agricole et de commerce international par région et pour le monde dans son ensemble.

1 La quantification des hypothèses d'évolution alternative à 2050 consiste, par exemple dans le cas des régimes alimentaires, à établir des règles de projections à 2050 (communes aux 14 régions du monde considérées mais différentes selon l'hypothèse d'évolution) du contenu énergétique et de la composition du régime alimentaire initial (2010) de chaque région. Combinées à une hypothèse de projection démographique à 2050, ces projections des régimes alimentaires fournissent la variation de la consommation humaine de chaque produit entre 2010 et 2050 dans chaque région. Ce sont ces variations qui, en même temps que toute une série d'autres variables d'entrée (comme les rendements végétaux, les efficacités animales, les surfaces cultivables maximales), sont introduites dans le modèle de bilans de biomasse, ce dernier fournissant en sortie les surfaces cultivées et les surfaces en prairies et pâtures permanentes, les productions, les importations et les exportations de chaque produit pour chaque région. La quantification des hypothèses d'évolution alternative à 2050 des déterminants du système est décrite en détail dans Le Mouél et Marajo-Petizon (2018).

**Figure 2. Combinaisons alternatives d'hypothèses d'évolution à 2050 des déterminants constituant les scénarios « Régimes sains » et « Communautés » (Conception graphique : Élodie Carle).**



Enfin, dans une dernière étape, articulant analyse qualitative et analyse quantitative, un récit a été élaboré pour chaque scénario. Chaque récit fournit une image des usages des terres et de la sécurité alimentaire en 2050, et détaille le moteur du scénario et la trajectoire du système vers son image en 2050.

## 2. Les récits des cinq scénarios d'Agrimonde-Terra

Les récits détaillés des scénarios sont disponibles dans Mora (2018a). Dans cette section nous synthétisons ces récits en deux temps : un premier temps consacré aux moteurs et aux tra-

jectoires vers 2050 des cinq scénarios ; un second temps centré sur leur image en termes d'usage des terres puis en termes de sécurité alimentaire en 2050.

### ■ 2.1. Moteur et trajectoire des scénarios

#### a. Métropolisation : des usages des terres pilotés par la métropolisation

En 2050, deux tiers de la population mondiale vivent dans des villes et plus de 15 % de la population urbaine réside dans des mégapoles (de plus de 10 millions d'habitants). S'appuyant sur l'émergence d'une large classe moyenne, ces mégapoles sont le cœur d'une économie mondiale qui s'organise autour d'un réseau mondial de

**Encadré. La plateforme GlobAgri et son application GlobAgri-AgT**

GlobAgri est une plateforme quantitative permettant de produire des bases de données cohérentes et des modèles de bilans ressources – utilisations de produits agricoles et agroalimentaires à partir de données FAOStat et de données complémentaires partagées par des scientifiques de plusieurs institutions. Les bases de données générées sont équilibrées et tiennent compte des liens entre produits (*via* l'alimentation animale ou les produits joints huiles-tourteaux d'oléagineux ou lait-viande par exemple). Les modèles de bilans équilibrent les ressources (production domestique plus importations moins exportations) d'une part, et les utilisations (consommation humaine, consommation animale et autres utilisations) d'autre part, pour chaque produit dans chaque région. Ils permettent de simuler les changements d'usages des terres induits par des modifications des utilisations de produits dans les différentes régions, étant donné un ensemble d'hypothèses d'évolution des autres variables du système (rendements végétaux et animaux, contrainte de terres disponibles pour l'agriculture, contrainte de terres cultivables, conditions du commerce international...). L'outil GlobAgri a été utilisé pour générer une base de données et un modèle de bilans spécialement spécifiés pour Agrimonde-Terra : GlobAgri-AgT.

GlobAgri-AgT comporte 33 agrégats de produits (26 agrégats de produits végétaux et 7 agrégats de produits animaux) et couvre 14 régions du monde. L'élevage y est représenté par 5 secteurs (lait, bovin viande, petits ruminants, porc et volaille) qui produisent 6 produits (lait, viande bovine, de petits ruminants, de porc, de volaille et œufs). Dans chaque secteur, plusieurs systèmes d'élevage co-existent : mixte, pastoral, urbain et autre pour les ruminants, mixte et autre pour les monogastriques, tels que définis dans Herrero *et al.* (2013). Les coefficients inputs/outputs entre les quantités des divers produits végétaux consommés par les animaux, (y compris l'herbe) et les quantités produites de produits animaux sont calibrés par système à partir des données sur les rations et les rendements animaux de Herrero *et al.* (2013), complétées par des données de Bouwman *et al.* (2005) et de Monfreda *et al.* (2008).

L'outil générique GlobAgri et son application GlobAgri-AgT sont décrits en détail dans Le Mouël *et al.* (2018b).

« villes globales » où se localisent l'essentiel des activités et des emplois. La création de valeur au sein des mégapoles s'appuie principalement sur la concentration des activités, et concerne les secteurs des services, de l'industrie, de la connaissance et de la finance. C'est la croissance économique et le maintien d'une trajectoire de développement conventionnelle qui sont privilégiées, et les préoccupations environnementales ont été reléguées au second plan.

Les firmes transnationales de l'agroalimentaire, de la distribution et de la logistique contrôlent désormais la majeure partie des marchés alimentaires, et mettent en relation des sites de production ruraux et des bassins de consommation majoritairement urbains. Depuis 50 ans, il y a eu une convergence globale des régimes alimentaires, caractérisée par l'augmentation de la consommation d'aliments ultra-transformés, commercialisés par de grandes firmes agroalimentaires, et de produits d'origine animale, en relation avec l'évolution des revenus et des

styles de vie, dans un contexte global de développement porté par les forces du marché et marqué par des changements climatiques rapides. L'agriculture intensive s'est développée grâce à des investissements privés (fonds d'investissement, firmes, bourgeoisie urbaine) dans des bassins de production éloignés des villes mais connectés aux marchés alimentaires. Cette agriculture, qui ne prend en compte qu'a posteriori les problèmes environnementaux, a conduit à une forte dégradation des sols et à un déplacement des zones cultivées (avec notamment une sélection des terres les plus aptes à ce mode d'intensification). L'ensemble constitué par l'agriculture intensive et les filières associées contribue désormais de façon importante aux émissions de gaz à effet de serre. De plus, l'affirmation d'une économie reliant des archipels urbains à l'échelle mondiale a laissé de vastes zones à l'écart de la croissance économique. Dans les zones rurales éloignées des métropoles, non connectées à elles, et considérées comme inaptées à une mise en valeur selon le modèle inten-

sif, une agriculture pratiquée par des paysans pauvres se maintient dans des conditions économiques et environnementales difficiles (sols dégradés, difficulté d'accès à l'eau). Les évolutions des régimes alimentaires ont conduit à un développement des maladies chroniques liées à l'alimentation ; la croissance des inégalités intra-urbaines et entre zones urbaines et rurales a engendré des problèmes de sous-nutrition ; l'impact fort du changement climatique sur la production agricole a provoqué une fragilité du système alimentaire qui génère ponctuellement des crises alimentaires dans les zones et pour les populations les plus vulnérables.

**b. Régionalisation : des usages des terres pour des systèmes alimentaires régionaux**

En 2050, les États se sont organisés au sein de blocs régionaux supra-étatiques. Une gouvernance à l'échelle de blocs régionaux, à la fois politique et économique, s'est développée pour traiter des enjeux globaux, dans une situation marquée par l'impossibilité d'instituer une gouvernance globale et l'échec d'une gouvernance par les seules forces du marché. Ces blocs régionaux ont reconfiguré les systèmes alimentaires et organisé la transition énergétique. Ils ont mis en œuvre un principe de « subsidiarité alimentaire » selon lequel tout ce qu'il est possible de produire à l'échelle régionale y est produit, et lorsque la production régionale est insuffisante, les produits nécessaires sont importés. Au sein des régions, les États visent également à une plus grande souveraineté énergétique *via* un accroissement de la production d'énergies renouvelables et le recours aux ressources fossiles disponibles régionalement.

La régionalisation des systèmes alimentaires s'est traduite par une reconfiguration de l'approvisionnement alimentaire et des chaînes de valeurs à l'échelle régionale, ainsi que par un retour à des régimes alimentaires régionaux plus traditionnels. Les firmes de la logistique, de l'agroalimentaire et de la distribution se sont coordonnées au sein des réseaux qui articulent des lieux de production ruraux, des activités de collecte et de transformation

localisées dans des villes intermédiaires, et une diversité de systèmes de distribution aussi bien ruraux qu'urbains. En 2050, chaque région a élargi sa palette d'offre alimentaire, en développant une diversité de filières s'appuyant sur les cultures culinaires régionales. Selon les régions, la production et la consommation de racines et de tubercules, ou bien de céréales secondaires et de légumineuses, ou bien de fruits et légumes se sont accrues. Ce développement des filières agroalimentaires a un effet d'entraînement sur l'agriculture et sur le développement rural en général. La re-diversification des productions a transformé les systèmes de culture et d'élevage. Ainsi, l'alimentation des animaux provient spécifiquement de productions végétales régionales, et des échanges de fertilisants organiques entre l'élevage et les cultures sont organisés sur des courtes et moyennes distances. En 2050, la transition nutritionnelle vers la consommation de produits ultra-transformés, largement amorcée dans les années 2000, a été limitée, tout comme ses impacts potentiels sur la santé.

#### c. Ménages : des usages des terres pour des ménages mobiles et multi-actifs

Dans un monde ultra-globalisé, mobile et hybride, les acteurs non-étatiques (ONG internationales, collectifs locaux, firmes multinationales, institutions académiques, fondations, collectivités, villes) dominent les transformations sociales, économiques et géopolitiques. Ils s'organisent, forment des réseaux ad-hoc qui ont un rôle moteur dans les échanges, et supplantent progressivement les gouvernements souverains. Dans un contexte économique dynamique mais relativement instable, les mobilités réversibles et temporaires de courte et de longue distance entre villes et campagnes, saisonnières ou transnationales, se développent, permettant aux individus de diversifier leurs revenus.

Les chaînes de valeur sont désormais fortement liées aux débats publics portant sur les caractéristiques des produits. Celles-ci sont co-définies avec des groupes concernés (citoyens, consommateurs, résidents...) ayant

des revendications de santé, de biodiversité, d'environnement, de lutte contre le changement climatique, etc. Ces revendications ont engendré une forte visibilité des pratiques et des groupes d'agriculteurs. La multi-activité des ménages agricoles se généralise, grâce au développement d'activités agricoles et non-agricoles, rurales ou urbaines, multi-localisées ; ces activités s'inscrivent dans des organisations en réseau. Le déploiement de ces réseaux s'est appuyé sur le développement des infrastructures de transport, des plateformes numériques, et plus généralement, sur un mouvement de désintermédiation dans les chaînes de valeur. Les structures d'exploitation qui s'insèrent dans ces réseaux sont diversifiées ; elles vont de la petite exploitation basée sur une main-d'œuvre familiale à la grande exploitation fortement capitalisée. Les réseaux d'acteurs publics et privés qui organisent la commercialisation des produits définissent des finalités aux activités agricoles et participent aussi à la reconfiguration des pratiques agricoles et du type d'intensification, en fonction du lien qu'ils entretiennent à l'opinion publique.

#### d. Régimes sains : des usages des terres pour une alimentation saine et de qualité

Dans la décennie 2020-2030, le poids économique considérable des maladies chroniques liées à l'alimentation dans les systèmes de santé et, de façon plus générale, les conséquences socioéconomiques de l'état de malnutrition des populations ont conduit la plupart des États à mettre en place un ensemble de politiques afin d'orienter la consommation rurale et urbaine vers des régimes alimentaires sains. Ces politiques ont convergé avec des dispositifs de gouvernance internationale de lutte contre le changement climatique qui concernent l'énergie, les transports et le bâtiment, le système alimentaire et le stockage du carbone. Dans ce cadre, des synergies multi-scalaires (territoriales, nationales et internationales) entre politiques alimentaires, agricoles et climatiques ont été mises en œuvre, afin que les politiques agricoles et alimentaires génèrent simultanément des effets massifs et positifs sur les régimes

alimentaires et le climat à l'échelle globale. Ainsi, des politiques globales d'amélioration des sols ont permis de restaurer des terres dégradées pour l'agriculture et d'améliorer le stockage du carbone dans les sols agricoles.

Une réorientation des systèmes d'approvisionnement alimentaire basée à la fois sur l'organisation des agriculteurs et la structuration des chaînes de valeur modernes a facilité l'accès à des aliments de qualité et diversifiés, tout en limitant la consommation de produits ultra-transformés, aussi bien pour les populations rurales qu'urbaines. Par rapport à 2010, les régimes alimentaires comportent en 2050 moins de produits animaux (dans les pays développés), de graisses, de sucres et d'édulcorants et de produits ultra-transformés, et plus de fruits et légumes, de céréales secondaires et de légumineuses. Dans certains pays en développement, la part des produits animaux dans le régime alimentaire s'est accrue pour répondre aux enjeux de sous-nutrition. Pour répondre aux enjeux de sur- et sous-nutrition, les systèmes de culture et les cultures se sont diversifiés, en intégrant des techniques d'agroécologie, tandis que les systèmes d'élevage, dont le développement a été limité, se sont re-couplés avec des productions végétales. Par ailleurs, une meilleure organisation des systèmes alimentaires a réduit les pertes et les gaspillages, en particulier en améliorant les capacités de stockage et de conservation des denrées alimentaires dans les pays du Sud. Le commerce international continue de jouer un rôle important mais il est à présent régulé par des normes nutritionnelles.

#### e. Communautés : des usages de la terre comme commun des communautés rurales dans un monde fragmenté

En 2050, de multiples crises concomitantes (crises financières, énergétiques, géopolitiques et écologiques) ont conduit à une situation mondiale fragmentée aussi bien politiquement qu'économiquement. Ces crises ont enrayé la croissance urbaine, ralentissant le processus de concentration de la population urbaine et des activités économiques dans de grandes métropoles.

La réduction des migrations rurales vers les grandes villes a engendré une fragmentation et une diffusion urbaine (avec un développement des petites villes), mais aussi une augmentation des populations rurales dans certaines régions où la natalité reste élevée (Asie, Afrique sub-Saharienne).

Dans certaines régions, pour faire face à une situation de crises multiples, les agriculteurs s'organisent collectivement à l'échelle des communautés et des territoires pour mettre en place des systèmes agroécologiques. Des dispositifs de coopération, définissant des règles de gestion collective, permettent de co-construire et de gérer les biens communs pour assurer une production durable d'aliments, d'énergie et de services environnementaux. Des synergies territoriales entre les systèmes d'élevage et les systèmes de culture se sont construites permettant à la fois d'améliorer la gestion de la fertilité des sols, et d'assurer l'autonomie de l'alimentation animale. Dans d'autres régions, l'agriculture de survie se développe dans un contexte de réduction de la taille des structures résultant de la croissance de la population rurale et agricole et de l'absence d'un développement économique urbain. Les processus d'intensification conventionnelle des cultures mis en place rencontrent deux types d'écueil suivant les régions et en fonction de l'accès aux intrants : une exploitation minière des sols, mais aussi une sur-intensification de la petite agriculture qui génère des impacts forts sur l'environnement.

## ■ 2.2. Les conséquences des scénarios d'Agrimonde-Terra en termes d'usage des terres

Les conséquences des scénarios sur l'usage des terres ont été simulées à l'aide du modèle de bilans de biomasse GlobAgri-AgT. Bien que le modèle fournisse des résultats pour 14 grandes régions du monde, dans ce qui suit nous ne considérons que les résultats pour le monde dans son ensemble. Les graphiques 1 et 2 indiquent que plusieurs hypothèses d'évolution à 2050 d'un déterminant peuvent coexister dans

un même scénario. Par exemple, dans le scénario Régimes sains, les systèmes de culture peuvent adopter une trajectoire d'intensification durable dans certains endroits et de transition vers l'agroécologie dans d'autres<sup>2</sup>. Dans l'analyse quantitative néanmoins, par souci de simplicité, nous avons considéré des scénarios constitués d'une seule hypothèse d'évolution par déterminant, s'appliquant partout dans le monde. Certains scénarios ont par conséquent été simulés sous différentes variantes, chaque variante correspondant à une hypothèse d'évolution possible d'un déterminant (tableau 1). Enfin, les spécificités du scénario Ménages (réseaux, mobilité, pluriactivité, agilité) étant plutôt liées aux structures agricoles et au modèle de développement rural, elles sont difficiles à prendre en compte dans le modèle, et nous ne fournissons pas de résultats quantitatifs pour ce scénario.

### a. Une expansion des terres agricoles au niveau mondial dans la plupart des scénarios

Presque tous les scénarios et leurs variantes conduisent à une expansion des terres agricoles au niveau mondial (tableau 2). L'expansion des terres agricoles mondiales varie néanmoins très fortement d'un scénario à l'autre et, pour chaque scénario, d'une variante à l'autre. L'expansion est particulièrement élevée pour les scénarios impliquant soit une augmentation significative du niveau des calories d'origine animale dans les régimes

2 Les hypothèses d'évolution des systèmes de culture sont présentées dans Réchauchère *et al.* (2018), leur traduction quantitative dans Le Mouël et Marajo-Petitson (2018). Dans Agrimonde-Terra, l'intensification durable des systèmes de culture est entendue comme une intensification de la production combinée à une réduction des impacts environnementaux, *via* la substitution d'intrants et la maximisation de leur efficacité grâce aux nouvelles technologies. L'évolution des systèmes de culture vers l'agroécologie implique en revanche une refonte totale des systèmes : diversification des cultures, agroforesterie, polycultures-élevage reposant sur les régulations biologiques qu'ils produisent eux-mêmes et sur des intrants locaux dans une recherche d'autonomie. Les règles générales de quantification des hypothèses d'évolution des systèmes de culture aboutissent en moyenne à des rendements à l'hectare en 2050 plus faibles en agroécologie qu'en intensification durable.

alimentaires (+ 1,3 milliard d'hectares ou + 27 % par rapport à la situation initiale pour Métropolisation\_Animp), soit une stagnation ou une détérioration générale des performances des systèmes de production agricole (+ 2 milliards d'hectares ou + 41 % pour Communautés\_EFF). Elle est beaucoup plus faible pour les scénarios impliquant soit une réduction du niveau calorique des régimes alimentaires (+ 142 millions d'hectares ou + 3 % pour Communautés\_AE), soit une augmentation limitée du niveau des calories d'origine animale dans ces régimes, accompagnée d'un mouvement de substitution significatif des viandes de ruminants par des viandes de monogastriques (+ 29 millions d'hectares ou + 0,6 % pour Régimes sains\_C et - 54 millions d'hectares ou - 1 % pour Métropolisation\_Ultrap).

L'expansion des terres agricoles résulte de l'ajustement simultané des surfaces cultivées et des surfaces en prairies et pâtures permanentes. La surface mondiale en cultures arables et permanentes s'accroît dans tous les scénarios, excepté Régimes sains\_C. Là encore, ce sont les scénarios présentant les régimes alimentaires les plus riches en calories d'origine animale ou les perspectives les plus sombres pour les rendements des cultures et la productivité des systèmes de production animale qui induisent les expansions de terre cultivée les plus larges au niveau mondial (respectivement, + 620 millions d'hectares ou + 40 % pour Métropolisation\_Animp et + 555 millions d'hectares ou + 36 % pour Communautés\_EFF). On peut noter l'expansion assez importante de terre cultivée induite par le scénario Métropolisation\_Ultrap (+ 243 millions d'hectares ou + 16 %). Outre les régimes alimentaires riches en calories embarqués dans ce scénario, l'hypothèse qui y est adoptée d'une substitution marquée entre viandes de ruminants et viandes de monogastriques (essentiellement de volaille) explique une large part de ce résultat (cf. partie 3). De la même façon, on peut souligner le caractère économe en terre cultivée du scénario Régimes sains (- 56 millions d'hectares dans sa variante C et + 50 millions d'hectares

**Tableau 1.** Les scénarios et leurs variantes simulés avec le modèle GlobAgri-AgT.

Scénarios	Variantes	Noms
Métropolisation	Avec hypothèse de transition des régimes vers les produits ultra-transformés Avec hypothèse de transition des régimes vers les produits animaux	Métropolisation_Ultrap Métropolisation_Animp
Régionalisation	Avec technologie A : intensification durable pour systèmes de culture ; intensification conventionnelle avec ressources locales pour systèmes d'élevage Avec technologie B : agroécologie pour systèmes de culture et systèmes d'élevage	Régionalisation_A Régionalisation_B
Régimes sains	Avec technologie C : intensification durable pour systèmes de culture ; agroécologie pour systèmes d'élevage Avec technologie D : agroécologie pour systèmes de culture et systèmes d'élevage	Régimes sains_C Régimes sains_D
Communautés	Avec agroécologie : agroécologie pour systèmes de culture et systèmes d'élevage Avec effondrement : effondrement des systèmes de culture et élevage de basse-cour	Communauté_AE Communauté_EFF

dans sa variante D), qui provient essentiellement du contenu calorique réduit et de la part limitée des calories d'origine animale dans les régimes alimentaires de ce scénario.

Le **tableau 2** indique que la surface mondiale en prairies et pâtures permanentes augmente également dans la plupart des scénarios. Cette dernière s'accroît considérablement dans le scénario Communautés\_EFF (+ 1,5 milliard d'hectares ou + 43,5 %), qui implique une détérioration de la productivité

des productions animales entre 2010 et 2050. Elle s'étend de manière substantielle dans le scénario Métropolisation\_Animp (+ 698 millions d'hectares ou + 21 %), du fait de la forte consommation de produits animaux, notamment de ruminants, qui caractérise ce scénario. La surface mondiale en prairies et pâtures permanentes augmente également significativement dans le scénario Régionalisation, notamment dans sa variante B (+ 517 millions d'hectares ou + 15,5 %), en partie parce que les régimes alimentaires traditionnels,

qui sont à la base de ce scénario, comportent une part importante de viande de petits ruminants, en particulier dans certaines régions à la démographie très dynamique (Afrique du Nord et Afrique sub-Saharienne, cf. partie 3). L'expansion des prairies et pâtures permanentes sur la planète est en revanche beaucoup plus limitée dans le scénario Régimes sains, notamment dans sa variante C (+ 85 millions d'hectares ou + 2,5 %), tandis que leur surface diminue dans les scénarios Métropolisation\_Ultrap et Communautés\_AE.

**Tableau 2.** Conséquences des scénarios sur l'usage des terres au niveau mondial (Millions d'hectares).

	Surface agricole totale	Surface en cultures arables et permanentes	Surface en prairies et pâtures permanentes
<b>Métropolisation</b> Métropolisation_Ultrap Métropolisation_Animp	- 54 (- 1 %) + 1 318 (+ 27 %)	+ 243 (+ 16 %) + 620 (+ 40 %)	- 297 (- 9 %) + 698 (+ 21 %)
<b>Régionalisation</b> Régionalisation_A Régionalisation_B	+ 249 (+ 5 %) + 691 (+ 14 %)	+ 70 (+ 4,5 %) + 174 (+ 11 %)	+ 179 (+ 5,5 %) + 517 (+ 15,5 %)
<b>Régimes sains</b> Régimes sains_C Régimes sains_D	+ 29 (+ 0,6 %) + 269 (+ 5,5 %)	- 56 (- 4 %) + 50 (+ 3 %)	+ 85 (+ 2,5 %) + 219 (+ 6,5 %)
<b>Communautés</b> Communautés_AE Communautés_EFF	+ 142 (+ 3 %) + 2 013 (+ 41 %)	+ 277 (+ 18 %) + 555 (+ 36 %)	- 135 (- 4 %) + 1 458 (+ 43,5 %)

**b. Une voie étroite pour assurer l'approvisionnement d'une population mondiale grandissante sans pressions supplémentaires sur la forêt**

Au total, seuls les scénarios Métropolisation\_Ultrap et Régimes sains\_C permettraient de produire suffisamment de biomasse agricole pour nourrir une population mondiale croissante sans étendre la surface agricole mondiale au détriment de la forêt. Dans tous les autres scénarios, assurer la disponibilité alimentaire mondiale nécessite d'étendre la surface agricole au niveau mondial, augmentant ainsi le risque de déforestation. Dans certains cas, l'expansion des terres agricoles estimée en 2050 est telle que les scénarios correspondants semblent difficilement soutenables. C'est le cas des scénarios Métropolisation\_Animp et Communautés\_EFF. Mais l'on peut s'interroger également sur la soutenabilité du scénario Régionalisation qui implique d'étendre significativement la surface agricole mondiale à l'horizon 2050 : de + 249 (+ 5 %) à + 691 (+ 14 %) millions d'hectares pour les variantes technologiques A et B respectivement. Bien que moins exigeant que le scénario Régionalisation\_B en termes d'expansion des terres agricoles au niveau mondial, le scénario Régimes sains dans sa variante technologique D (+ 269 millions d'hectares ou + 5,5 %) pose également question dans la mesure où il porte des objectifs ambitieux d'atténuation du changement climatique.

**■ 2.3. Les conséquences des scénarios d'AgriMonde-Terra en termes de sécurité alimentaire**

Pour compléter l'image des usages des terres en 2050, une analyse qualitative des conséquences des scénarios en termes de sécurité alimentaire a été menée. L'image de la sécurité alimentaire en 2050 des scénarios est détaillée ci-dessous.

Deux scénarios sont clairement incapables d'assurer durablement la sécurité alimentaire mondiale à l'horizon 2050. Il s'agit de Métropolisation et Communautés. Deux autres scénarios ont des résultats ambigus vis-à-vis de

cet objectif : Régionalisation et Ménages. Seul le scénario Régimes sains pourrait permettre d'assurer durablement la sécurité alimentaire mondiale en 2050.

Le scénario Métropolisation est celui qui contribue le plus à la surnutrition et à l'accroissement de la prévalence des maladies liées à l'alimentation (diabètes de type 2, maladies cardio-vasculaires, certains cancers) et à l'obésité. Concernant la sous-nutrition, bien que le scénario Métropolisation soit porté par une croissance économique soutenue favorable aux revenus des ménages, ce qui peut améliorer leur accès à l'alimentation et contribuer à réduire la sous-nutrition, ce scénario conduit à une augmentation des inégalités économiques et spatiales et à la marginalisation d'une large frange de la population rurale et urbaine ayant un accès limité à l'alimentation. Ceci est amplifié par une instabilité des conditions de production agricole liée au fort changement climatique, caractérisant ce scénario, et au processus de spécialisation et de concentration régionale des agricultures, qui joue dans le sens d'un accroissement de la volatilité des prix sur les marchés mondiaux agricoles, allant à l'encontre de la dimension stabilité de la sécurité alimentaire.

À l'opposé, Régimes sains est le scénario qui contribue le plus à la sécurité alimentaire et nutritionnelle en réduisant la surnutrition, la sous-nutrition et les carences nutritionnelles par une diversification des aliments. Dans ce scénario en effet, les régimes alimentaires des régions développées et émergentes tendent à être moins riches en calories, moins riches en calories d'origine animale, en sucres, en huiles végétales et en produits ultra-transformés et plus diversifiés, avec une part plus importantes de fruits et légumes, de légumineuses et de céréales secondaires. Dans les régions en développement où les régimes alimentaires sont initialement les plus pauvres en énergie (Inde et Afrique de l'Est, du Centre et du Sud), le scénario Régimes sains implique une augmentation de leur contenu calorique et un accroissement de la part des calories d'origine animale pour atteindre une sécurité alimentaire et nutritionnelle.

Le scénario Régionalisation remet en cause la dynamique actuelle de convergence des régimes alimentaires de par le monde vers le régime dit occidental, *i.e.* riche en énergie, en calories d'origine animale, en huiles végétales et en sucre, et laissant une part décroissante aux céréales, légumineuses et racines et tubercules. De ce point de vue, Régionalisation contribue à accroître la diversité inter-régionale des régimes alimentaires, à lutter contre la diffusion des produits ultra-transformés, conduisant ainsi à réduire la surnutrition et la prévalence des maladies liées à l'alimentation. De plus, les interactions étroites entre campagnes et villes peuvent permettre de développer l'emploi et les revenus dans les zones rurales et d'améliorer l'accès à l'alimentation des populations rurales. Cependant, les effets de ce scénario sont variables suivant les régions du monde, certaines régions restant très dépendantes des marchés internationaux pour leur approvisionnement alimentaire.

Du point de vue de la sécurité alimentaire et nutritionnelle, le scénario Ménages emprunte des éléments aux deux scénarios Régimes sains et Régionalisation. Mais, tandis que dans Régimes sains et Régionalisation, les changements sont accompagnés par une régulation étatique forte, dans le scénario Ménages, ils sont impulsés par des groupes de consommateurs et de citoyens. Du point de vue de l'accès à l'alimentation, la dynamique portée par le scénario Ménages d'accentuation de la mobilité facilitant la pluriactivité et la diversification des sources de revenu (emplois agricoles et non-agricoles dans les zones rurales et urbaines) joue dans le sens d'une amélioration de l'accès à l'alimentation. Cependant le risque n'est pas exclu, dans ce scénario de mobilité et de transformation des styles de vie, que les produits ultra-transformés continuent de se diffuser et finissent par compter pour une part significative des régimes alimentaires, générant un développement des maladies liées à l'alimentation.

La sécurité alimentaire et nutritionnelle dans le scénario Communautés est tributaire de crises multiples et d'une croissance économique faible et défa-

vorable aux revenus des ménages. Ces derniers voient, en moyenne, leur accès à l'alimentation se dégrader. En outre, le contexte de crise environnementale et climatique entraîne une stagnation voire une instabilité des performances des systèmes de production agricoles de par le monde. Dans ce contexte, les régimes alimentaires deviennent moins riches en énergie, ce qui va dans le sens d'une réduction de la surnutrition et de la prévalence des maladies liées à l'alimentation dans les pays développés et certains pays émergents, mais joue surtout à l'inverse dans le sens d'une accentuation de la sous-nutrition dans les pays en développement.

### 3. Les enjeux des scénarios d'Agrimonde-Terra pour les productions animales au travers de l'analyse quantitative

La quantification des hypothèses d'évolution à 2050 des déterminants du système, réalisée dans le cadre de l'analyse quantitative d'Agrimonde-Terra, permet d'éclairer plus spécifiquement les enjeux des scénarios pour les productions animales.

Les hypothèses d'évolution des régimes alimentaires combinées aux hypothèses d'évolution démographique, adoptées dans les différents scénarios d'Agrimonde-Terra, déterminent la consommation de produits agricoles et alimentaires en 2050 au niveau global et dans les différentes régions du monde. Dans un premier temps nous analysons les enjeux des scénarios du point de vue de la consommation mondiale et régionale de produits animaux en 2050. Les hypothèses d'évolution des systèmes d'élevage combinées aux hypothèses d'évolution des systèmes de culture, adoptées dans les différents scénarios d'Agrimonde-Terra, déterminent la capacité des systèmes de production agricoles à répondre aux besoins alimentaires mondiaux et régionaux, étant donné les terres disponibles dans les différentes régions. Dans un second temps, nous examinons les enjeux des scénarios d'Agrimonde-Terra du point de vue de

l'évolution des systèmes d'élevage et de leur productivité.

#### ■ 3.1. Une consommation mondiale de produits animaux qui augmente dans tous les scénarios

##### a. Quatre hypothèses d'évolution des régimes alimentaires à 2050 qui contrastent la place des produits animaux, dans le temps et dans l'espace

Les scénarios d'Agrimonde-Terra utilisent quatre hypothèses d'évolution alternative à 2050 des régimes alimentaires : Transition vers des régimes à base de produits ultra-transformés (Ultrap) ; Transition vers des régimes à base de produits animaux (Animp) ; Diversité régionale des régimes et des systèmes alimentaires (Régional) ; Régimes sains basés sur une diversité alimentaires (Sain)<sup>3</sup>. Pour simuler les conséquences des scénarios d'Agrimonde-Terra en termes d'usage des terres, ces quatre hypothèses ont été quantifiées selon des règles générales appliquées à toutes les régions considérées. Il en résulte quatre régimes alimentaires en 2050, contrastés en moyenne mondiale<sup>4</sup>. Le contraste entre les régimes en 2050 s'atténue nettement lorsque les règles générales sont appliquées aux régions développées et émergentes, qui se situent dans des phases avancées de la transition alimentaire et nutritionnelle (cf. [figure 3.a](#) illustrant le cas de l'UE). Dans ce cas, seule l'hypothèse Sain conduit à un régime significativement différent de ceux résultant des trois autres hypothèses d'évolution. En revanche le contraste entre les régimes en 2050 est très fortement marqué lorsque les règles générales sont appliquées aux régions en développement, qui en sont au tout début de la transition alimentaire et nutritionnelle

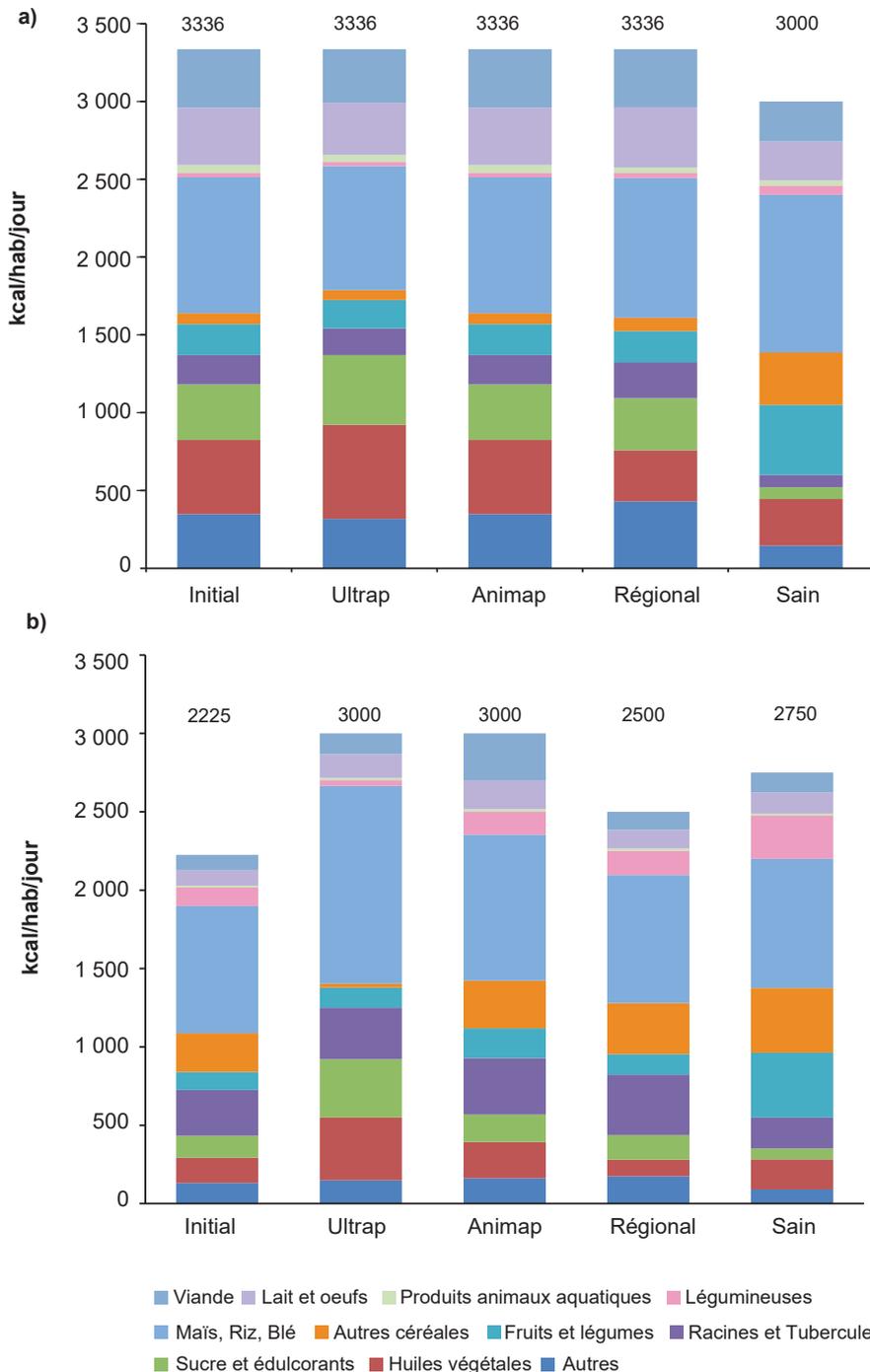
([figure 3.b](#) illustrant le cas de l'Afrique de l'Est, du Centre et du Sud -ECS).

De manière très générale, et en accord avec les évolutions des régimes alimentaires et des chaînes de valeur telles que décrites dans les récits des scénarios, l'hypothèse Ultrap conduit à un régime en 2050 riche en kcal par habitant et par jour, présentant des parts élevées d'huiles végétales et de sucre et intégrant, au sein des viandes, un mouvement significatif de substitution de la viande de volaille aux viandes de ruminants. L'hypothèse Animp conduit également à un régime à haute teneur en énergie, mais cette fois avec une part très élevée de calories d'origine animale, en particulier de viande. Au sein des viandes, la volaille se substitue également aux viandes de ruminants mais dans une bien moindre mesure que sous l'hypothèse précédente. L'hypothèse Régional marque un retour vers les régimes alimentaires traditionnels des différentes régions. Globalement, ceci se traduit par des régimes alimentaires un peu moins riches en énergie, avec une part élevée de racines et tubercules et une part plutôt faible d'huiles végétales. Au sein des viandes, l'hypothèse Régional se traduit par une place réduite de la viande de volaille au profit des viandes de ruminants. Pour les régions traditionnellement tournées vers la viande de petits ruminants (comme l'Afrique du Nord par exemple), l'hypothèse Régional marque le retour de cette viande qui tendait à disparaître progressivement des régimes. Enfin, sous l'hypothèse Sain, les régimes en 2050 sont significativement moins riches en kcal par habitant et par jour, ils contiennent des parts élevées de céréales secondaires, de fruits et légumes et de légumineuses et des parts faibles d'huiles végétales et de sucre. Au sein des viandes, l'hypothèse Sain implique une substitution partielle de la viande par des protéines végétales (légumineuses) et une substitution de la viande de volaille aux viandes de ruminants, pour répondre au double-objectif d'amélioration de la nutrition et de réduction des émissions de gaz à effet de serre porté par le scénario Régimes sains qui utilise cette hypothèse d'évolution des régimes alimentaires.

3 Ces hypothèses sont décrites en détail dans Mora (2018b).

4 Les règles de quantification des régimes alimentaires sous les quatre hypothèses d'évolution alternative sont présentées dans Le Mouél et Marajo-Petitson (2018), ainsi que les régimes correspondants en 2050, en moyenne mondiale et dans les différentes régions du monde.

**Figure 3.** Les régimes alimentaires dans la situation initiale de 2010 et en 2050 dans l'UE27 (a) et en Afrique de l'Est, du Centre et du Sud (b) sous les quatre hypothèses d'évolution alternative (kcal/hab/j) (Source : Le Mouël et al., 2018a).



La comparaison des figures 3.a et 3.b fait apparaître une différence essentielle sur l'évolution de la place des produits animaux dans les régimes alimentaires entre les régions développées et émergentes et les régions en développement : tandis que les quatre hypothèses d'évolution alternative des régimes conduisent à une stabilisation ou à une diminution de

la part des calories d'origine animale dans les régimes des régions développées et émergentes, elles aboutissent à une augmentation de cette part dans les régimes des régions en développement. Ainsi, même sous l'hypothèse Sain, qui limite la part des calories animales, mais en garantissant une part minimum de produits riches en protéines, les régions en développement

voient leurs régimes devenir plus riches en produits animaux, ces derniers occupant initialement une part particulièrement faible. En d'autres termes, Agrimonde-Terra suppose que des régimes sains et diversifiés requièrent, dans certaines régions en développement, une augmentation du contenu énergétique et du contenu en produits animaux des régimes actuels.

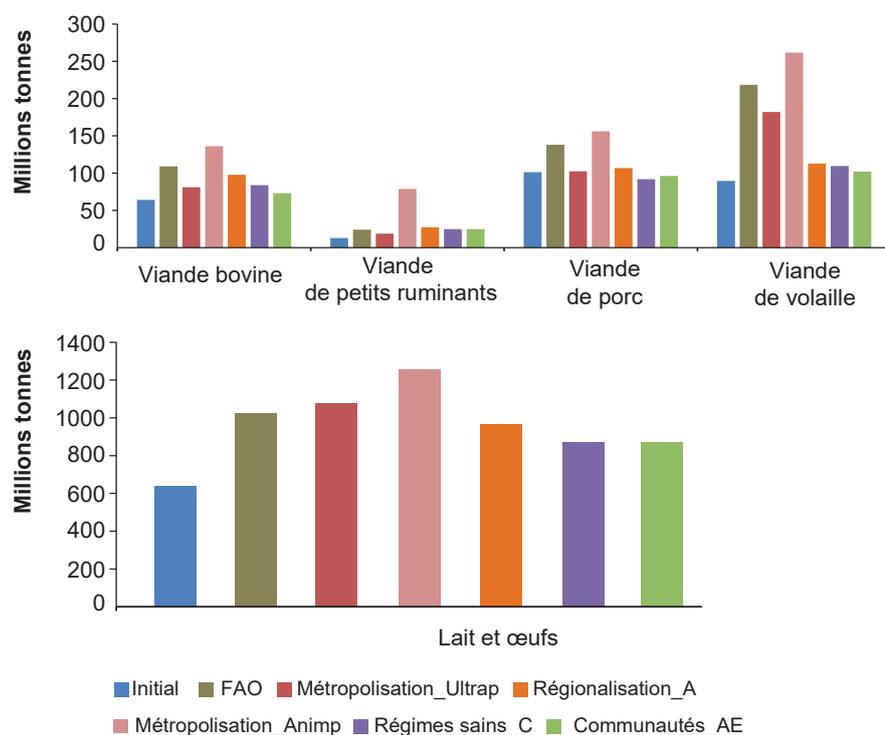
### b. Des niveaux de consommation mondiale et régionale de produits animaux très différenciés d'un scénario à l'autre

Dans chaque scénario d'Agrimonde-Terra l'hypothèse d'évolution des régimes alimentaires est combinée à une hypothèse d'évolution démographique<sup>5</sup>. Il en résulte un niveau de consommation humaine en 2050 de chaque produit, pour chacune des 14 régions considérées et pour le monde dans son ensemble, propre à chaque scénario. Le graphique 4 rapporte les niveaux de consommation mondiale en 2050 des viandes (4.a) et de l'agrégat lait/œufs (4.b) correspondant à chaque scénario<sup>6</sup>. À titre de comparaison, le graphique 4 fournit également les quantités correspondantes projetées par la FAO, issues de Alexandratos et Bruinsma (2012), projections qui supposent la poursuite des tendances actuelles et qui sont largement utilisées et citées dans les travaux centrés sur des scénarios globaux (Le Mouël et Forslund, 2017).

<sup>5</sup> Les scénarios d'Agrimonde-Terra utilisent une seule hypothèse d'évolution démographique à 2050 : la projection médiane de l'ONU (Organisation des Nations-Unies, révision 2015). Selon cette projection, la population mondiale s'établirait à 9,7 milliards d'individus en 2050, avec des évolutions régionales allant d'une quasi-stabilité dans l'Union européenne (UE), l'ex-URSS et en Chine, à une croissance très rapide en Afrique de l'Ouest, en Afrique ECS (+ 192 % et + 155 %, respectivement, entre 2010 et 2050), en Afrique du Nord et au Proche et Moyen-Orient (+ 72 et + 70 %, respectivement) et, dans une moindre mesure, en Inde (+ 45 %).

<sup>6</sup> Seules les variantes Ultrap et Animp du scénario Métropolisation sont différenciées en termes de régime alimentaire. Les variantes A, B, C, D, EFF et AE étant des variantes technologiques, elles ne différencient pas les scénarios Régionalisation, Régimes sains et Communautés auxquels elles sont accolées du point de vue de la consommation de produits animaux.

**Figure 4.** Consommation humaine mondiale de produits animaux en 2010 et en 2050 dans les projections de la FAO et dans les différents scénarios d'Agrimonde-Terra (millions de tonnes) (Source : GlobAgri-AgT et de Alexandratos et Bruinsma (2012) pour les projections de la FAO).



Sous nos hypothèses, la consommation mondiale de viande et de lait et œufs augmente entre 2010 et 2050 dans tous les scénarios, y compris dans le scénario Régimes sains. L'hypothèse que nous avons posée selon laquelle des régimes sains et diversifiés requièrent une augmentation du contenu énergétique et du contenu en produits animaux des régimes actuels dans les régions en développement, alliée à l'hypothèse démographique, révèle ici toute son importance. En effet, les régions dont les régimes alimentaires sont actuellement les plus pauvres en produits animaux (Afrique de l'Ouest, Afrique ECS et Inde) sont les régions du monde qui vont connaître la plus forte croissance de population d'ici 2050, de + 1,9 milliard (ce qui représente 64 % de la croissance de la population mondiale). À l'inverse, les régions développées et émergentes (Canada/USA, UE 27, Océanie, ex-URSS, Brésil/Argentine et Chine), dont les régimes actuels sont les plus riches en produits animaux, ne verraient leur population augmenter que de 180 millions d'individus au total. Le graphique 4 suggère que dans le scénario Régimes sains l'enrichissement

des régimes alimentaires en kcal par habitant et par jour et en produits animaux, allié à la croissance démographique très rapide dans les régions en développement, compense largement la stagnation ou l'appauvrissement des régimes en kcal par habitant et par jour et en produits animaux, associée à la quasi-stagnation de la population dans les régions développées et émergentes. Il est à noter qu'au sein du groupe des viandes, la viande de porc fait exception puisque sa consommation mondiale diminue dans le scénario Régimes sains : la viande de porc étant absente des régimes alimentaires dans les pays musulmans, sa consommation ne réagit pas à la croissance démographique d'une part significative de la population mondiale.

Les scénarios d'Agrimonde-Terra impliquent des niveaux de consommation mondiale de produits animaux en 2050 très contrastés. La consommation mondiale est particulièrement élevée dans le scénario Métropolisation\_Animp, elle est intermédiaire dans les scénarios Métropolisation\_Ultrap et Régionalisation, et elle est plus faible

dans les scénarios Régimes sains et Communautés. Le contraste entre scénarios est particulièrement marqué pour la viande de volaille, en partie du fait du processus de substitution de ce type de viande aux viandes de ruminants, qui vient s'ajouter aux autres facteurs d'évolution, dans les scénarios Métropolisation et Régimes sains.

Les projections de la FAO se placent entre nos deux variantes du scénario Métropolisation et bien au-dessus de nos trois autres scénarios. Ceci suggère que notre scénario Métropolisation se situe bien dans une optique de poursuite des tendances actuelles en termes de transition nutritionnelle et alimentaire, avec une variante Animp qui constitue une hypothèse notablement haute pour la place des produits animaux dans les régimes.

Au total, la consommation de produits animaux augmentant significativement dans les régions en développement pour tous les scénarios d'Agrimonde-Terra, c'est l'un des facteurs qui conduit à une expansion de la surface agricole mondiale dans la plupart de ces scénarios, d'autant que la productivité de l'élevage est particulièrement faible dans ces régions en développement.

### ■ 3.2. Des systèmes de production animale qui restent gourmands en terre dans les régions en développement

#### a. Trois hypothèses d'évolution des systèmes d'élevage à 2050 qui contrastent peu les évolutions des efficacités des rations animales dans le temps

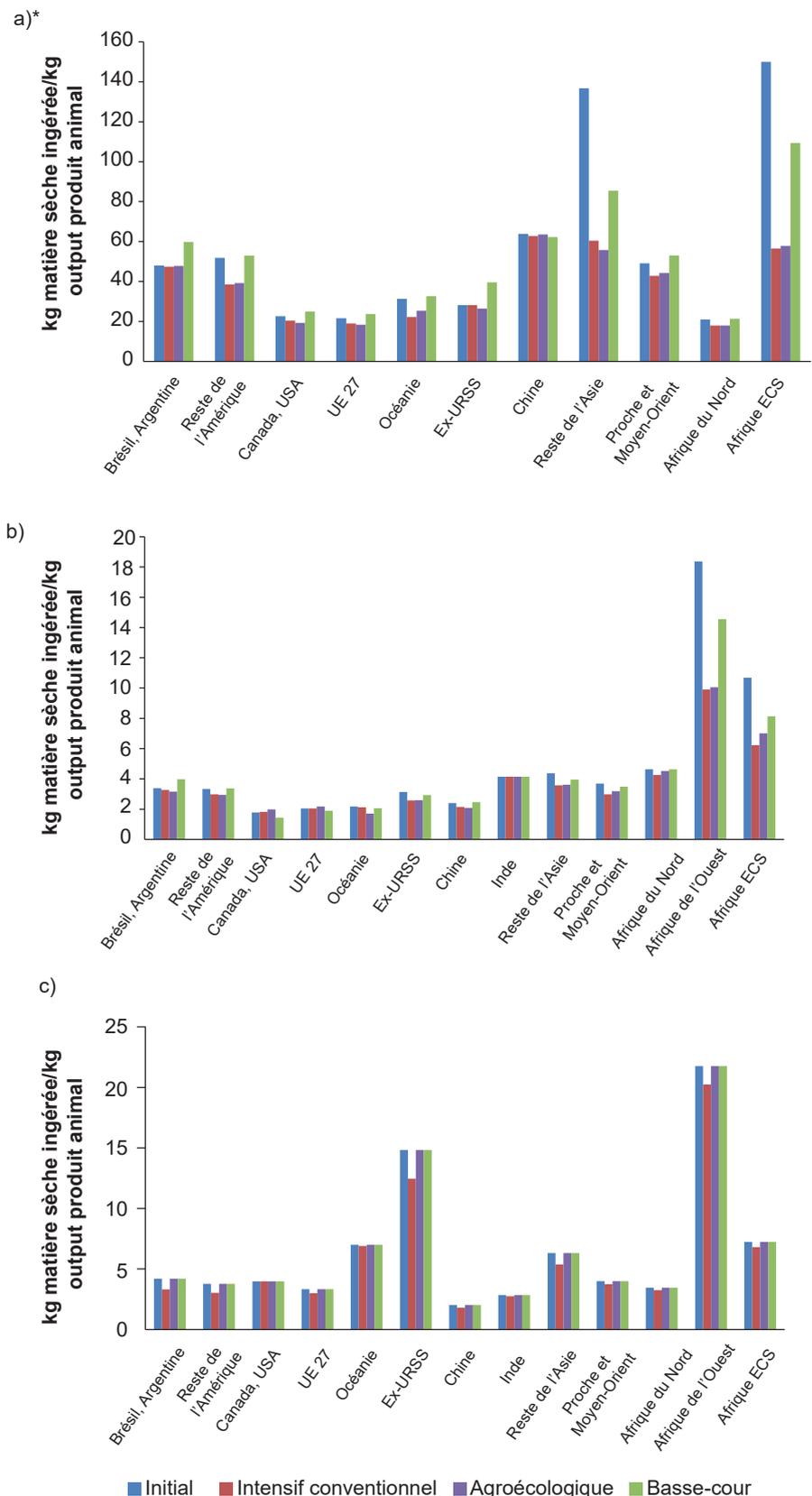
Les scénarios d'Agrimonde-Terra utilisent cinq hypothèses d'évolution alternative à 2050 des systèmes d'élevage : Élevage conventionnel intensif (Intensif) ; Élevage conventionnel intensif avec ressources locales (Intensif\_Local) ; Élevage agroécologique en synergie avec l'agriculture ou l'urbanisation (Agroécologique) ; Élevage de Basse-cour (Basse-cour) ; Élevage minimisant la concurrence pour la terre avec l'agriculture (Élevage sur

terres marginales ou Rationalisation)<sup>7</sup>. L'analyse quantitative n'a retenu que les quatre premières hypothèses, qui se réduisent à trois si l'on considère que l'hypothèse Intensif-local n'est qu'une variante de l'hypothèse Intensif où l'on remplace, dans la mesure du possible, les ingrédients importés par des ingrédients domestiques dans les rations.

Comme dans le cas précédent des régimes alimentaires, les trois hypothèses d'évolution des systèmes d'élevage ont été quantifiées selon des règles générales appliquées à toutes les régions considérées<sup>8</sup>. Il en résulte trois profils d'évolution des performances techniques (ici mesurées par les coefficients inputs/outputs, quantité d'aliments ingérée par quantité de produit animal produit) peu contrastés dans chaque région et assez peu différenciés entre régions, exception faite de certaines régions en développement, notamment l'Afrique de l'Ouest et l'Afrique ECS qui présentent des élevages peu efficaces pour transformer les rations animales. La figure 5 présente les coefficients « inputs/outputs » par secteur dans la situation initiale 2010 et en 2050 sous les trois hypothèses d'évolution des systèmes d'élevage, pour la viande bovine (5.a), le lait (5.b) et la viande de volaille (5.c).

Plusieurs éléments ressortent de ce graphique. Tout d'abord, il existe en 2010 des écarts importants de performance technique des systèmes d'élevage entre régions, en particulier entre régions développées et régions en développement. En second lieu, les règles générales adoptées pour quantifier les hypothèses d'évolution à 2050 différencient assez peu les coefficients inputs/outputs des secteurs de l'élevage, obtenus en 2050 sous chaque hypothèse dans chaque

**Figure 5.** Coefficients inputs/outputs en 2010 et en 2050 pour la viande bovine (a)\*, le lait (b) et la viande de volaille (c) sous les trois hypothèses d'évolution alternative (kg de matière sèche d'aliment par kg de produit animal produit, poids équivalent carcasse pour les viandes) (Source : calculé à partir de GlobAgri-AgT).



\* Inde et Afrique de l'Ouest absentes du fait du niveau initial élevé de leurs coefficients inputs/outputs (respectivement, 639 et 369) qui posent un problème d'échelle pour le graphique.

7 Ces hypothèses sont décrites en détail dans Manceron *et al.* (2018).

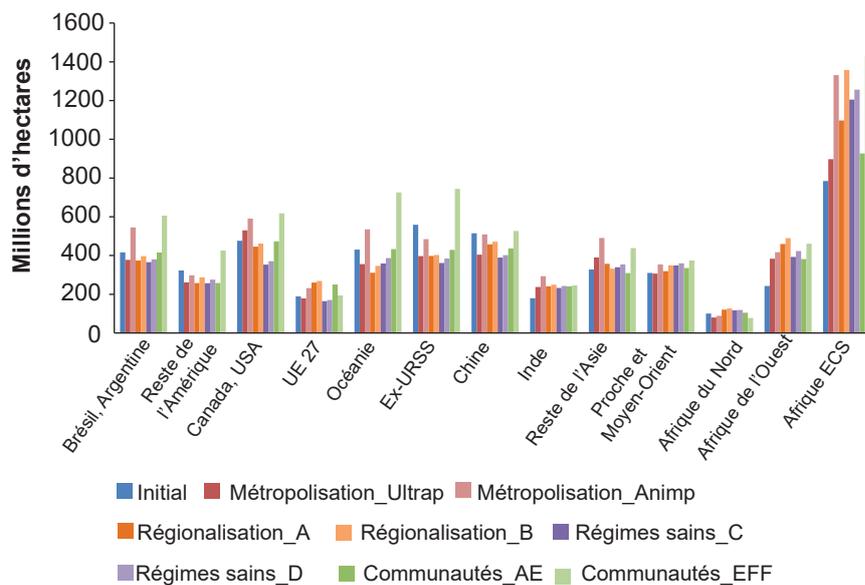
8 Les règles de quantification concernent pour chaque secteur de production animale, l'évolution des parts des différents systèmes en présence dans la production totale du secteur et l'évolution des coefficients inputs/outputs de ces différents systèmes, sous chacune des hypothèses d'évolution à 2050. Ces règles sont décrites en détail, ainsi que les données initiales, dans Le Mouël et Marajo-Petitson (2018).

région : les élevages sont plus performants techniquement en 2050 sous l'hypothèse d'intensification conventionnelle, tandis que les performances tendent plutôt à stagner sous l'hypothèse d'élevage agroécologique et à stagner ou à se détériorer sous l'hypothèse d'élevage en basse-cour. Enfin, nos règles générales de quantification, qui s'appuient sur les projections de Bouwman *et al.* (2005)<sup>9</sup>, prolongées à 2050, conduisent à des perspectives d'amélioration assez limitée des performances techniques des élevages, excepté pour l'Afrique de l'Ouest, l'Afrique ECS, l'Inde et le Reste de l'Asie en ce qui concerne les secteurs de ruminants. Soulignons que pour l'Afrique de l'Ouest (respectivement, l'Inde), nos données initiales conduisent à des coefficients inputs/outputs particulièrement élevés pour les secteurs des ruminants (respectivement, le secteur de la viande bovine), ce qui pose question et nous a conduits à amplifier la réduction des coefficients inputs/outputs correspondants par rapport aux projections de Bouwman, pour tenter de corriger ce biais potentiel initial. Le même ajustement a été appliqué à l'Afrique ECS (respectivement, au Reste de l'Asie) pour ne pas générer en 2050 un écart artificiel entre les performances techniques d'un secteur dans deux régions d'un même continent.

#### b. Accroître la productivité des productions animales en Afrique sub-Saharienne constituerait un levier important pour réduire l'expansion de la surface agricole mondiale en 2050

Dans la plupart des scénarios d'Agrimonde-Terra, les performances techniques des systèmes d'élevage (et des systèmes de culture) s'améliorent dans les régions en développement à l'horizon 2050. Dans le cas de l'Inde, de l'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique ECS, sous nos hypothèses quantitatives, l'économie de surface que permet le

**Figure 6.** Surface agricole totale des différentes régions en 2010 et en 2050 à l'issue des scénarios d'Agrimonde-Terra (millions d'hectares) (Source : Le Mouél et al., 2018a).



gain de productivité des systèmes de production agricole n'est jamais suffisant pour compenser le supplément de surface qu'induit la croissance de la consommation alimentaire. Ainsi, la figure 6 montre que la surface agricole s'étend significativement en Afrique ECS, en Afrique de l'Ouest et en Inde quel que soit le scénario, ce qui n'est pas le cas dans les autres régions. En outre, l'Afrique de l'Ouest et plus encore l'Afrique ECS sont, de loin, les premières régions contributrices à l'expansion de la surface agricole mondiale en 2050. Si cette expansion des surfaces agricoles se fait au détriment de la forêt, nos résultats suggèrent que, sous nos hypothèses, la plupart des scénarios d'Agrimonde-Terra ne sont pas soutenables pour l'ensemble de l'Afrique sub-Saharienne.

Même le scénario Régimes sains entraînerait une expansion significative de la surface agricole en Afrique sub-Saharienne. Cette expansion serait compensée par une diminution de la surface agricole dans d'autres parties du globe si bien qu'au niveau global le scénario Régimes sains serait en mesure d'assurer la disponibilité alimentaire globale en 2050 sans accroître la surface agricole mondiale. Toutefois, même dans ce scénario, les risques de déforestation en Afrique sub-Saharienne existent. Ils pourraient être atténués si

cette région parvenait à accroître plus rapidement la productivité de ses systèmes de production agricole, en particulier de ses systèmes d'élevage. La marge et le rythme possibles de cette productivité reste toutefois une question ouverte.

#### c. Des hypothèses fragiles : données initiales et potentiel de productivité des productions animales incertaines dans les régions en développement

L'analyse quantitative des scénarios d'Agrimonde-Terra s'est heurtée à deux difficultés majeures en ce qui concerne les systèmes d'élevage : la disponibilité et la qualité des données initiales d'une part, la traduction des hypothèses d'évolution à 2050 des systèmes d'élevage en hypothèses quantitatives pouvant être traitées par le modèle GlobAgri-AgT, d'autre part.

GlobAgri-AgT utilise les données FAOStat. Cette base de données ne fournit que les quantités totales des différents ingrédients consommés par les animaux. Or, pour GlobAgri-AgT nous avons besoin de répartir les quantités totales consommées entre espèces, puis pour chaque espèce, entre systèmes d'élevage. Il existe peu de travaux permettant de réaliser cette répartition à l'échelle mondiale.

9 Bouwman *et al.* (2005) fournit des projections sur la période 1995-2005. A. Bouwman a actualisé ce travail sur la période 2000-2030 et nous a aimablement fourni ses nouvelles projections. Qu'il en soit ici sincèrement remercié.

Pour GlobAgri-AgT, nous avons utilisé les travaux de Bouwman *et al.* (2005) et Herrero *et al.* (2013). L'agrégation des rations animales par système et par espèce, issues de ces travaux ne concorde pas toujours avec les quantités correspondantes fournies par la base de données FAOStat. Et il est nécessaire de procéder à différents types d'ajustements et de rééchelonnements pour harmoniser les différentes sources. Ce faisant, on introduit des biais et de l'incertitude sur les données initiales utilisées. Comme mentionné précédemment, nous avons constaté par exemple un niveau très élevé des coefficients inputs/outputs pour le secteur de la viande bovine en Inde et pour les secteurs de ruminants en Afrique de l'Ouest. Dans les deux cas, ces niveaux élevés peuvent provenir d'un biais dans les données initiales et/ou résulter des traitements visant à harmoniser les différentes sources. Mais dans les deux cas également, ils peuvent aussi révéler des finalités des activités d'élevage qui sont différentes dans ces régions relativement à d'autres régions du monde qui cantonnent l'animal à sa fonction de rente. En Afrique sub-Saharienne par exemple, l'élevage a fréquemment une fonction d'épargne ; il a aussi une dimension sociale, culturelle, symbolique (Alary *et al.*, 2011).

Par ailleurs, il n'y a pas de données sur les quantités d'herbe consommées par les animaux dans la base FAOStat, cette dernière ne fournissant que la surface en prairies et pâtures permanentes par pays. Pour GlobAgri-AgT, nous avons donc utilisé les quantités d'herbe figurant dans les rations par système et par espèce des travaux de Bouwman *et al.* (2005) et Herrero *et al.* (2013). Toutefois, lorsque l'on agrège ces quantités et qu'on les rapporte aux surfaces classées comme « pâtures et prairies permanente » dans la base de données FAOStat, on s'aperçoit que la productivité en herbe révélée de ces surfaces est très hétérogène dans l'espace. Outre le fait que cette productivité est très mal connue à une échelle globale, ceci suggère que la catégorie

« pâtures et prairies permanentes » de FAOStat recouvre des types de pâture très différentes d'une région à l'autre : des zones désertiques jusqu'aux prairies les plus fertiles. Il y a là également une source de biais et d'incertitude dans les données initiales.

Enfin, nous avons rencontré une grande difficulté à quantifier les hypothèses d'évolution alternative à 2050 des systèmes d'élevage. Il existe peu de littérature fournissant, sur une large échelle géographique, des indications quantitatives sur les performances techniques comparées de différents systèmes d'élevage dans les différents secteurs de production animale et sur leurs potentialités d'évolution dans le futur. Ceci est particulièrement vrai pour les régions en développement pour lesquelles nous faisons face à des données et des connaissances limitées sur les systèmes d'élevage. C'est un enjeu fort pour l'avenir de l'usage des terres et de la sécurité alimentaire globale car les résultats d'Agrimonde-Terra montrent clairement que ces régions présentent un potentiel fort de croissance de la consommation de produits animaux alors que leurs systèmes d'élevage semblent très gourmands en terre.

Bien sûr, l'incertitude sur les données et sur les performances futures des systèmes d'élevage dans les régions en développement militent pour la mise en œuvre d'une analyse de sensibilité des résultats d'Agrimonde-Terra aux hypothèses d'évolution des productions animales dans les différents scénarios. Une telle analyse de sensibilité reste à mener.

## Conclusion

Les résultats d'Agrimonde-Terra confirment le rôle majeur des productions animales pour l'usage des terres et la sécurité alimentaire en 2050. Ils montrent qu'une transition vers des systèmes alimentaires plus durables nécessitera d'agir simultanément du côté de la demande de produits ani-

maux et du côté de l'offre de produits végétaux et animaux, mais en apportant quelques nuances, notamment en insistant sur le rôle de la production animale pour la sécurité alimentaire dans certaines régions en développement où les apports protéiques quotidiens sont particulièrement faibles aujourd'hui. Ainsi, les hypothèses d'Agrimonde-Terra conduisent, quel que soit le scénario, à une expansion significative de la surface agricole dans certaines régions en développement, en particulier en Afrique sub-saharienne. Une évolution plus optimiste de la productivité des systèmes de production agricole dans cette région du monde permettrait d'atténuer cette expansion. L'accroissement des importations de produits animaux en provenance de régions qui les produisent en utilisant moins de terre constitue un autre levier possible. Un tel levier modifierait les perspectives d'évolution des marchés à l'exportation pour les régions développées, comme l'Union européenne, pour lesquelles la transition vers des systèmes alimentaires plus durables se traduit, dans les scénarios d'Agrimonde-Terra, par une contraction des débouchés intérieurs.

Les résultats quantitatifs d'Agrimonde-Terra doivent être considérés avec prudence car ils sont contingents à un certain nombre de limites de l'analyse. Parmi celles-ci, la première porte sur la fragilité des hypothèses d'évolution des performances des systèmes d'élevage à l'horizon 2050, particulièrement dans les régions en développement. Les systèmes d'élevage et leurs performances actuelles et potentielles sont mal connus dans ces régions et des travaux complémentaires sur ce thème sont clairement nécessaires. La seconde limite résulte du choix d'Agrimonde-Terra de ne pas faire d'hypothèse sur l'évolution à 2050 de la place des produits animaux aquatiques dans les régimes alimentaires d'une part, des performances de leurs systèmes de production de par le monde d'autre part. Des travaux complémentaires sur ce point enrichiraient certainement l'analyse.

## Références

- Alary V., Duteurtre G., Faye B., 2011. Élevages et sociétés : Les rôles multiples de l'élevage dans les pays tropicaux. In : Numéro spécial, élevage en régions chaudes. Coulon J.B., Lecomte P., Boval M., Perez J.M. (Eds). INRA Prod. Anim., 24, 145-156.
- Alexandratos N., Bruinsma J., 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working Paper N°12-03. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy.
- Bajželj B., Richards K.S., Allwood J.M., Smith P., Dennis J.S., Curmi E., Gilligan C.A., 2014. Importance of food-demand management for climate mitigation. *Nature Climate Change*, 4, 924-929.
- Bouwman A.F., Van der Hoek K.W., Eickhout B., Soenario I., 2005. Exploring changes in world ruminant production systems. *Agricult. Sys.*, 84, 121-153.
- FAO, 2006. Livestock's long shadow – Environmental issues and options. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy.
- de Jouvenel B., 1972. L'Art de la Conjecture. Sedeis, Futuribles, Paris, France. [http://www.lapropective.fr/dyn/francais/memoire/texte\\_fondamentaux/lart-de-la-conjecture-b-de-jouvenel.pdf](http://www.lapropective.fr/dyn/francais/memoire/texte_fondamentaux/lart-de-la-conjecture-b-de-jouvenel.pdf)
- Godfray H.C.J., Aveyard P., Garnett T., Hall J.W., Key T.J., Lorimer J., Pierrehumbert R.T., Scarborough P., Springmann M., Jebb S.A., 2018. Meat consumption, health and the environment. *Science*, 361, 6399, eaam5324. <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
- Herrero M., Havlik P., Valin H., Notenbaret A., Rufino M.C., Thornton P.K., Blümmel M., Weiss F., Grace D., Obersteiner M., 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 110, 20 888-20 893.
- Kearney J., 2010. Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biol. Sci.*, 365, 2793-2807.
- Le Mouël C., Forslund A., 2017. How to feed the world in 2050: A review of the responses from global scenario studies. *Eur. Review Agricult. Econ.*, 44, 541-591.
- Le Mouël C., Marajo-Petitton E., 2018. Land-use Change Impacts of the Agrimonde-Terra Scenarios: An Assessment with the GlobAgri-AgT Model. In: Le Mouël *et al.* (Eds), 2018a. *Agrimonde-Terra – Land Use and Food Security in 2050: A Narrow Road*. Éditions QUAE, Versailles, France.
- Le Mouël C., de Lattre-Gasquet M., Mora O. (Eds), 2018a. *Agrimonde-Terra – Land Use and Food Security in 2050: A Narrow Road*. Éditions QUAE, Versailles, France. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2880-5>
- Le Mouël C., Dumas P., Manceron S., Forslund A., Marajo-Petitton E., 2018b. The GlobAgri-Agrimonde-Terra Database and Model. In: Le Mouël *et al.* (Eds), 2018a. *Agrimonde-Terra – Land Use and Food Security in 2050: A Narrow Road*. Éditions QUAE, Versailles, France.
- Manceron S., Dumas P., Moreau C., Ickowicz A., Lecomte P., Lescoat P., 2018. Livestock Systems. In: Le Mouël *et al.* (Eds), 2018a. *Agrimonde-Terra – Land Use and Food Security in 2050: A Narrow Road*. Éditions QUAE, Versailles, France.
- Mermet L., 2009. Extending the perimeter of reflexive debate on futures research: an open framework. *Futures*, 41, 105-115.
- Mora O., 2018a. Scenarios of land use and food security in 2050. In: Le Mouël *et al.* (Eds), 2018a. *Agrimonde-Terra – Land Use and Food Security in 2050: A Narrow Road*. Éditions QUAE, Versailles, France.
- Mora O., 2018b. Dietary Changes, Nutrition Transition and the Future of Global Diets. In: Le Mouël *et al.* (Eds), 2018a. *Agrimonde-Terra – Land Use and Food Security in 2050: A Narrow Road*. Éditions QUAE, Versailles, France.
- Popkin B.M., Adair L.S., Ng S.W., 2012. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutr. Rev.*, 70, 3-21.
- Popp A., Lotze-Campen H., Bodirsky B., 2010. Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. *Global Environ. Change*, 20, 451-462.
- Réchauchère O., Makowski D., Malezieux E., Mareaux F., 2018. Cropping systems. In: Le Mouël *et al.* (Eds), 2018a. *Agrimonde-Terra – Land Use and Food Security in 2050: A Narrow Road*. Éditions QUAE, Versailles, France.
- Ritchey T., 2011. Modeling alternative futures with general morphological analysis. *World Future Rev.*, 3, 83-94.
- Röös E., Bajželj B., Smith P., Patel M., Little D., Garnett T., 2017. Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. *Global Environ. Change*, 47, 1-12.
- Springmann M., Godfray H.C.J., Rayner M., Scarborough P., 2016. Analysis and Valuation of the Health and Climate Change Cobenefits of Dietary Change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 113, 4146-4151.
- Springmann M., Clark M., Mason-D'Croz D., Wiebe K., Bodirsky B.L., Lassaletta L., de Vries W., Vermeulen S.J., Herrero M., Carlson K.M., Jonell M., Troell M., DeClerck F., Gordon L.J., Zurayk R., Scarborough P., Rayner M., Loken B., Fanzo J., Godfray H.C.J., Tilman D., Rockström J., Willett W., 2018. Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562, 519-525.
- Stehfest E., Bouwman L., van Vuuren D.P., den Elzen M.G.J., Eickhout B., Kabat P., 2009. Climate benefits of changing diet. *Clim. Change*, 95, 83-102.
- Tilman D., Clark M., 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515, 518-522.
- Weindl I., Popp A., Bodirsky B.L., Rolinski S., Lotze-Campen H., Biewald A., Humpeöder F., Dietrich J.P., Stevanović M., 2017. Livestock and human use of land: Productivity trends and dietary choice as drivers of future land and carbon dynamics. *Glob. Planet. Change*, 159, 1-10.
- Wirsenius S., Azar C., Berndes G., 2010. How much land is needed for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030? *Agricult. Sys.*, 103, 621-638.
- Zhai F.Y., Du S.F., Wang Z.H., Zhang J.G., Du W.W., Popkin B.M., 2014. Dynamics of the Chinese diet and the role of urbanicity, 1991-2011. *Obesity Rev.*, 15, 16-26.
- Zurek M., Henrichs T., 2007. Linking scenarios across geographical scales in international environmental assessments. *Technol. Forecasting Social Change*, 74, 1282-1295.

## Résumé

Les scénarios d'usage des terres et de sécurité alimentaire en 2050, issus de la prospective Agrimonde-Terra, offrent l'opportunité de réexaminer les termes du débat sur la place des productions animales dans l'usage des terres et la sécurité alimentaire, et par suite sur leur rôle au regard de l'avenir des systèmes alimentaires globaux. Les résultats d'Agrimonde-Terra confirment le rôle majeur des productions animales pour l'usage des terres et la sécurité alimentaire en 2050. Agrimonde-Terra conclut qu'une transition vers des systèmes alimentaires plus durables nécessitera d'agir simultanément du côté de la demande de produits animaux et du côté de l'offre de produits végétaux et animaux, mais en apportant quelques nuances, notamment en insistant sur le rôle de la production animale pour la sécurité alimentaire dans les pays en développement. Ainsi, les hypothèses d'Agrimonde-Terra conduisent, quel que soit le scénario, à une expansion significative de la surface agricole dans certaines régions en développement, en particulier en Afrique sub-saharienne.

## Abstract

---

### ***Livestock, land use and food security in 2050: Insights from the Agrimonde-Terra foresight***

*Agrimonde-Terra scenarios of land use and food security in 2050 offer the opportunity to re-examine the on-going debate on the place of animal production in land use and food security, and as a result, of their role in the future of global food systems. The results of Agrimonde-Terra confirm the major role of animal production for land use and food security in 2050. Agrimonde-Terra concludes that a transition to more sustainable food systems will require simultaneous action on the demand side of animal products and on the supply side of plant and animal products, but with some nuances notably the role of animal production for food security in developing countries. Thus, under Agrimonde-Terra's hypotheses all scenarios lead to a significant expansion of agricultural land area in developing regions, especially in Sub-Saharan Africa.*

LE MOUËL C., MORA O., 2019. Productions animales, usage des terres et sécurité alimentaire en 2050 : l'éclairage de la prospective Agrimonde-Terra. In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd.). INRA Prod. Anim., 32, 95-110.  
<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2508>

# L'internationalisation des marchés en productions animales

INRA Prod. Anim.,  
2019, 32 (2), 111-130

Vincent Chatellier

UMR SMART-LERECO, INRA, 44000, Nantes, France

Courriel : [vincent.chatellier@inra.fr](mailto:vincent.chatellier@inra.fr)

■ L'internationalisation des marchés de productions animales a pris récemment une nouvelle dimension avec l'augmentation rapide des importations des pays asiatiques, surtout de la Chine. La concurrence entre les grands pays exportateurs est certes rude, mais l'UE parvient à tirer son épingle du jeu dans les secteurs des produits laitiers et de la viande porcine.

## Introduction

Le commerce international s'est fortement développé au cours des dernières décennies, tant en volume qu'en valeur (Bureau et Jean, 2013 ; Pouch, 2015 ; OMC, 2018). Les innovations technologiques, la diffusion des savoirs et les progrès considérables accomplis en termes d'infrastructures, de logistique et de conditions de stockage ont favorisé ce développement, dans un contexte mondial caractérisé par une ouverture croissante des économies, un développement des firmes transnationales et un essor démographique (ONU, 2017 ; Centre d'études et de prospective, 2017). En effet, le commerce mondial de marchandises, qui résulte à 98 % des 164 États membres de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), a doublé en monnaie courante entre 2003 et 2016. Les flux commerciaux sont géographiquement concentrés dans la mesure où les dix principaux importateurs et exportateurs regroupent un peu plus de la moitié du commerce mondial de marchandises. Depuis 1980, et à l'exception notoire de 2009 marquée par une récession dans de nombreux pays industrialisés fragilisés par la crise bancaire et financière de l'automne

2008 (Bricongne *et al.*, 2010), le taux annuel de croissance du commerce de marchandises a été plus élevé que celui du produit intérieur brut mondial, avec cependant une plus forte volatilité interannuelle. Depuis 2010, le taux de croissance du commerce de marchandises est cependant devenu plus faible (Jean, 2015) que ce qui a prévalu tout au long de la période 1980-2010 (environ 4,7 % par an).

Les produits agricoles et agroalimentaires représentent aujourd'hui environ 8 % du commerce mondial de marchandises. Cette part relative s'inscrit à la baisse en raison du développement encore plus rapide des échanges dans d'autres secteurs d'activité. En monnaie constante, les exportations mondiales de produits agroalimentaires ont été multipliées par sept au cours des cinquante dernières années, ce qui correspond à un rythme de croissance moyen annuel de 3,8 % (Claquin, 2017). La hausse des échanges agroalimentaires a permis de mettre à la disposition de consommateurs, toujours plus nombreux, une alimentation qui soit à la fois plus abondante, plus variée, de meilleure qualité et souvent moins coûteuse. La structure des échanges a, elle aussi, évolué vers des produits plus élaborés, plus transformés et

dont les prix sont plus élevés que les produits bruts correspondants. Dans de nombreux pays, richement dotés en ressources naturelles et peu peuplés, les exportations agroalimentaires contribuent activement à la balance commerciale et permettent une entrée massive de devises. Dans d'autres pays très peuplés et où le potentiel productif est limité par les conditions du milieu, les exportations agroalimentaires sont faibles et les importations sont parfois indispensables pour assurer la sécurité alimentaire locale. L'hétérogénéité des situations est sur ce point grande (Rastoin et Ghersi, 2010), ce d'autant qu'un pays donné peut parfois bénéficier de certains atouts pour produire tel ou tel bien et inversement être dans une plus grande difficulté pour en produire d'autres.

En raison du caractère stratégique que revêt la question alimentaire (Guillou et Matheron, 2011) et de la persistance de la faim dans certains pays pauvres (FAO, 2017), de nombreux débats ont trait aux politiques publiques à privilégier en agriculture. Les tensions existantes au sein de l'OMC ou qui apparaissent lors de la préparation des accords bilatéraux suffisent à le rappeler. À l'échelle internationale, les productions animales sont souvent placées au cœur de vives

polémiques, ce pour différentes raisons : les coûts unitaires de production varient fortement d'un pays à l'autre, en fonction notamment du coût de la main-d'œuvre et des normes appliquées ; les modèles productifs sont très hétérogènes en termes d'organisation sociale (exploitations familiales versus structures plus industrialisées), d'empreintes environnementales (gaz à effet de serre, utilisation des ressources en eau) et d'intégration des questions relatives à la santé humaine (utilisation ou non des hormones de croissance, recours aux antibiotiques...) ou au bien-être animal (exemple : les petits élevages européens comparativement aux « *feedlots* » américains) ; la provenance géographique des produits issus des animaux, dont ceux transformés, est plus ou moins transparente et protégée. Comme le soulevait à juste titre un ancien Commissaire européen au Commerce devenu plus tard Directeur Général de l'OMC (Lamy, 2004), toutes les collectivités humaines ne forment évidemment pas les mêmes préférences collectives. L'étendue même du champ des préférences collectives n'est pas identique partout et varie en fonction des valeurs, des repères culturels et religieux auxquels adhèrent les pays où elles ont été formées, mais aussi de leur vécu politique, de leur histoire longue ou courte et de leur niveau de développement. Ces préférences collectives ne sont pas toujours faciles à appréhender car elles évoluent dans le temps, ne sont pas toujours rationnelles et donnent lieu souvent à des contestations plus ou moins bien formalisées.

L'objectif de cet article est de présenter une analyse portant sur les principales tendances récentes du commerce international, européen et français en productions animales. Cette analyse s'appuie sur deux bases de données issues des douanes. À l'échelle internationale, il s'agit de la base *BACI* développée par le CEPII (Centre de recherche français dans le domaine de l'économie internationale) à partir des données primaires de la base *COMTRADE* produite par la division statistique des nations Unies (les données utilisées couvrent ici la période 2000 à 2016). À l'échelle française, les données utilisées sont celles issues de la base *COMEXT* produite par les services

d'Eurostat pour la période 2000 à 2017. Cette base permet de distinguer le commerce extra-UE du commerce intra-UE. Les flux commerciaux (exportations, importations et solde) sont exprimés soit en valeur (euros), soit en volume (avec l'application de coefficients permettant de raisonner en tonnes équivalent lait ou en tonnes équivalent carcasse). Pour éviter une démultiplication trop grande des informations, trois périodes sont considérées : la moyenne de la période 2000 à 2009 ; la moyenne de la période 2010 à 2015 ; les données de 2016.

Cet article est structuré en trois parties. La première présente l'évolution du commerce international en « productions animales »<sup>1</sup> entre 2000 et 2016, ce en distinguant successivement plusieurs filières. La deuxième discute du commerce en productions animales de plusieurs pays (hors UE, zone traitée en partie 3) qui comptent sur la scène internationale, dont trois pays déficitaires (Chine, Japon et Russie) et cinq pays excédentaires (Inde, Australie, Nouvelle-Zélande, Brésil et États-Unis). La troisième et dernière partie est dédiée au commerce en productions animales de l'UE et de la France, avec dans ce dernier cas une distinction entre le commerce intra-UE et extra-UE.

## 1. Le commerce international en productions animales selon les filières

Cette première partie présente l'évolution du commerce international en productions animales entre 2000 et 2016. La première section met en évidence la montée en puissance de ces échanges, tout en soulignant la contribution respective des différents types de produits.

<sup>1</sup> En utilisant la nomenclature douanière disponible, un agrégat intitulé « productions animales » est constitué. Celui-ci concerne toutes les espèces animales (bovins, ovins, caprins, porcins, volailles, lapins...) y compris celles peu présentes au sein de l'UE (bufflonnes, chamois, yaks...) et toutes les catégories de produits (le lait, les viandes, les abats, les œufs, les cuirs...). Il s'agit donc des productions animales au sens très large du terme, en incluant les animaux vivants, les produits bruts et les produits transformés.

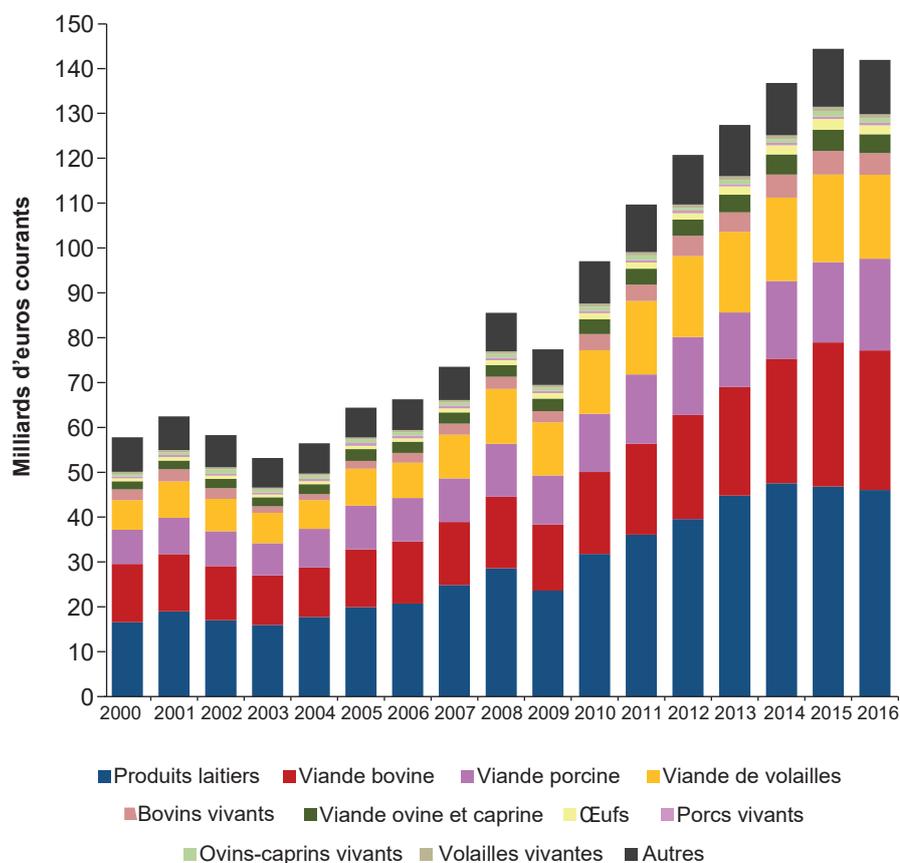
Les sections suivantes abordent les principaux grands flux pour les produits laitiers ; la viande bovine ; la viande porcine ; la viande de volailles.

### ■ 1.1. L'évolution des échanges entre 2000 et 2016

D'après la base de données *BACI*, les échanges agroalimentaires internationaux (hors commerce intra-UE) sont passés, en monnaie courante, de 351 milliards d'euros en 2000 à 912 milliards d'euros en 2016. De manière assez stable tout au long de cette période, les productions animales ont représenté environ 16 % des échanges agroalimentaires. Les principaux autres produits agroalimentaires échangés sont les céréales et produits de la minoterie (13 % en 2016), les fruits et préparations (11 %), les poissons (10 %), les légumes et préparations (8 %), les oléagineux (8 %), le café, thé et cacao (6 %), les boissons, vins et spiritueux (6 %) et le sucre (4 %). Pour certains grands pays exportateurs, comme par exemple le Brésil, une concurrence entre productions agricoles peut avoir lieu dans l'occupation des sols d'une région donnée en fonction des gains économiques espérés sur les marchés d'exportations.

Le poids des productions animales dans les exportations agroalimentaires varie d'un pays à l'autre en fonction principalement des caractéristiques du milieu naturel (terres cultivables ou non) et de l'orientation productive des territoires. Il atteint des niveaux élevés dans plusieurs pays dont la Biélorussie (68 %), la Nouvelle-Zélande (66 %), l'Uruguay (62 %) ou l'Australie (41 %). Plus proche de la moyenne mondiale pour l'UE (23 %), le Brésil (21 %) et les États-Unis (18 %), ce taux est en revanche très faible dans d'autres pays tels que la Chine (9 %) et la Russie (4 %). Au niveau des importations, rares sont les pays pour lesquels les productions animales représentent plus du quart des importations agroalimentaires. Ce taux est, par exemple, de 22 % en Chine, 12 % aux États-Unis et seulement 7 % dans l'UE. Pour des raisons de stockage, de sécurité sanitaire et de coûts liés, le commerce en productions animales est souvent moins facile qu'en productions végétales.

**Figure 1.** Les échanges internationaux en productions animales selon les types de produits (milliards d'euros courants entre 2000 et 2016) (Source : INRA, SMART-LERECO d'après BACI).



Les échanges internationaux (hors commerce intra-UE) en productions animales sont passés de 58 milliards d'euros en 2000 à 142 milliards d'euros en 2016, avec une accélération des flux depuis 2008-09 (figure 1). Si la tendance haussière est incontestable (OCDE-FAO, 2018), il convient néanmoins de pondérer celle-ci par le fait que les valeurs sont exprimées ici en monnaie courante. Une partie de la croissance mise en évidence tient donc à la hausse des prix induite par l'inflation, laquelle varie d'un pays à l'autre. En France, par exemple, 100 euros de janvier 2000 correspondent à 128 euros en janvier 2017. Outre l'inflation, l'évolution des exportations exprimées en valeur est plus ou moins influencée par le prix de vente des biens et par les types de biens vendus (part relative de produits bruts versus de produits transformés). Entre 2000-09 et 2016, les échanges mondiaux en productions animales ont été multipliés par 2,2 en monnaie courante. Si ce coefficient est proche de celui observé pour les produits lai-

tiers, la viande porcine et la viande de volailles, il est plus élevé pour les œufs (2,5) et la viande bovine (2,4) et moins élevé pour les ovins-caprins vivants et pour les porcs vivants (1,1).

En 2016, les échanges internationaux en productions animales (en valeur) concernent, par ordre décroissant, le lait et les produits laitiers (33 %), la viande bovine (22 %), la viande porcine (14 %) et la viande de volailles (13 %). Ces quatre produits cumulent 82 % du total des échanges en productions animales. Les sommes résiduelles de l'agrégat « productions animales » sont les bovins vivants (3,4 %), la viande ovine et caprine (3,1 %), les œufs (1,4 %), les ovins et caprins vivants (0,7 %), les volailles vivantes (0,7 %), les porcs vivants (0,7 %) et l'ensemble des autres produits non classés ci-dessus (8,5 %). Si le commerce d'animaux vivants est fréquent entre pays voisins, tels que c'est le cas dans l'UE, il reste plus complexe à organiser sur longue distance et suscite des critiques relativement au respect du bien-

être animal. Les exportations de bovins depuis l'Uruguay jusqu'en Turquie sont un exemple parmi d'autres de ces flux.

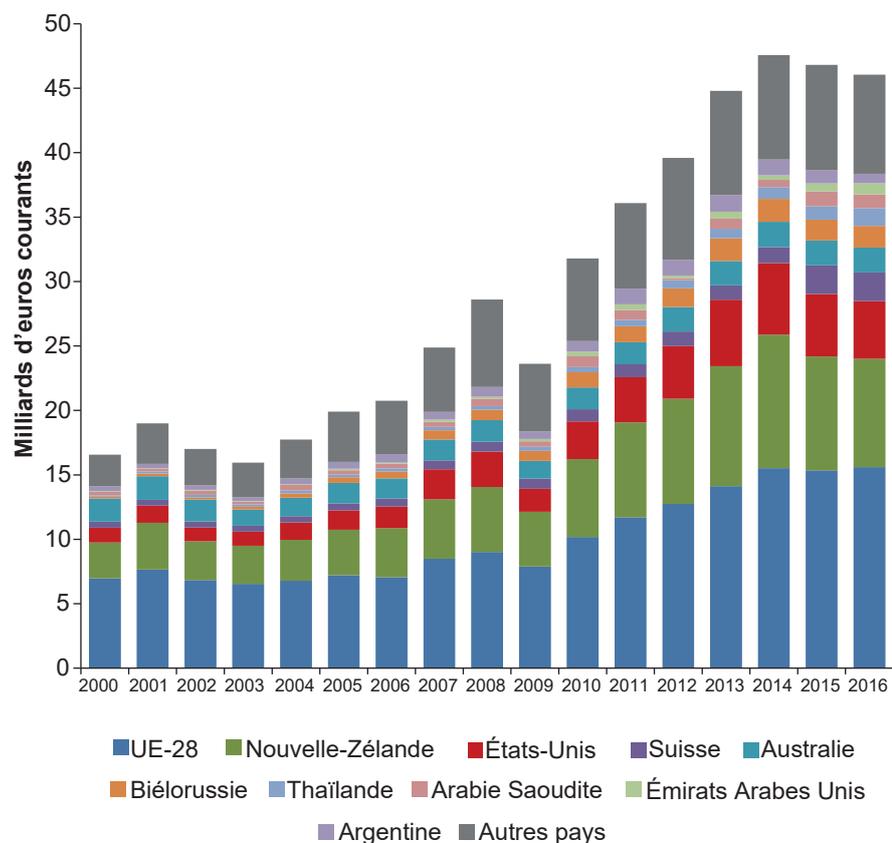
## ■ 1.2. Le lait et les produits laitiers

Le commerce international (hors intra-UE) de produits laitiers porte, d'après nos estimations<sup>2</sup>, sur 68 millions de tonnes en équivalent lait en 2016. Ce volume équivalait à 8 % de la production laitière mondiale, laquelle progresse à un rythme moyen annuel d'environ 2 %. Compte tenu du caractère périssable des produits laitiers frais, d'une structuration d'une partie du marché autour de bassins régionaux et d'un faible nombre de pays exportateurs, ce taux est plus faible que celui observé dans d'autres filières, dont les céréales, les viandes ou le soja. Les échanges de produits laitiers ont augmenté tout au long de la période étudiée, tant en volume (+ 31 millions de tonnes en équivalent lait depuis 2000) qu'en valeur (+ 29,6 milliards d'euros entre 2000 et 2016).

Le commerce international des produits laitiers se décline en différentes catégories de produits, dont les fromages (20 % du total des échanges en valeur en 2016), la poudre grasse (15 %), la poudre de lait infantile (14 %), les laits aromatisés (14 %), la poudre maigre (9 %), le beurre (7 %), le lait liquide (3 %), le lactosérum (3 %), les laits concentrés (3 %), les caséines (3 %), les yaourts (3 %) et la crème (2 %). La structure des importations ou des exportations selon ces différentes catégories de produits diffère beaucoup d'un pays à l'autre. Ainsi, par exemple, les États-Unis sont des importateurs importants de fromages alors que les chinois sont davantage acheteurs de poudre grasse et de laits infantiles. De même, les exportations de la Nouvelle-

<sup>2</sup> Des coefficients de conversion des produits laitiers en équivalents lait ont été appliqués à la base BACI de façon à remplacer une quantité donnée de produits laitiers par une quantité de lait équivalente. Le principe consiste à évaluer la quantité de lait ayant été nécessaire à la fabrication des produits considérés. Les coefficients de conversion s'appliquent non seulement au lait liquide, mais aussi aux différents produits laitiers tels que la crème, le beurre, les fromages, les poudres de lait écrémé, les poudres de lait entier et le lactosérum.

**Figure 2.** Les principaux exportateurs de produits laitiers entre 2000 et 2016 (milliards d'euros courants) (Source : INRA, SMART-LERECO d'après BACI).



Zélande sont plus orientées vers la poudre grasse que vers les fromages, contrairement à l'UE (Chatellier, 2016).

En 2016, le marché mondial des produits laitiers est dominé à l'export par un nombre restreint de pays (figure 2), dont surtout l'UE (34 % des exportations mondiales en valeur), la Nouvelle-Zélande (18 %) et les États-Unis (10 %). Les pays qui viennent ensuite sont la Suisse (5 %), l'Australie (4 %) et la Biélorussie (4 %). Lorsque les échanges sont exprimés en équivalent lait, la Nouvelle-Zélande devance, en revanche, légèrement l'UE ; cela signifie que, compte tenu des types de spécialisation, le prix à la tonne des produits exportés par la Nouvelle-Zélande est nettement inférieur. Entre 2000 et 2016, la croissance des exportations a été très importante en Nouvelle-Zélande (+ 11,4 millions de tonnes en équivalent lait, soit environ le tiers de la croissance mondiale), ce pays étant favorisé par un coût de production du lait parmi les plus bas du monde, une proximité géographique des grands

pays importateurs et une organisation économique dédiée à l'exportation (5 % du lait produit dans ce pays sont consommés localement). Les États-Unis, qui exportaient historiquement peu de produits laitiers, ont développé leurs exportations, à destination d'abord des pays voisins, dont le Mexique (Institut de l'Élevage, 2018b). L'UE a également amélioré ses performances, surtout depuis quelques années car l'offre intérieure de lait a été dynamisée dans la perspective d'un abandon des quotas laitiers à compter de 2015.

Les principaux pays importateurs de produits laitiers sont, en valeur, la Chine (7,9 milliards d'euros en 2016 contre seulement 950 millions en 2000), les États-Unis (3,8 milliards d'euros), la Russie (2,1 milliards d'euros), le Mexique (1,6 milliard d'euros), l'Arabie Saoudite (1,5 milliard d'euros) et le Japon (1,4 milliard d'euros). Entre 2000-09 et 2016, la croissance des importations de produits laitiers de la Chine (+ 6,9 milliards d'euros) n'a pas d'équivalent à l'échelle mondiale, les pays qui arrivent ensuite étant

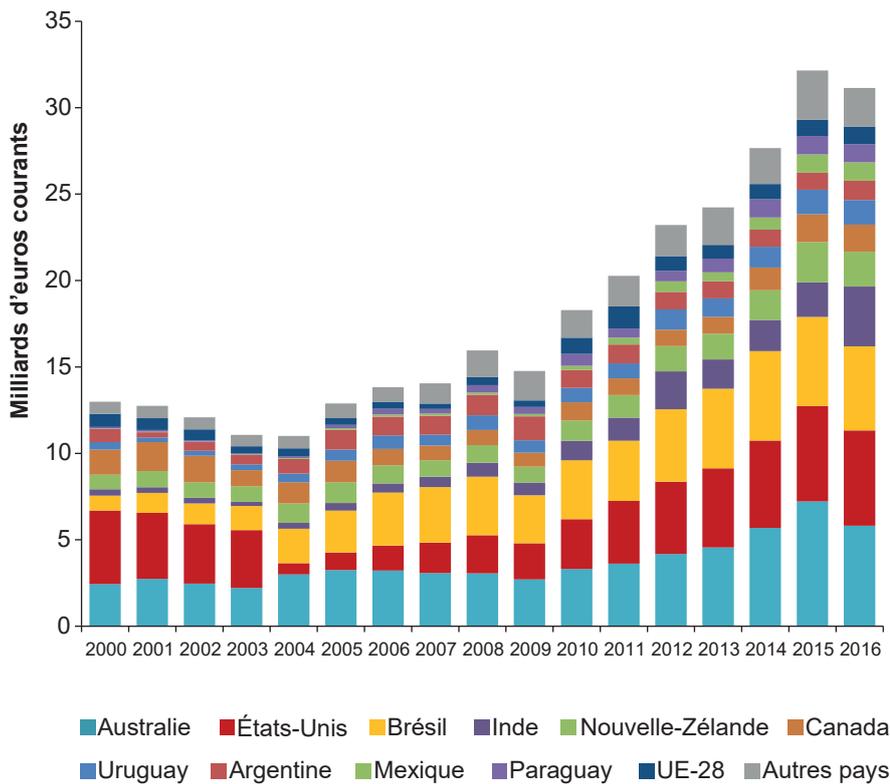
les États-Unis (+ 2 milliards d'euros), la Russie (+ 1 milliard d'euros) et les Émirats arabes unis (+ 907 millions d'euros).

### ■ 1.3. La viande bovine

Les échanges internationaux (hors intra-UE) de viande bovine portent sur 10,1 millions de tonnes en équivalent carcasse (tec) en 2016, soit environ 13 % de la production mondiale (Institut de l'Élevage, 2018a). La viande bovine occupe le premier rang des viandes échangées en valeur (31,1 milliards d'euros), mais le deuxième en volume derrière la viande de volailles et devant la viande porcine. Les échanges internationaux de viande bovine, qui ont fortement progressé entre 2000-09 et 2016 (+ 3,2 millions de tec et + 17,9 millions d'euros), sont influencés par un ensemble de facteurs, dont des questions d'ordre économique (cours du pétrole, taux de croissance dans les pays importateurs, dévaluation monétaire...) ou d'ordre sanitaire (fièvre aphteuse, encéphalopathie spongiforme bovine). La fermeture soudaine du marché japonais aux exportations américaines en 2002-03 est un exemple souvent cité pour évoquer cette sensibilité (Chatellier, 2017).

Les échanges internationaux de viande bovine, qui relèvent à 60 % de viandes congelées, 35 % de viandes fraîches et réfrigérées et 5 % de viandes transformées, sont dominés à l'exportation par quatre pays qui cumulent environ les deux tiers des exportations mondiales (figure 3). Il s'agit du Brésil (18 % des volumes et 16 % de la valeur en 2016), de l'Inde (respectivement 17 et 11 %), de l'Australie (17 et 19 %) et des États-Unis (14 et 18 %). Les pays qui arrivent ensuite sont la Nouvelle-Zélande (6 % des volumes), l'UE (5 %), le Canada (5 %), l'Uruguay (5 %), le Paraguay (4 %), l'Argentine (4 %) et le Mexique (3 %). Les modèles productifs adoptés dans les quatre pays leader diffèrent les uns des autres (en termes de races, de rations, de structuration des exploitations...) et les types de produits issus de la filière bovine ne sont pas non plus identiques, avec des prix de vente eux aussi variables. Le développement des exportations de l'Inde en viande bovine est l'un des éléments les plus marquants des dernières années. Dans

**Figure 3.** Les principaux exportateurs de viande bovine entre 2000 et 2016 (milliards d'euros courants) (Source : INRA, SMART-LERECO d'après BACI).

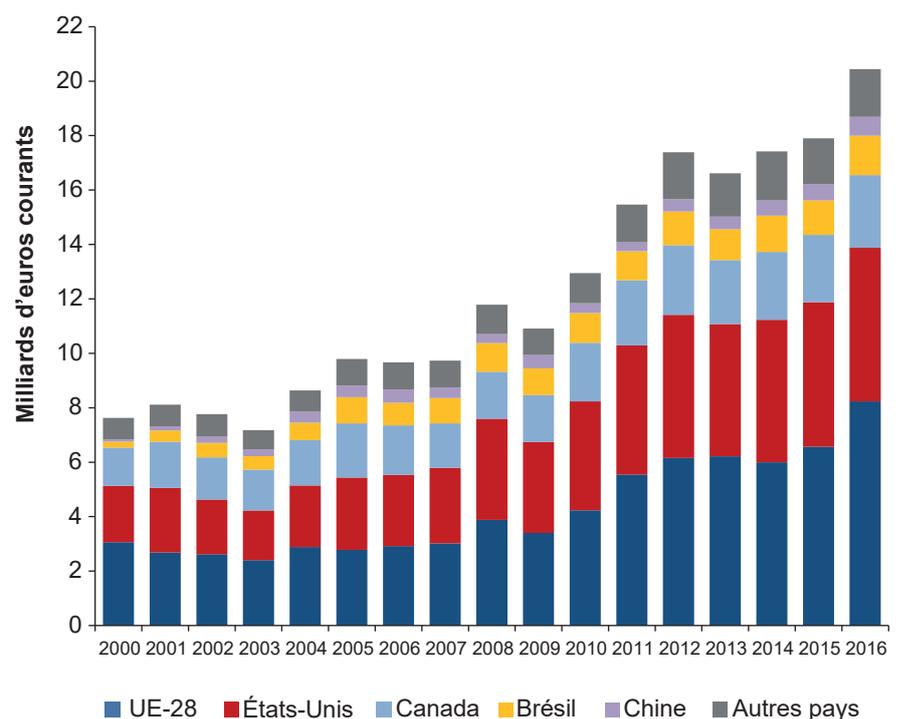


ce pays où la consommation de viande bovine par habitant est très faible (moins de 2 kg par an) et où la production laitière augmente rapidement, les exportations concernent des produits vendus à bas prix et destinés principalement aux pays asiatiques, dont le Vietnam et la Chine.

En 2016, les principaux importateurs de viande bovine sont la Chine (15 % des importations mondiales en volume), les États-Unis (13 %), le Japon (7 %) et la Russie (6 %). Avec une contribution à hauteur de 10 %, le Vietnam est un pays importateur assez atypique dans la mesure où une partie de ses importations correspondent à des produits qui sont ensuite réexpédiés vers le marché chinois (Landes *et al.*, 2016). Avec un peu moins de 4 % des importations mondiales, l'UE importe moins de viande bovine que la Corée du Sud ou l'Égypte. Au cours des dernières années, ce sont principalement les pays asiatiques, surtout la Chine (+ 1,3 million de tec d'importations entre 2000-09 et 2016) et le Vietnam, qui ont contribué à la croissance des échanges internationaux de viande bovine. Entre ces deux périodes, les importations de viande

bovine ont baissé en Russie (- 290 000 tec), en UE (- 190 000 tec), au Mexique (- 178 000 tec) et au Japon (- 24 000 tec). La dynamique démographique de ces

**Figure 4.** Les principaux exportateurs de viande porcine entre 2000 et 2016 (milliards d'euros courants) (Source : INRA, SMART-LERECO d'après BACI).



pays est, il est vrai, moins favorable que celle des pays asiatiques.

#### ■ 1.4. La viande porcine

Les échanges internationaux (hors intra-UE) de viande porcine portent sur 7 % de la production mondiale, laquelle est concentrée pour l'essentiel en Chine (47 % du total mondial), en UE (19 %) et aux États-Unis (10 %). Les exportations de viande porcine ont augmenté tout au long de la période étudiée (+ 5,1 millions de tec et + 11,4 milliards d'euros entre 2000-09 et 2016), avec une accélération depuis 2010 (figure 4).

En 2016, les trois premiers exportateurs de viande porcine sont l'UE (40 % de la valeur), les États-Unis (28 %) et le Canada (13 %)<sup>3</sup>. Ces trois pays qui cumulent 81 % des exportations mondiales, sont suivis, loin derrière, par le

<sup>3</sup> Pour les trois pays membres de l'Accord de Libre-Échange Nord-Américain (ALENA), à savoir le Canada, les États-Unis et le Mexique, les échanges intra-zones sont inclus dans les calculs, contrairement à la situation de l'UE (qui est une Union douanière) où ils sont exclus. L'existence de droits de douane nuls ou très bas entre ces trois pays est de nature à favoriser les courants d'échanges, ce d'autant qu'il existe une proximité géographique.

Brésil (7 %), la Chine (3 %) et le Mexique (2 %). Les jeux concurrentiels entre les trois pays leaders ne dépendent pas seulement des écarts de coûts de production au stade des élevages et des industries de la transformation. Ils sont également influencés par la situation sanitaire interne, les accords bilatéraux passés entre les États et l'évolution de la parité entre l'euro et le dollar. De plus, les pays clients de ces pays ne sont pas toujours les mêmes. Ainsi, par exemple, le premier client des États-Unis en viande porcine est le Mexique (24 % des exportations en valeur en 2016) alors que la Chine arrive en première place dans le cas de l'UE (44 % des exportations en valeur en 2016) et les États-Unis dans le cas du Canada (37 %).

En dépit de son statut de premier producteur de viande porcine, la Chine est également le premier importateur, avec 28 % des importations mondiales en valeur en 2016. Les fournisseurs de ce marché stratégique sont l'UE (63 % du total), les États-Unis (16 %), le Brésil (8 %) et le Canada (8 %). Entre 2000-09 et 2016, les importations chinoises de viande porcine ont considérablement augmenté (+ 5,1 milliards d'euros), y compris par rapport à l'autre grand pays importateur qu'est le Japon (21 % des importations mondiales en 2016 et + 1 milliard d'euros entre les deux périodes). Les États-Unis, le Canada et le Mexique sont également bien placés dans la hiérarchie des pays importateurs (entre 6 et 7 % des importations mondiales pour chaque pays). Les pays qui arrivent ensuite sont la Corée du Sud (6 %), la Russie (5 %) et l'Australie (3 %) ; les importations de l'UE en viande porcine sont, de leur côté, insignifiantes.

### ■ 1.5. La viande de volailles

Les échanges internationaux (hors intra-UE) en viande de volailles portent, en 2016, sur 13,1 milliards de tec, soit 11 % de la production mondiale, laquelle a connu un développement rapide au cours des dernières décennies au point de devenir la première viande produite dans le monde, devant la viande porcine. Plusieurs facteurs contribuent à soutenir le développement de cette filière : la qualité nutritionnelle des produits (viande maigre)

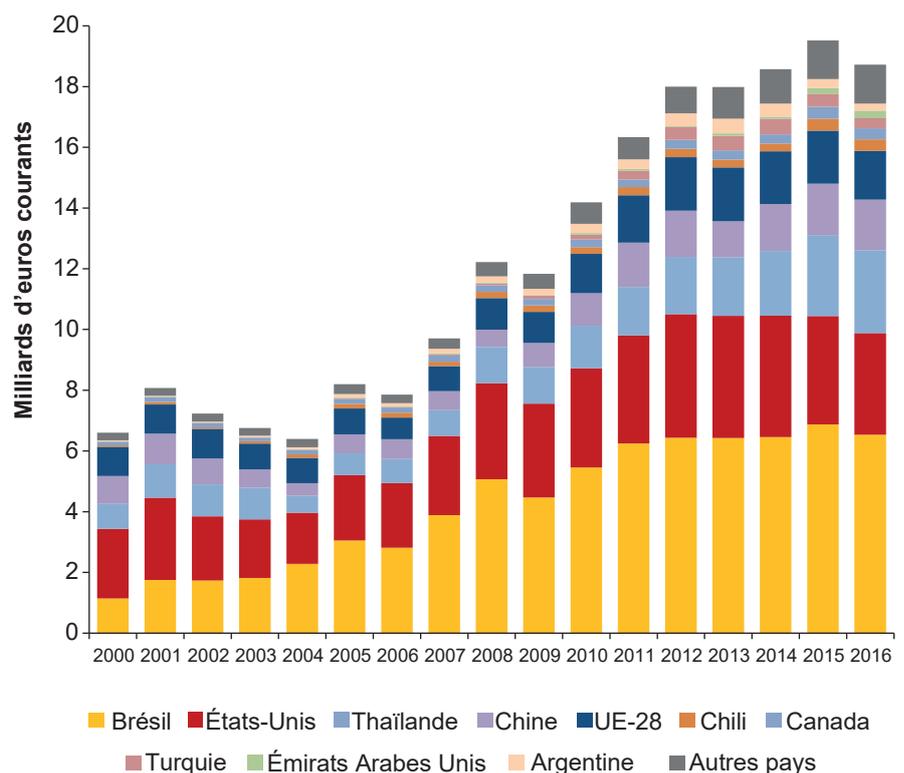
est reconnue ; le prix de vente de la viande de volailles est compétitif par rapport à d'autres sources de protéines animales (ceci résultant de l'excellence de l'indice de consommation) ; cette viande ne souffre pas des interdictions religieux auxquels est soumise la viande porcine (Islam et Judaïsme) ou bovine (Inde) ; la production étant moins directement liée au sol que les productions de ruminants, son développement à proximité des zones urbaines en forte croissance démographique est plus aisée. Les échanges internationaux de viande de volailles ont fortement augmenté en passant de 8,5 milliards d'euros en 2000-09 à 18,7 milliards d'euros en 2016 (dont 45 % de poulets en morceaux congelés, 22 % de préparations et 14 % de poulets entiers congelés).

Troisième pays producteur de volailles au monde derrière les États-Unis et la Chine, le Brésil est le premier exportateur, avec 35 % des flux internationaux exprimés en valeur (figure 5). Les exportations brésiliennes, qui ont augmenté de 3,7 milliards d'euros entre 2000-09 et 2016, sont destinées pour 17 % à la Chine (en 2016), 16 % à l'UE, 16 % à l'Arabie Saoudite et 10 % au Japon. Ce

développement des exportations est fondé sur une compétitivité par les coûts et l'adaptation de l'offre aux demandes spécifiques des clients (exemples : filets de poulet vers l'Europe, cuisses désossées pour le Japon...). Avec 18 % des exportations mondiales en valeur, les États-Unis occupent le deuxième rang. Les produits étasuniens ont une valeur unitaire nettement plus faible qu'au Brésil et sont commercialisés d'abord au Mexique (24 % des exportations de 2016, avec des produits à faible valeur ajoutée) et au Canada (13 %). Avec 15 % des exportations mondiales, dont une part importante de découpes désossées et de viandes cuites, la Thaïlande est placée devant la Chine (9 %) et l'UE (9 %).

En 2016, les principaux importateurs de viande de volailles sont le Japon (15 % des importations mondiales en valeur), l'UE (12 %), la Chine (11 %), l'Arabie Saoudite (7 %), le Mexique (5 %) et les Émirats arabes unis (4 %). Entre 2000-09 et 2016, les achats ont augmenté dans tous les principaux pays acheteurs. La Thaïlande est le fournisseur privilégié du Japon (50 % de ses approvisionnements) devant le Brésil (24 %). En Chine, les importations proviennent

**Figure 5. Les principaux exportateurs de viande de volailles entre 2000 et 2016 (milliards d'euros courants) (Source : INRA, SMART-LERECO d'après BACI).**



surtout du Brésil (55 %) et des États-Unis (20 %). Avec la fin des restitutions aux exportations en 2013, les exportations européennes à destination des pays du Moyen-Orient sont devenues beaucoup plus difficiles face à la concurrence brésilienne. En volume, près de 80 % des importations de viande de volailles sont le fait des pays en développement. Elles concernent surtout de la viande de poulet vendue de moins en moins sous une forme entière. En effet, les échanges de pièces se développent pour répondre à la demande et par nécessité pour les entreprises afin d'écouler au mieux l'ensemble des pièces.

## 2. Les principaux pays acteurs du commerce international

Le commerce mondial en productions animales est concentré géographiquement. Les dix premiers pays exportateurs (en considérant l'UE comme une seule entité et sans prendre en compte le commerce intra-UE) rassemblent, en effet, 83 % des exportations en 2016. De façon constante depuis 2000, l'UE est le premier exportateur mondial dans le domaine des productions animales. Ses exportations atteignent 31,2 milliards d'euros en 2016, soit 22 % du total mondial. L'UE devance ainsi les États-Unis (15 %), le Brésil (10 %), la Nouvelle-Zélande (9 %), l'Australie (8 %), la Chine (5 %), le Canada (5 %), la Thaïlande (3 %), l'Inde (3 %) et le Mexique (2 %).

Les exportations en productions animales dépassent le seuil du milliard d'euros dans vingt pays. Elles ne dépassent pas, en revanche, les 100 millions d'euros dans 150 autres, en raison de la combinaison de plusieurs facteurs : la production locale de produits animaux est limitée par un faible potentiel pédoclimatique, un manque d'investissement dans la structuration des filières et/ou une concurrence pour l'occupation des sols avec les productions végétales ; la demande intérieure, stimulée par la croissance démographique et l'augmentation de la part de protéines animales dans les régimes alimentaires, utilise l'intégralité de la

production domestique ; dans un cadre réglementaire de plus en plus strict, les problèmes sanitaires rencontrés ne permettent pas à ces pays de trouver des clients.

En considérant les importations et non plus les exportations, le niveau de concentration des acteurs est moins élevé : les dix premiers pays importateurs rassemblent 62 % des flux à l'importation. En 2016, la Chine occupe la première position, avec 16 % des importations totales, devant les États-Unis (11 %), le Japon (9 %), l'UE (6 %) et le Mexique (4 %). Les cinq pays qui suivent (Vietnam, Russie, Corée du Sud, Canada et Arabie Saoudite) comptent, chacun, pour environ 3 % des importations mondiales. Sachant que cinq pays se retrouvent à la fois dans les dix premiers exportateurs et importateurs, le [tableau 1](#) fait référence à seulement 15 pays.

Parmi les quinze pays identifiés dans le [tableau 1](#) comme étant les principaux acteurs du commerce international en productions animales, une analyse synthétique est proposée ci-après pour trois pays déficitaires en productions animales (Chine, Japon et Russie) et six pays excédentaires (Inde, Australie, Nouvelle-Zélande, États-Unis, Brésil et UE).

### 2.1. La Chine

En 2016, la Chine<sup>4</sup> est le pays du monde qui présente le plus lourd déficit en productions animales, avec un solde de – 18 milliards d'euros, dont – 7,8 milliards d'euros en produits laitiers et – 5 milliards d'euros en viande porcine. En dépit des efforts déployés pour développer les filières animales, le déficit s'est creusé au cours de la période récente. Il était de – 10,2 milliards d'euros en 2010-15 et de – 1,2 milliard

4 Tout au long de cet article, il a été considéré que les échanges dit de la Chine tenaient également compte de ceux de Hong-Kong. Colonie britannique à partir du traité de Nankin (1842), Hong-Kong a été rétrocédée à la Chine en 1997. Selon les termes de la déclaration sino-britannique commune, la Chine a promis que Hong-Kong garderait une relative autonomie jusqu'à au moins 2047. Le port de Hong-Kong étant classé au cinquième rang mondial pour son trafic, une part importante des importations de cette zone (7 millions d'habitants) est destinée, in fine, à la Chine.

d'euros en 2000-09. Une situation déficitaire prévaut aussi dans plusieurs autres filières agricoles, de sorte que la balance agroalimentaire globale de la Chine est de – 52 milliards d'euros en 2016.

La dégradation du solde commercial en productions animales doit être mise en parallèle avec les faibles disponibilités en terres agricoles du pays (9 % des terres labourables au monde pour 20 % de la population) ; les difficultés productives (faibles ressources en eau, rendements limités, restructuration rapide des petites exploitations...) ; l'arbitrage parfois donné aux productions végétales, dont le riz, par rapport aux productions animales dans l'utilisation de la terre ; la défiance de nombreux consommateurs chinois vis-à-vis des produits locaux, principalement suite à la crise du lait frelaté à la mélamine en 2008 ; et, naturellement, la croissance rapide des besoins intérieurs liée à une modification progressive du régime alimentaire, surtout dans les grandes agglomérations (Chaumet et Pouch, 2017). La consommation de viandes d'un chinois a quadruplé depuis le début des années quatre-vingt (Chaumet, 2017 ; Guanghong *et al.*, 2012) et celle de produits laitiers connaît une progression d'autant plus rapide que le niveau reste modeste (40 kg par habitant et par an contre 280 kg pour les européens).

En dépit d'un niveau élevé de production (25 % de la production mondiale de viandes, mais seulement 5 % de la production laitière), les exportations de la Chine en productions animales sont faibles et relativement stables au cours des dernières années (FAO, 2018). Elles atteignent 4,8 milliards d'euros en 2016, soit environ sept fois moins que celles de l'UE. Les exportations concernent principalement des produits issus de la filière avicole et sont destinées d'abord aux pays asiatiques (Japon, Vietnam). La Chine est devenue le premier importateur mondial en productions animales (16 % du total). Après avoir représenté 3,6 milliards d'euros en moyenne annuelle sur la période 2000-09, les importations chinoises ont considérablement augmenté pour atteindre 22,8 milliards d'euros en 2016. À cette dernière date, les importations

**Tableau 1.** Les échanges en productions animales pour les principaux pays impliqués (milliards d'euros courants par an entre 2000 et 2016) – Classement par ordre décroissant du solde 2016 (Source : INRA, SMART-LERECO d'après BACI).

	Exportations			Importations			Solde commercial		
	2000-09	2010-15	2016	2000-09	2010-15	2016	2000-09	2010-15	2016
UE-28	13,8	25,4	31,2	7,2	9,3	9,1	6,6	16,1	22,1
N.-Zélande	6,4	12,6	13,2	0,2	0,4	0,5	6,2	12,2	12,7
Brésil	6,2	13,1	13,8	0,4	1,0	1,2	5,8	12,1	12,6
Australie	6,2	9,8	11,6	0,6	1,3	1,8	5,6	8,5	9,8
États-Unis	10,8	19,8	21,5	8,6	11,3	15,4	2,2	8,5	6,1
Inde	0,8	2,3	4,1	0,1	0,2	0,3	0,7	2,1	3,8
Thaïlande	1,3	3,0	4,5	0,5	1,0	0,9	0,8	2,0	3,6
Canada	4,9	6,0	6,9	2,0	3,6	4,2	2,9	2,4	2,7
Arabie Saoudite	0,5	1,0	1,4	2,2	4,2	3,8	- 1,7	- 3,2	- 2,4
Mexique	1,0	2,0	2,7	3,4	5,2	5,9	- 2,4	- 3,2	- 3,2
Corée du Sud	0,1	0,4	0,6	1,7	3,4	4,7	- 1,6	- 3,0	- 4,1
Russie	0,3	0,5	0,7	4,6	8,5	4,8	- 4,3	- 8,0	- 4,1
Vietnam	0,2	0,2	0,3	0,4	2,1	4,8	- 0,2	- 1,9	- 4,5
Japon	0,1	0,3	0,4	8,8	11,4	12,7	- 8,7	- 11,1	- 12,3
Chine	2,4	4,3	4,8	3,6	14,5	22,8	- 1,2	- 10,2	- 18,0
Monde	65,7	123,0	142,2	65,7	123,0	142,2	0,0	0,0	0,0

concernent surtout des produits laitiers (33 %), de la viande porcine (26 %), de la viande bovine (17 %) et de la viande de volailles (10 %). En Chine, les importations représentent un tiers de la production domestique en lait, 20 % en viande bovine et seulement 4 % en viande porcine.

L'UE est le premier fournisseur de la Chine en productions animales avec un tiers de ses importations en 2016. Principalement exportatrice de produits laitiers et de viande porcine, elle devance le Brésil, la Nouvelle-Zélande et les États-Unis. Si le marché chinois constitue une opportunité pour de nombreuses entreprises à la recherche de nouveaux débouchés, force est aussi de bien considérer que ce débouché

n'offre pas non plus toutes les garanties de stabilité (Trégaro, 2016). Les incertitudes qui pèsent sur le niveau de l'offre intérieure, la signature d'accords bilatéraux plus ou moins avantageux avec d'autres pays concurrents, les changements de réglementation sanitaire, la variabilité des taux de change, les tensions politiques entre pays sont autant de facteurs qui peuvent modifier, parfois soudainement, les équilibres escomptés.

## ■ 2.2. Le Japon

Le Japon est le quatrième importateur mondial de produits agroalimentaires et l'un des plus déficitaires (- 43 milliards d'euros en 2016). Malgré un soutien important du gouvernement

et la mise en œuvre de réformes de la politique agricole (OCDE, 2009), l'agriculture japonaise ne parvient à couvrir que 40 % des besoins alimentaires nationaux. En productions animales, le déficit atteint 12,3 milliards d'euros en 2016, dont 5 milliards d'euros de viande porcine, 3 milliards d'euros de viande bovine, 2,7 milliards d'euros de viande de volailles et 1,3 milliard d'euros de lait et de produits laitiers. Le déficit du Japon en productions animales ne s'est guère creusé au cours de la période récente. Non seulement la population japonaise est aujourd'hui décroissante mais le niveau individuel de consommation est désormais plus stabilisé. Les volumes importés représentent 175 % de la production domestique en viande bovine, 116 % en viande porcine, 54 %

en volailles et 30 % en lait et produits laitiers.

La situation déficitaire du Japon est largement imputable à l'insuffisance de ses ressources foncières exploitables. Le pays compte 127 millions d'habitants pour seulement 4,5 millions d'hectares de surface agricole ; le territoire japonais regroupant de larges zones montagneuses recouvertes de forêts. À ces conditions territoriales difficiles s'ajoutent un vieillissement préoccupant des actifs agricoles (77 % des agriculteurs japonais ont plus de 60 ans) et un très fort morcellement des terres agricoles. Dans le secteur de l'élevage, la production a peu évolué au cours des dix dernières années (Japan Statistic Bureau, 2017). Elle s'élève à 7,3 millions de tonnes de lait (soit quatre fois moins que l'Allemagne), 1,9 million de tonnes de volailles, 1,2 million de tonnes de porcs et 480 000 tonnes de viande bovine.

Les exportations du Japon en productions animales, qui sont de fait historiquement marginales (414 millions d'euros en 2016), concernent principalement des produits laitiers (39 % du total) et de la viande bovine (26 %) destinés surtout aux pays asiatiques voisins. Les importations en productions animales (12,7 milliards d'euros) proviennent quant à elles principalement des États-Unis (16 %), de l'UE (15 %), de l'Australie (12 %) et de la Thaïlande (8 %).

Les exportations européennes vers le marché japonais concernent surtout de la viande porcine (34 % des importations du pays) et des produits laitiers (28 %). En viande bovine et en viande de volailles, les exportations européennes sont, en revanche, insignifiantes pour des raisons de moindre compétitivité-prix. Les relations commerciales de l'UE avec le Japon devraient se renforcer suite à l'entrée en vigueur prochaine de l'accord de partenariat économique. Cet accord supprimera la grande majorité des droits payés par les entreprises de l'UE qui exportent vers le Japon ainsi qu'un certain nombre d'obstacles réglementaires en place depuis longtemps. Pour le secteur laitier, cet accord envisage la suppression des droits sur de

nombreux fromages comme le gouda et le cheddar (fixés actuellement à 29 %). Pour la viande de porc, les échanges se feront en franchise de droits pour les viandes transformées, tandis que les viandes fraîches seront presque exemptées. Cet accord prévoit également de protéger plus de 200 produits agricoles européens de qualité (reconnaissance des indications géographiques) sur le marché japonais.

### ■ 2.3. La Russie

Le solde agroalimentaire de la Russie demeure négatif en 2016 (- 4,8 milliards d'euros), malgré une amélioration substantielle de celui-ci par rapport à la période 2010-15 (- 15,2 milliards d'euros). Trois facteurs ont contribué à cette amélioration :

i) l'augmentation de la production agricole intérieure, du moins dans certains secteurs productifs tels que les céréales, les volailles et les porcs, suite à l'adoption de mesures favorables à l'investissement et à la mise en place de complexes agro-industriels où le modèle de l'intégration est dominant ;

ii) la baisse drastique des importations depuis l'application en 2014 d'un embargo sur une sélection de produits agroalimentaires (dont les produits animaux) en provenance de ses principaux fournisseurs historiques (Pouch, 2014)<sup>5</sup> ;

iii) la détérioration du pouvoir d'achat des ménages au cours de la période récente (forte dévaluation du rouble) qui entraîne un recul de la consommation, notamment en produits animaux

5 Le 18 mars 2014, à la suite d'un référendum, le gouvernement russe annonce que la République de Crimée et la ville de Sébastopol deviennent deux nouveaux « sujets de la fédération de Russie ». Moscou évoque alors un « retour » de la région offerte à la République soviétique socialiste d'Ukraine par Nikita Khrouchtchev en 1954. Face à ce qu'ils qualifient « d'annexion illégale », les États membres de l'UE décident à l'unanimité de mettre en œuvre une série de sanctions économiques à l'encontre de la Russie. À peine un mois après l'instauration de ces sanctions par l'UE, soit le 7 août 2014, Moscou a décrété un embargo sur les importations de certains produits agricoles et alimentaires en provenance de l'UE, des États-Unis, du Canada, de l'Australie et de la Norvège. Depuis lors, cet embargo a été prorogé régulièrement.

où les prix sont parfois jugés élevés (fromages, viande bovine).

En productions animales, le solde commercial de la Russie est de - 4,1 milliards d'euros en 2016 (contre - 8 milliards d'euros en 2010-15), dont - 1,8 milliard d'euros pour le lait et les produits laitiers et - 1,1 milliard d'euros pour la viande bovine. Les investissements réalisés dans les filières avicole et porcine devraient prochainement permettre à la Russie d'atteindre l'auto-suffisance. La situation semble plus difficile dans le secteur bovin (tableau 2) où les investissements ont été d'autant plus limités que la rentabilité des capitaux investis est souvent moindre et que le cycle de production est long (FranceAgriMer, 2013).

En Russie, les productions animales ont toujours représenté une part minime des exportations agroalimentaires du pays (entre 4 et 6 % toute au long de la période 2000 à 2015). En 2016, les exportations de productions animales (692 millions d'euros) sont destinées essentiellement au Kazakhstan (30 %), à l'Ukraine (16 %), à la Chine (14 %) et à la Biélorussie (12 %). Suite à la mise en œuvre de l'embargo, les importations russes en productions animales ont été divisées par près de deux (Chatellier *et al.*, 2018). D'un montant de 4,8 milliards d'euros en 2016, elles se font surtout en provenance de la Biélorussie (50 %) et du Brésil (20 %).

En représentant 6 % des importations de la Russie en productions animales en 2016 contre 45 % en 2000, l'UE n'est clairement plus un partenaire privilégié de ce pays. Avec ou sans le maintien de l'embargo, il semble peu probable que l'UE soit en capacité de retrouver à l'avenir ses parts de marché d'antan, ce pour plusieurs raisons : les perspectives démographiques de ce pays ne sont pas prometteuses ; le développement des productions animales (surtout en volailles et porcs) pourrait se poursuivre compte tenu du volontarisme politique adopté ; les fournisseurs actuels (Biélorussie et Brésil) sont compétitifs au niveau des prix et rares sont les ménages russes qui ont les moyens de payer davantage pour des biens qui seraient démarqués par leur qualité.

**Tableau 2.** Le solde commercial en productions animales des principaux pays impliqués (millions d'euros par an) – Classement par ordre décroissant du solde 2016 (Source : INRA, SMART-LERECO d'après BACI).

	Lait et produits laitiers			Viande bovine			Viande porcine			Viande de volailles		
	2000-2009	2010-2015	2016	2000-2009	2010-2015	2016	2000-2009	2010-2015	2016	2000-2009	2010-2015	2016
UE-28	6 207	11 787	14 320	- 971	- 915	- 1 025	2 796	5 645	8 153	- 527	- 745	- 685
N.-Zélande	3 621	8 137	8 175	959	1 542	1 979	- 48	- 90	- 125	5	52	70
Brésil	- 70	- 323	- 552	2 069	4 122	4 634	701	1 176	1 429	2 799	6 307	6 524
Australie	1 283	1 189	939	2 805	4 728	5 768	- 47	- 292	- 322	17	- 14	- 12
États- Unis	- 209	1 911	627	- 267	748	490	1 513	3 696	4 054	2 268	3 465	2 865
Inde	99	89	3	472	1 692	3 456	1	- 1	- 3	3	8	10
Thaïlande	- 140	78	840	- 7	- 65	- 92	30	79	80	932	1 917	2 722
Canada	- 304	- 617	- 911	658	190	634	1 345	1 633	1 675	- 127	- 180	- 155
Arabie Saoudite	- 627	- 963	- 454	- 119	- 346	- 442	- 2	- 12	- 11	- 432	- 1 166	- 1 150
Mexique	- 755	- 1 086	- 1 173	- 822	- 260	226	- 366	- 909	- 1 117	- 408	- 872	- 953
Corée du Sud	- 205	- 393	- 347	- 718	- 1 240	- 2 059	- 386	- 927	- 1 267	- 92	- 207	- 238
Russie	- 960	- 2 699	- 1 889	- 1 140	- 2 211	- 1 179	- 1 077	- 1 682	- 489	- 754	- 568	- 201
Vietnam	- 184	- 612	- 1 109	- 43	- 469	- 2 230	9	- 115	- 96	- 52	- 493	- 529
Japon	- 991	- 1 359	- 1 308	- 2 122	- 2 439	- 3 005	- 3 197	- 3 855	- 4 213	- 1 483	- 2 505	- 2 779
Chine	- 862	- 5 204	- 7 794	- 227	- 2 066	- 4 126	- 309	- 2 186	- 4 990	- 133	- 273	- 372

## ■ 2.4. L'Inde

Avec 18 % de la population mondiale pour 4 % des terres agricoles, soit 180 millions d'hectares, la question alimentaire est un enjeu majeur en Inde, ce d'autant que 15 % de la population souffre de sous-alimentation. En dépit de ses nombreux handicaps (dispersion de la production dans d'innombrables petites exploitations, faible recours à la mécanisation, rendements modestes des cultures, développement limité des activités de transformation...), l'Inde est le troisième producteur agricole au monde et le premier producteur de lait. La production agricole étant d'abord destinée à nourrir une population toujours plus nombreuse (l'Inde deviendra prochainement le pays le plus peuplé

du monde), les échanges commerciaux de ce pays sont historiquement faibles dans le secteur agroalimentaire. La recherche d'une indépendance alimentaire est depuis longtemps une stratégie privilégiée par les pouvoirs publics qui appliquent des droits de douane élevés sur les produits agricoles et mettent en place de nombreuses restrictions à l'importation (Pouch et Kheraief, 2016 ; Dorin, 2001). En 2016, la balance agroalimentaire de l'Inde s'élève à 9,5 milliards d'euros.

En productions animales, la balance commerciale de l'Inde s'est nettement améliorée en passant de 0,7 milliard d'euros en 2000-09 à 3,8 milliards d'euros en 2016. Cette amélioration tient essentiellement au secteur de la

viande bovine (3,4 milliards d'euros de solde en 2016) qui connaît un essor rapide de ses exportations à destination surtout de la Chine et du Vietnam. Dans ce pays où la consommation de viande bovine est l'une des plus faibles du monde (1,7 kg par habitant et par an), l'offre intérieure, tirée aussi par le développement rapide de la production laitière, dépasse aujourd'hui de loin les besoins. Les hindous (80 % de la population) considèrent, en effet, que les femelles zébus (vaches) sont « sacrées » et, de fait, s'opposent à leur abattage et à leur consommation. Les exportations concernent surtout des bufflonnes laitières de réforme âgées de plus de dix ans et des buffles mâles utilisés pour la traction. Les bovins sont abattus selon le rite hallal et la viande

est exportée sous une forme désossée et congelée à des prix exceptionnellement bas. La balance commerciale de l'Inde est proche de l'équilibre en produits laitiers, en viande de volailles et en viande porcine.

Les exportations de l'Inde en productions animales (4,1 milliards d'euros dont 84 % de viande bovine et 5 % de produits laitiers) sont destinées d'abord à la Chine (*via* parfois par le Vietnam dans le cas de la viande bovine), à l'Égypte, à la Malaisie et aux Émirats Arabes Unis. Les relations commerciales de l'UE avec l'Inde dans le secteur des productions animales ont toujours été très faibles. En 2016, l'UE a été destinataire de seulement 1 % des exportations indiennes ; l'UE est certes le deuxième fournisseur de l'Inde en productions animales derrière le Népal, mais cela concerne des montants, eux aussi, très limités (58 millions d'euros en 2016). Compte tenu de l'essor démographique attendu en Inde, de la faiblesse du pouvoir d'achat des indiens, des exigences sanitaires imposées par l'UE sur les produits importés, de la politique commerciale appliquée par les autorités indiennes et du développement de la production laitière dans les deux zones, les relations commerciales entre l'UE et l'Inde devraient rester modestes dans le domaine des productions animales, du moins comparativement à d'autres secteurs.

## ■ 2.5. L'Australie

Peu peuplée (24 millions d'habitants), mais richement doté en terres agricoles (412 millions d'hectares, dont « seulement » 48 millions de terres arables), l'Australie est un pays largement excédentaire dans le domaine agroalimentaire. Les exportations (28,1 milliards d'euros en 2016) représentent près de 60 % de la production agricole intérieure (33 % en lait et 57 % en viande bovine) et la balance agroalimentaire atteint 15,8 milliards d'euros en 2016 (dont 9,8 milliards pour les productions animales, surtout de la viande bovine et ovine). Comme en témoignent ses positions dans le cadre des négociations de l'OMC, l'Australie est depuis longtemps un pays partisan de la libéralisation des échanges. Avec les autres pays réunis

dans le cadre du *Groupe de Cairns*, elle souhaite que les accords multilatéraux aillent dans le sens d'une élimination du soutien interne, d'une forte réduction des barrières douanières et d'une suppression totale des restitutions aux exportations. D'après les estimations de l'OCDE, les soutiens publics accordés aux exploitations australiennes seraient dix fois inférieurs à ceux des exploitations européennes (OCDE, 2017). Comme dans l'UE, les questions de bien-être animal, d'innovation technologique, d'intensification productive (utilisation des ressources en eau) et de qualité nutritionnelle ont pris beaucoup de place dans les débats publics australiens et ont obligé certains acteurs à modifier leurs stratégies (Potard-Hay, 2016). L'accès au marché australien n'est pas toujours simple en raison la distance géographique et l'existence de certains obstacles non tarifaires dans les domaines sanitaires et phytosanitaires.

Les exportations australiennes en productions animales s'élèvent à 11,6 milliards d'euros en 2016 (cinquième rang mondial), soit 41 % des exportations agroalimentaires. Elles ont pratiquement doublé entre 2000-09 et 2016 et concernent essentiellement de la viande bovine (50 % du montant de 2016), des produits laitiers (17 %) et de la viande ovine et caprine (17 %). Elles sont destinées surtout aux États-Unis (17 %), au Japon (16 %), à la Chine (10 %), à la Corée du Sud (8 %) et à l'Indonésie (8 %). Si les importations de l'Australie en productions animales sont limitées, elles ont augmenté en passant de 618 millions d'euros en 2000-09 à 1,8 milliard d'euros en 2016. Elles concernent surtout des produits laitiers (55 % du total en 2016) et de la viande porcine (24 %). Trois fournisseurs assurent l'essentiel de ses approvisionnements : la Nouvelle-Zélande (41 %), l'UE (34 %) et les États-Unis (16 %).

L'Australie bénéficie d'une balance commerciale positive en productions animales avec le Japon (+ 1,9 milliard d'euros en 2016), les États-Unis (+ 1,8 milliard d'euros), la Chine (+ 1,2 milliard d'euros) et la Corée du Sud (1,1 milliard d'euros), mais négative avec la Nouvelle-Zélande (- 565 millions d'euros) et l'UE (- 275 millions d'euros).

ros). Le déficit avec l'UE se vérifie pour les produits laitiers (- 302 millions d'euros) et la viande porcine (- 231 millions d'euros), mais la situation est inverse en viande bovine (+ 180 millions d'euros) et en viande ovine (+ 77 millions d'euros). Les relations commerciales entre ces deux zones pourraient s'accroître dans la mesure où des négociations sont lancées depuis juin 2018 pour parvenir, si possible en 2019, à la signature d'un accord commercial global.

## ■ 2.6. La Nouvelle-Zélande

En dépit d'une surface modeste (11,6 millions d'hectares de surface agricole) comparativement aux autres grands exportateurs, la Nouvelle-Zélande occupe une place importante dans le commerce international de productions animales. Dans ce pays où les surfaces en herbe occupent près de 90 % de la surface agricole, la production agricole est dominée par le secteur laitier et le secteur ovin (Institut de l'Élevage, 2017a). En raison de l'exiguïté du marché intérieur (4,7 millions d'habitants) et moyennant une organisation politique et économique tournée depuis longtemps vers l'extérieur, ce pays occupe le deuxième rang mondial en termes de balance commerciale pour les productions animales (12,7 milliards d'euros en 2016, avec un doublement de ce montant en monnaie courante par rapport à la période 2000-09).

Les exportations néo-zélandaises en productions animales (13,2 milliards d'euros en 2016), qui représentent les deux tiers des exportations agroalimentaires, relèvent à 64 % des produits laitiers, 15 % de la viande bovine (surtout de vaches laitières de réforme) et 14 % de la viande ovine. En 2016, les principaux clients de la Nouvelle-Zélande en productions animales sont la Chine (23 % du total), les États-Unis (12 %), l'UE (10 %), l'Australie (6 %), le Japon (4 %) et l'Algérie (3 %). Les exportations vers la Chine ont augmenté rapidement, en passant de 434 millions d'euros en 2000-09 à 3,1 milliards d'euros en 2016.

La Nouvelle-Zélande exporte plus de 90 % de sa production intérieure de lait et 80 % de sa production de viande bovine. Dynamisées par le

développement des achats de la Chine, les exportations de produits laitiers concernent surtout de la poudre de lait entier (37 % du total en valeur) et du beurre (21 %) ; les exportations de fromages sont quant à elles plus modestes, de même que celles de poudre de lait infantile, ceci offrant des opportunités de développement pour l'UE. La Nouvelle-Zélande est le premier exportateur mondial en volume de produits laitiers (en équivalent lait) et le deuxième en valeur (derrière l'UE). Cette position de leader tient à plusieurs facteurs : une abondance de surfaces herbagères de qualité ; des ressources abondantes en eau ; une forte concentration des outils industriels, avec une seule entreprise (la coopérative *Fonterra*) qui assure l'essentiel de la commercialisation ; un savoir-faire en technologie laitière (Institut de l'Élevage, 2010) ; un volontarisme des acteurs politiques et économiques pour dynamiser les exportations. Après une très forte croissance de la production laitière entre 2000 et 2015, un ralentissement de la dynamique de l'offre est cependant observé depuis quelques années, dans un contexte sociétal où les dommages causés à l'environnement par l'élevage laitier (forte utilisation d'eau d'irrigation, niveaux de fertilisation...), notamment dans l'Île du sud, suscitent de croissantes contestations locales (Institut de l'Élevage, 2017b).

Les importations de la Nouvelle-Zélande en productions animales sont globalement très faibles (501 millions d'euros en 2016). Ses principaux fournisseurs sont l'Australie (35 %), l'UE (35 %) et les États-Unis (18 %). La Nouvelle-Zélande est non seulement un sérieux concurrent de l'UE sur le marché international, mais les relations commerciales entre ces deux zones sont déséquilibrées. La Nouvelle-Zélande représente, en effet, 0,5 % des débouchés de l'UE en productions animales, mais 15 % de ses approvisionnements. Le déficit de l'UE avec la Nouvelle-Zélande (- 1,1 milliard d'euros en 2016 dont - 867 millions d'euros de viande ovine) est cependant moindre que par le passé (- 1,3 milliard d'euros en 2000-09) pour deux raisons : ce pays a bénéficié de sérieuses opportunités commerciales suite à l'ouverture du

marché chinois ; les besoins de l'UE en viande ovine diminuent parallèlement au recul de la consommation.

### ■ 2.7. Le Brésil

Grâce à ses 240 millions d'hectares de surface agricole utile et aux efforts déployés pour moderniser son complexe agroalimentaire, le Brésil est l'un des tous premiers producteurs agricoles au monde et le troisième exportateur de biens agroalimentaires (OCDE-FAO, 2015). Ce pays se distingue par ses performances dans les productions de sucre, de jus d'orange, de soja, d'éthanol, mais aussi de viande bovine et de viande de volailles. Si les exportations agroalimentaires brésiliennes (64 milliards d'euros en 2016) sont inférieures à celles de l'UE-28 (135 milliards d'euros) et des États-Unis (123 milliards d'euros), le solde agroalimentaire est, lui, nettement supérieur (54 milliards d'euros dont 12,6 milliards d'euros au titre des productions animales). Cet essor ne doit cependant pas occulter l'existence de controverses portant sur la dualité des formes d'agriculture qui prévaut dans ce pays (exploitations dédiées à l'export versus petites structures familiales orientées vers le marché domestique) ; les fortes inégalités dans l'accès au foncier ; le niveau élevé d'endettement du secteur ; les imperfections d'un système sanitaire non homogène entre les produits destinés à l'exportation (où les contrôles sont élevés) et ceux commercialisés sur le marché domestique (où il sont plus souples) ; et, surtout, les problèmes environnementaux importants induits par la déforestation, l'utilisation massive d'engrais minéraux, l'érosion des sols et les émissions de gaz à effet de serre (Sabourin, 2014).

Les exportations brésiliennes en productions animales s'élèvent à 13,8 milliards d'euros en 2016, soit 21 % du total des exportations agroalimentaires. Elles sont dominées par la viande de volailles (47 %), la viande bovine (35 %) et, loin derrière, la viande porcine (10 %). Le Brésil est légèrement déficitaire en produits laitiers. Le Brésil exporte l'équivalent de 31 % de sa production de viande de volailles, 23 % de celle de viande porcine et 20 % de celle de viande bovine. Les principaux clients du Brésil

en productions animales sont la Chine (24 % du total en 2016), l'UE (13 %), l'Arabie Saoudite (8 %), la Russie (7 %) et le Japon (7 %). Les États-Unis, pourtant moins éloignés géographiquement, ne comptent que pour 3 % des exportations brésiliennes. Après avoir progressé, en passant de 2,4 milliards d'euros en 2000 à 13,1 milliards d'euros en 2012, les exportations du Brésil en productions animales sont plus stables depuis cinq années. Non seulement la baisse des prix internationaux influe sur le niveau des exportations de produits animaux en valeur, mais le Brésil est également un grand exportateur de produits végétaux (effet de concurrence entre productions), dont le soja. Le Brésil reste le premier exportateur mondial de viande de volailles et de viande bovine (Institut de l'Élevage, 2014).

En dépit d'une population nombreuse (207 millions d'habitants) et d'une consommation individuelle de viandes qui a progressé au cours des dernières décennies, les importations du Brésil en productions animales concernent toujours des montants limités (1,2 milliard d'euros en 2016, dont 60 % de produits laitiers et 18 % de bovins vivants). Les principaux fournisseurs sont les pays voisins du Mercosur, dont l'Uruguay (32 % du total des importations de 2016), l'Argentine (27 %), le Paraguay (12 %) et l'UE (11 %). La balance commerciale de l'UE avec le Brésil est nettement déficitaire tant en agroalimentaire (- 10,3 milliards d'euros en 2016) que pour les productions animales (- 1,6 milliard d'euros en 2016). Le déficit est conséquent en viande de volailles (- 1,1 milliard d'euros en 2016) et en viande bovine (- 650 millions d'euros), où les brésiliens sont très compétitifs (Champion *et al.*, 2013 ; FranceAgriMer, 2011).

### ■ 2.8. Les États-Unis

Avec une superficie agricole de 408 millions d'hectares (dont 155 millions d'hectares de terres arables), les États-Unis occupent le premier rang mondial en termes de production agricole. Ce pays est fortement engagé dans les productions de maïs grain, de soja, de viande de volailles, de viande

bovine et de lait (USDA, 2017). Plus que dans d'autres pays concurrents précités (Australie, Nouvelle-Zélande et Brésil), le soutien apporté par les pouvoirs publics à son agriculture est, au travers du « *Farm Bill* », important et laisse une place croissante aux mécanismes assurantiels. Au plan commercial, l'accord de libre-échange nord-américain, qui est entré en vigueur en 1994, a favorisé les flux de marchandises entre les trois pays signataires que sont les États-Unis, le Mexique et le Canada. Ainsi, les États-Unis se placent au deuxième rang mondial en termes d'exportations agroalimentaires (123 milliards d'euros en 2016), lesquelles sont destinées surtout à la Chine (18 %), au Canada (15 %), au Mexique (13 %) et à l'UE (10 %).

En productions animales, les exportations étatsuniennes s'élèvent à 21,5 milliards d'euros en 2016 (deuxième rang mondial derrière l'UE), soit 17 % des exportations agroalimentaires. Elles sont assez équilibrées entre les différentes filières de production : 26 % relèvent de la viande porcine, 25 % de la viande bovine, 21 % des produits laitiers et 15 % de la viande de volailles. Au prorata de la production intérieure, les exportations représentent 10 % des volumes en lait, 12 % en viande bovine, 17 % en viande de volailles et 21 % en viande porcine. Les exportations sont destinées en premier lieu aux deux autres États membres de l'ALENA (22 % pour le Mexique et 15 % pour le Canada), puis au Japon (14 %), à la Chine (12 %) et à la Corée du sud (7 %). Derrière la Chine, les États-Unis occupent le deuxième rang mondial en importations de productions animales (15,5 milliards d'euros en 2016). Celles-ci proviennent principalement du Canada (18 %), de l'UE (18 %) et du Mexique (17 %). Elles concernent surtout de la viande bovine (33 % dont 0,4 % en provenance de l'UE), des produits laitiers (25 % dont 35 % en provenance de l'UE) et de la viande porcine (10 % dont 33 % en provenance de l'UE).

Au total, les États-Unis dégagent un solde commercial positif en productions animales (6,1 milliards d'euros en 2016), grâce surtout aux relations bilatérales avec le Japon (+ 3 milliards d'euros), le Mexique (+ 2,8 milliards

d'euros) et la Chine (+ 2,3 milliards d'euros). En termes de production, le solde positif tient surtout aux filières porcine (4 milliards d'euros, avec une forte progression au cours de la période récente) et avicole (+ 2,8 milliards d'euros). La situation est plus proche de l'équilibre en viande bovine et dans le secteur laitier, où les flux croisés entre les importations et les exportations, sont importants. L'UE bénéficie d'un solde positif avec les États-Unis, tant dans le domaine agroalimentaire pris dans son ensemble (+ 9,9 milliards d'euros en 2016) que pour les productions animales (1,7 milliard d'euros en 2016 contre 900 millions d'euros sur la période 2000-09). Cet excédent tient surtout aux produits laitiers (1,3 milliard d'euros, dont surtout des fromages) et à la viande porcine (510 millions d'euros).

### 3. Les échanges de l'UE et de la France en productions animales

Cette troisième et dernière partie présente les principales tendances du commerce extérieur de l'UE et de la France en productions animales.

#### ■ 3.1. Le commerce de l'UE en productions animales

En 2016, l'UE est le premier exportateur mondial tant dans le domaine agroalimentaire (135 milliards d'euros en 2016) qu'en productions animales (31,2 milliards d'euros, soit 23 % des exportations agroalimentaires). Si l'agriculture européenne est moins dotée en surface agricole (178 millions d'hectares dont 60 % de terres arables) que dans d'autres pays (États-Unis, Brésil...), les rendements à l'hectare sont supérieurs en raison d'un climat souvent propice et d'un potentiel agronomique élevé. Les productions animales, qui sont inégalement réparties entre les États membres (Roguet *et al.*, 2015), représentent environ 40 % de la production agricole finale de l'UE. Elles résultent essentiellement d'exploitations agricoles familiales de taille plus modeste que dans la plupart des autres pays concurrents. Au sein de l'UE, les modèles productifs adoptés sont, au demeurant, très hétérogènes

d'une zone à l'autre (Hercule *et al.*, 2017) selon les disponibilités foncières (qui impose plus ou moins d'intensification), le relief (dans certains pays les zones de montagnes contribuent de façon importante aux activités d'élevage), le potentiel agronomique des sols (zones labourables ou non), les disponibilités en main-d'œuvre, l'organisation économique (plus ou moins d'intégration verticale), etc.

Le développement des activités européennes d'élevage a longtemps été favorisé par la protection apportée par les instruments de la Politique Agricole Commune (PAC) au travers principalement des droits de douane, des subventions aux exportations et du soutien interne. Les réformes successives de la PAC ont certes profondément modifié la manière dont les soutiens publics sont alloués au secteur agricole (convergence progressive des prix européens sur les prix mondiaux, abandon des restitutions aux exportations, limitation du recours au stockage public...), mais force est de constater que les aides directes représentent aujourd'hui une part significative du revenu de très nombreux éleveurs européens (Bureau et Thoyer, 2014). Les soutiens budgétaires accordés dans le cadre de la PAC contribuent donc à soutenir les performances à l'export de l'agriculture européenne, du moins pour les productions agricoles les plus soutenues, telles que les productions de ruminants et de céréales.

Après une longue période où l'UE était déficitaire en productions animales, la situation est devenue excédentaire dès la fin des années soixante-dix, du moins pour la plupart des productions (à l'exception par exemple de la viande ovine), dont la production laitière où les coûts de l'intervention publique allaient croissants et ont conduit à la mise en œuvre des quotas à compter de 1984. L'UE occupe actuellement le premier rang mondial en termes de balance commerciale dans ce domaine. Cette dernière est passée de 6,6 milliards d'euros en moyenne annuelle sur la période 2000-09 à 16,1 milliards d'euros sur la période 2010-15 et 22,1 milliards d'euros en 2016. Cette amélioration du solde tient à la conjugaison de

plusieurs facteurs : une augmentation sensible de la production dans certains secteurs, dont le lait où les quotas ont été abandonnés en 2015 ; une saturation, voire une baisse dans certains États membres, de la consommation de protéines animales ; une ouverture croissante de plusieurs marchés, dont la Chine et la Russie (du moins avant la mise en œuvre de l'embargo en 2014) ; une exigence qualitative de certains pays acheteurs (exemple : Japon, États-Unis) en termes de sûreté sanitaire. L'UE est excédentaire en produits laitiers (14,1 milliards d'euros en 2016) et en viande porcine (8,1 milliards d'euros), mais déficitaire en viande bovine (- 1 milliard d'euros) et en viande de volailles (- 685 millions d'euros).

Les exportations de l'UE en productions animales concernent surtout des produits laitiers (50 % du total en 2016) et la viande porcine (26 % du total), deux secteurs où l'UE est structurellement excédentaire (figure 6). Les exportations de viande de volailles (5 %), de bovins vivants (4 %) et de viande bovine (3 %) sont, quant à elles, moins développées, surtout en raison de prix plus élevés que ceux de la concurrence. Dans l'UE, et d'après les données de la FAO,

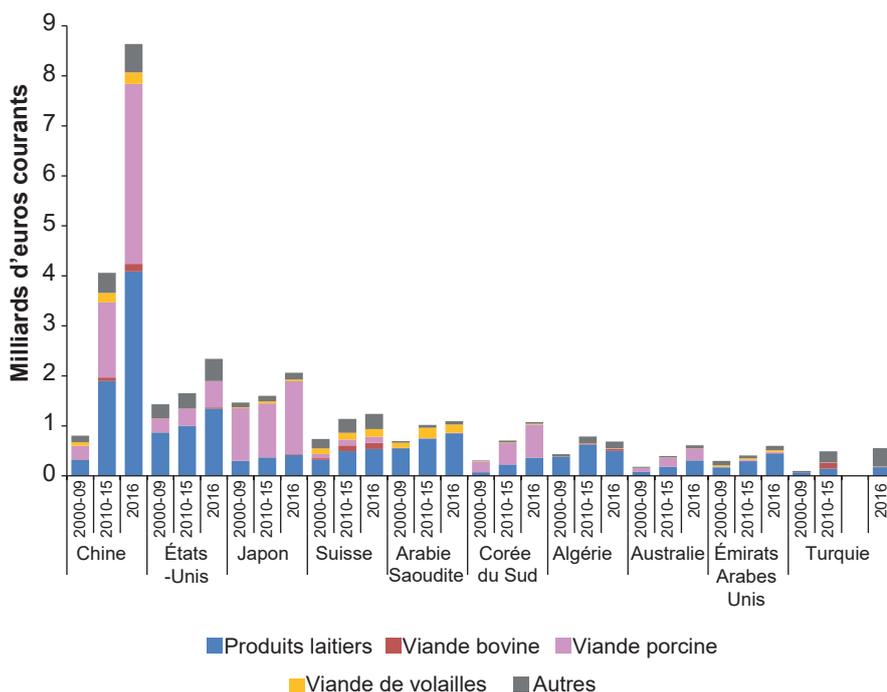
les exportations représentent environ 12 % de la production laitière intérieure, 12 % de celle de viande porcine, 10 % de celle de viande de volailles et 5 % de celle de viande bovine.

Les exportations de l'UE en productions animales sont destinées pour un peu plus des deux tiers à quinze pays. La Chine est devenue, et de loin, le premier client, avec des importations qui ont été multipliées par dix entre 2000-09 (805 millions d'euros par an) et 2016 (8,6 milliards d'euros). Ainsi, l'Empire du Milieu capte, à lui seul, 28 % des exportations de l'UE en 2016. Cetaux est de 44 % pour la viande porcine, 26 % pour les produits laitiers, 14 % pour la viande de volailles et 15 % pour la viande bovine (Commission européenne, 2016). Le développement des importations chinoises en productions animales a largement profité à l'UE qui assure 38 % des approvisionnements (en valeur) de la Chine en 2016 contre 22 % au cours de la période 2000-09. En représentant 8 % des exportations de l'UE en productions animales, les États-Unis occupent la seconde place des pays clients. Si les exportations de l'UE vers les États-Unis ont augmenté entre 2000-09 (1,4 milliard d'euros) et

2016 (2,3 milliards d'euros, dont 57 % de produits laitiers et 24 % de viande porcine), cette hausse reste modérée comparativement à celle de la Chine. Le troisième client de l'UE est le Japon (6 % des exportations de l'UE) qui s'approvisionne surtout en viande porcine (70 %) et en produits laitiers (20 %). Derrière ce trio de tête, les pays qui suivent sont la Suisse, l'Arabie Saoudite, la Corée du sud, l'Algérie, l'Australie, les Émirats arabes unis, la Turquie, les Philippines, la Lybie et le Liban. La Russie, qui a longtemps occupé une place importante dans les exportations européennes, est désormais classée derrière ces pays. Le recul des importations russes a mécaniquement eu un impact positif sur le poids relatif des pays clients de l'UE, notamment ceux situés en Asie.

Les importations de l'UE en productions animales ont faiblement augmenté au cours de la période étudiée. En effet, elles sont passées de 7,2 milliards d'euros en 2000-09 à 9,1 milliards d'euros en 2016. La stabilité démographique de l'UE, le recul de la consommation individuelle de protéines animales, le développement récent des productions animales dans plusieurs États membres, surtout l'Espagne, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Pologne (mais pas la France) et les exigences qualitatives de l'UE à l'import, sont les principaux facteurs expliquant cette évolution. Les importations européennes en productions animales s'inscrivent pour une large part dans le cadre de contingents d'importations à droits nuls ou réduits consentis dans le cadre des accords de l'OMC et de panels perdus tels que ceux sur le soja, les viandes saumurées pour la volaille et les hormones pour la viande bovine, etc. Les importations européennes concernent surtout de la viande de volailles (25 % du total en provenance à 45 % du Brésil et 40 % de la Thaïlande) et de la viande bovine (23 % du total en provenance à 32 % du Brésil, 19 % de l'Argentine et 17 % de l'Uruguay). Les importations de produits laitiers sont quant à elles plus modestes (14 % en provenance à 53 % de la Suisse et 19 % de la Nouvelle-Zélande) et représentent environ 1 % de la consommation intérieure. Ce taux est nettement supérieur (environ 20 %) pour la viande ovine qui compte pour 11 % du total

**Figure 6.** Les principaux clients de l'UE en productions animales selon les types de produits entre 2000 et 2016 (milliards d'euros courants par an) (Source : INRA, SMART-LERECO d'après BACI).



des importations (cette viande étant achetée à 87 % en Nouvelle-Zélande et 8 % en Australie).

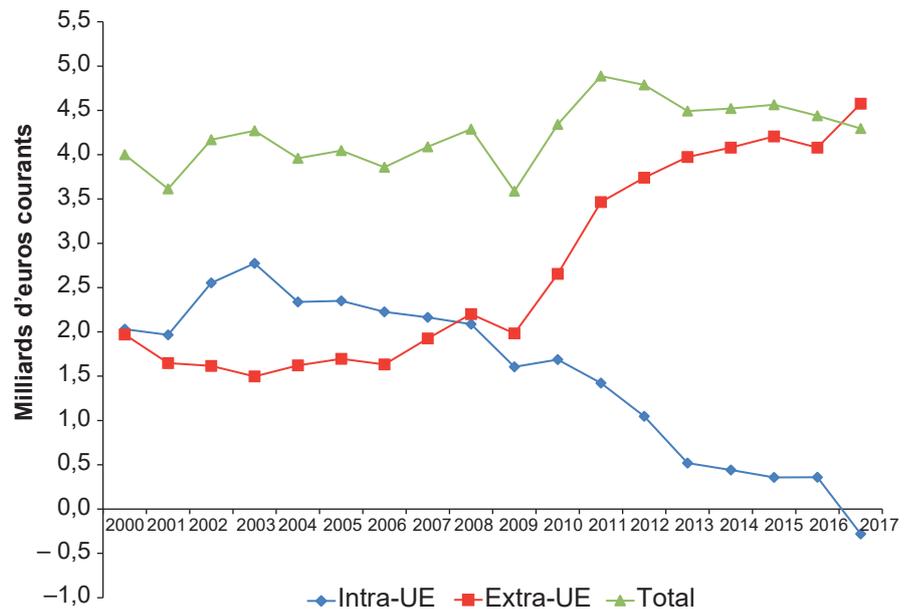
### ■ 3.2. Le commerce de la France en productions animales

Dans le cas de la France, les données utilisées sont celles issues de la base COMEXT car elles présentent deux avantages : elles donnent la possibilité de distinguer le commerce extra-UE du commerce intra-UE ; elles sont actualisées à l'année 2017.

Les exportations de la France en productions animales s'élevaient à 15,1 milliards d'euros en 2017 (dont un tiers à destination de pays tiers), contre 10,9 milliards d'euros en 2000-09 (dont 20 % à destination de pays tiers). Cette croissance des exportations est liée pour les deux tiers aux pays tiers et pour 60 % aux produits laitiers. En 2017, les exportations en productions animales vers les pays tiers s'élevaient à 5 milliards d'euros, soit 16 % du total de l'UE. Les exportations de la France en productions animales relèvent à 42 % des produits laitiers, 11 % de la viande porcine, 11 % des bovins vivants, 10 % de la viande de volailles et 8 % de la viande bovine. Les importations de la France en productions animales s'élevaient à 10,9 milliards d'euros en 2017 (dont 96 % en provenance de l'UE), contre 6,9 milliards d'euros en 2000-09 (dont 93 % en provenance de l'UE). La hausse des importations entre ces deux périodes résulte à 41 % des produits laitiers, 22 % de la viande de volailles et 18 % de la viande de porcs.

Ainsi, la balance commerciale de la France en productions animales s'élève à 4,3 milliards d'euros en 2017. Contrairement aux évolutions positives observées à l'échelle de l'UE, ce solde français est resté finalement assez stable au cours des quinze dernières années (figure 7). Cette situation cache néanmoins un double mouvement, avec d'un côté une nette dégradation du solde avec les États membres de l'UE (- 2,49 milliards d'euros entre 2000-09 et 2017) et, de l'autre, une amélioration de celui-ci avec les pays tiers (+ 2,79 milliards d'euros entre 2000-09 et 2017).

**Figure 7. Le solde commercial intra-UE et extra-UE de la France en productions animales entre 2000 et 2017 (milliards d'euros courants) (Source : INRA, SMART-LERECO d'après COMEXT).**



Les cinq pays avec lesquels la France a le plus amélioré son solde en productions animales entre 2000-09 et 2016 sont tous non membres de l'UE. Il s'agit de la Chine (+ 922 millions d'euros), de l'Algérie (+ 169 millions d'euros), des États-Unis (+ 124 millions d'euros), de l'Arabie Saoudite (+ 109 millions d'euros) et de l'Indonésie (+ 88 millions d'euros). Inversement, les cinq pays avec lesquels la France a le plus détérioré sa balance commerciale entre 2000-09 et 2016 sont tous européens. Il s'agit des Pays-Bas (- 646 millions d'euros), de l'Espagne (- 487 millions d'euros), de l'Italie (- 347 millions d'euros), de la Pologne (- 280 millions d'euros) et de l'Allemagne (- 254 millions d'euros). Cette dégradation du solde de la France avec les pays européens peut s'expliquer de différentes façons : le faible essor démographique de ces pays et la baisse de la consommation individuelle limite les besoins alimentaires ; plusieurs de ces pays ont développé leur production en interne et sont parfois plus compétitifs sur les marchés extérieurs que la France (exemple : la filière porcine en Espagne et en Allemagne, la filière volaille en Pologne, la filière laitière aux Pays-Bas et en Allemagne...); une partie des exportations issues de ces pays correspond en fait à des approvisionnements réalisés initialement sur le marché mondial (réexpédition de produits importés).

La France est excédentaire en produits laitiers en 2017 (3,30 milliards d'euros) grâce plus aux pays tiers (2,73 milliards d'euros) qu'aux États membres de l'UE (570 millions d'euros) avec lesquels sa balance commerciale s'est détériorée (Perrot *et al.*, 2018). Dans le secteur bovin, la France est également excédentaire (998 millions d'euros), mais uniquement grâce à son commerce de bovins vivants, composé surtout de brouillards commercialisés vers l'Italie (tableau 3). La situation est, en revanche, déficitaire en viande bovine (- 317 millions d'euros), avec des approvisionnements qui se font principalement dans les pays voisins du nord de l'UE. Dans le secteur porcine, la France est déficitaire en valeur (- 392 millions d'euros en 2017), avec un solde positif en porcs vivants (73 millions d'euros) mais négatif en viande porcine (- 466 millions d'euros). Ce solde négatif tient surtout aux relations commerciales défavorables avec l'Espagne et l'Allemagne ; un solde positif et en légère amélioration est en revanche observé avec les pays tiers, dont la Chine. Dans le secteur avicole, le solde de la France est tout juste à l'équilibre (+ 38 millions d'euros en 2017), avec un solde négatif (- 380 millions d'euros) et en détérioration avec les pays européens, dont la Belgique, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Pologne. Le solde avec les pays tiers

**Tableau 3.** L'évolution du solde commercial de la France en productions animales selon les types de produits et les principaux pays partenaires entre 2000-09 et 2017 (millions d'euros) (Source : INRA, SMART-LERECO d'après COMEXT).

	Secteur laitier		Secteur bovin		Secteur porcin		Secteur avicole		Productions animales	
	2017	2017 /2000-09	2017	2017 /2000-09	2017	2017 /2000-09	2017	2017 /2000-09	2017	2017 /2000-09
<b>UE-28</b>	<b>570</b>	<b>- 764</b>	<b>874</b>	<b>- 37</b>	<b>- 838</b>	<b>- 721</b>	<b>- 380</b>	<b>- 866</b>	<b>- 281</b>	<b>- 2 491</b>
Danemark	- 21	- 10	- 1	8	- 49	17	21	- 11	- 30	33
Royaume-Uni	442	108	- 35	- 34	91	- 47	57	- 70	467	- 24
Grèce	20	- 38	172	- 77	43	- 36	7	- 8	257	- 163
Irlande	- 143	- 74	- 208	- 89	0	- 10	- 7	- 12	- 490	- 170
Allemagne	302	21	- 7	132	- 224	- 166	- 32	- 206	- 112	- 254
Pologne	- 3	- 7	- 82	- 72	19	16	- 200	- 195	- 297	- 280
Italie	78	- 204	1 249	93	- 71	- 211	9	- 25	1 421	- 347
Espagne	227	- 111	173	57	- 797	- 417	5	- 47	- 290	- 487
Pays-Bas	- 641	- 466	- 311	- 23	- 5	44	- 182	- 119	- 1 402	- 646
<b>Pays tiers</b>	<b>2 737</b>	<b>1 664</b>	<b>124</b>	<b>102</b>	<b>446</b>	<b>228</b>	<b>417</b>	<b>60</b>	<b>4 576</b>	<b>2 798</b>
Chine	663	613	4	4	218	195	37	24	1 022	922
Algérie	246	110	57	51	0	0	6	- 5	326	169
États-Unis	198	63	0	0	1	3	1	4	245	124
Arabie Saoudite	134	69	0	0	7	4	123	32	275	109
Indonésie	91	79	0	0	0	0	1	- 1	103	88
Corée du Sud	69	55	0	0	30	- 4	0	- 2	133	72
Australie	43	39	- 1	- 1	0	0	0	0	47	59
Japon	75	25	1	1	60	29	2	- 10	170	53
N.-Zélande	1	1	0	0	0	0	0	0	- 53	45
Brésil	14	6	- 3	9	0	0	- 1	9	16	40
Argentine	1	1	0	7	0	0	0	0	- 7	18
Suisse	64	20	- 20	- 14	4	0	48	1	123	13
Inde	10	9	0	0	0	0	0	0	9	12
Canada	37	3	0	2	1	1	- 7	- 7	26	4
<b>Monde</b>	<b>3 307</b>	<b>899</b>	<b>998</b>	<b>65</b>	<b>- 392</b>	<b>- 492</b>	<b>38</b>	<b>- 806</b>	<b>4 295</b>	<b>307</b>

reste positif, mais l'abandon des restitutions sur le poulet entier congelé est de nature à fragiliser les exportations vers les pays du Moyen-Orient, dont l'Arabie Saoudite (Chatellier *et al.*, 2015).

Entre 2000-09 et 2016, la détérioration du solde commercial de la France avec les États membres de l'UE est particulièrement forte dans le secteur avicole (- 866 millions d'euros), en produits laitiers (- 764 millions d'euros) et dans le secteur porcin (- 721 millions d'euros). Les seuls créneaux où le solde a enregistré une hausse sont les bovins vivants (+ 110 millions d'euros), les volailles vivantes (+ 50 millions d'euros) et les porcs vivants (+ 23 millions d'euros). L'amélioration du solde commercial de la France avec les pays tiers est, de son côté, confirmée pour tous les produits identifiés dans le tableau 3, dont surtout les produits laitiers et la viande porcine. La concurrence intra-UE semble donc plus déstabilisante pour l'élevage français que la pression exercée par les pays tiers.

## Conclusion

Dans de très nombreux pays, notamment ceux en développement, les échanges en productions animales ne représentent finalement qu'une part limitée de la production intérieure. La consommation domestique s'adapte ainsi aux capacités productives (ou inversement) et les échanges sont d'autant plus faibles qu'ils se heurtent souvent à des problèmes économiques et/ou sanitaires. Ainsi, les pays du continent africain sont historiquement peu présents dans les échanges internationaux de productions animales. La concentration des pays exportateurs est forte, la moitié des exportations mondiales de productions animales résultant de l'UE, des États-Unis, du Brésil, de la Nouvelle-Zélande et de l'Australie. Si les jeux concurrentiels entre ces pays jouent pleinement à destination de certaines cibles stratégiques comme par exemple la Chine ou le Japon, les stratégies empruntées pour dynamiser les exportations varient entre ces pays. Certains d'entre eux, comme le Brésil ou la Nouvelle-Zélande, sont particulièrement performants au niveau de la

« compétitivité prix » alors que d'autres, dont les États membres de l'UE (Bas *et al.*, 2015 ; Bureau *et al.*, 2015), cherchent à faire-valoir davantage la « compétitivité hors prix » (qualité ou typicité des produits, haut degré de transformation des produits...). Au niveau des importations, la Chine est clairement le pays qui a le plus contribué à la dynamisation récente des échanges internationaux. Premier importateur mondial en productions animales, ce pays devance désormais les États-Unis (où les échanges se font pour une part importante dans le cadre de l'ALENA), le Japon (où les importations sont désormais freinées par la baisse de population) et l'UE (zone où les importations restent limitées au prorata de la consommation intérieure). De manière inverse à la Chine, et suite à son embargo, la Russie a fortement baissé ses importations en productions animales au cours des dernières années, au détriment surtout des États membres de l'UE, dont les exportations se sont réorientées vers les pays asiatiques.

Pour l'UE, et dans un contexte marqué par une saturation progressive de la consommation globale en produits animaux (faible croissance démographique, recul du niveau individuel de consommation pour certains biens...), l'essor des échanges internationaux constitue une opportunité pour améliorer la balance commerciale et écouler (voire développer) la production intérieure. Force est cependant de constater que l'accès aux marchés internationaux n'est pas chose facile, certains États membres ayant plus d'atouts que d'autres pour s'y engager. Ainsi, les Pays-Bas assurent, à eux seuls, 20 % des exportations de l'UE en productions animales vers les pays tiers, soit l'équivalent des vingt États membres les moins concernés. Ils devancent ainsi nettement l'Allemagne (14 %), la France (13 %), l'Espagne (9 %), le Danemark (8 %), l'Irlande (7 %) et la Pologne (5 %). Les échanges extra-UE sont nettement moins importants en valeur que les flux internes entre les États membres. L'absence de droits de douanes entre les pays de l'Union douanière, la libre circulation des marchandises, l'harmonisation progressive des normes dans de nombreux domaines et la proximité

géographique des pays (qui limite les coûts de transport) ont, depuis de nombreuses décennies déjà, contribué à structurer certains courants d'échanges internes, tels que par exemple les exportations de bovins vivants de la France vers l'Italie ou les exportations de produits animaux de l'Irlande vers le Royaume-Uni. À ce titre, les conditions commerciales futures qui seront appliquées entre l'UE et le Royaume-Uni, un pays lourdement déficitaire en biens agroalimentaires, auront de l'importance. Non seulement le Royaume-Uni deviendra un pays tiers dans les analyses statistiques, mais il deviendra aussi plus libre quant à la structuration de ses relations bilatérales. S'il est encore trop tôt pour en mesurer tous les impacts économiques, il est certain que le *Brexit* suscitera de larges débats sur les stratégies d'approvisionnement du marché alimentaire britannique.

Dans le domaine des productions animales, le commerce international a beaucoup évolué au fil des dernières décennies. Quelques grandes entreprises multinationales, privées ou coopératives, telles que par exemple *JBS*, *Tyson Foods*, *Cargill*, *Dairy Farmers of America*, *Smithfield*, *Fonterra*, *Nestlé*, *Lactalis*, *Arla*, *Campina-Friesland*, *Yili*, *Danish Crown*, *Vion* ou *Saputo* occupent désormais une place centrale. Ces entreprises, qui entrent en concurrence les unes avec les autres et qui cherchent à se singulariser par l'innovation, sont aujourd'hui placées au cœur d'un commerce qui s'oriente de plus en plus vers des produits élaborés, transformés et assemblés (produits finis pour les consommateurs ou produits ingrédients pour les industries agroalimentaires). Ainsi, par exemple, les échanges de carcasses et de beurre ont aujourd'hui beaucoup moins le « vent en poupe » que ceux de pièces ou de lait infantile. Les produits sont de plus en plus « crackés » et réassemblés, ce qui donne lieu à des courants d'échanges parfois complexes, comme les citoyens français en avaient par exemple pris acte au moment de l'affaire dite de « la fraude à la viande de cheval ». Ce cracking des produits concerne aussi bien le lait (séparation des différents composants y compris en jouant sur le poids

moléculaire), les viandes (séparation et désossage des pièces) que les œufs (poudre de jaune, poudre de blanc). Ce type de commerce se développe alors que, parallèlement, nombreux sont les citoyens qui, pour des raisons diverses, souhaitent donner une plus grande place à la proximité et aux produits bruts dans leurs actes d'achats. Par ailleurs, l'attention croissante portée par les citoyens au bien-être animal pourrait, demain, avoir une influence sur la manière dont le commerce d'animaux vivants est organisé.

Les accords bilatéraux, les normes publiques et privées, les règles sanitaires et les conditions techniques d'accès aux marchés extérieurs (habilitation des entreprises exportatrices) ont une influence de plus en plus forte sur la sélection des acteurs du commerce. Outre la volatilité accrue du prix des matières premières et de l'énergie qui pèse sur l'évolution de la rentabilité des entreprises exportatrices, ces dernières doivent aussi faire face à la versatilité

de certains grands dirigeants de ce monde, dont *Donald Trump*. Depuis son élection sous la bannière *America First*, le Président américain a retiré son pays de l'accord de Paris sur le climat et a renforcé les mesures protectionnistes. Les États-Unis sont entrés dans une guerre commerciale avec la Chine en surtaxant de 25 % une centaine de produits chinois ce qui a donné lieu à une réplique sous la forme d'une taxation du soja américain importé en Chine. Si ces changements de cap dans les politiques commerciales ne sont pas neutres sur la dynamique du commerce mondial, il reste bien difficile d'en connaître les dénouements futurs. De plus, qu'en sera-t-il demain, avec toutes les questions, aussi cruciales que complexes, soulevées par l'environnement (Fontagné et Mimouni, 2001) et le réchauffement climatique ? Si le commerce de marchandises génère de la pollution, certains modes de transport ont des émissions de dioxyde de carbone plus faibles (le transport par mer) que d'autres (le transport par air et par

terre). Le commerce pourrait aussi être un moyen de rapprocher la demande et l'offre en permettant aux pays où le changement climatique crée des pénuries de se procurer les biens et services dont ils ont besoin dans les pays où ceux-ci sont encore disponibles (OMC, 2009). Les filières animales françaises et européennes doivent s'emparer de ces différents éléments et faire-valoir leurs atouts pour bâtir une stratégie gagnante tant au plan domestique que sur les marchés extérieurs.

## Remerciements

L'auteur remercie Cécile Le Roy (INRA, UMR SMART-LERECO) pour son appui efficace dans le traitement des données des douanes. Ce travail, qui s'inscrit dans le cadre du projet COMPANI (COMPétitivité des filières ANImales françaises) coordonné par Stéphane Turolla (INRA), a bénéficié de l'appui financier du Ministère en charge de l'Agriculture.

## Références

- Bas M., Fontagné L., Martin P., Mayer T., 2015. À la recherche des parts de marchés perdues. Les notes du CAE, n° 23, 13p.
- Bricongne J.C., Fournier J.M., Lapègue V., Monso O., 2010. De la crise financière à la crise économique. L'impact des perturbations financières de 2007 et 2008 sur la croissance de sept pays industrialisés. *Econ. Statist.*, 438-440, 47-77.
- Bureau J.C., Jean S., 2013. Les transformations des échanges agricoles bousculent l'agenda multilatéral. La lettre du CEPIL, 336, 4p.
- Bureau J.C., Thoyer S., 2014. La politique agricole commune. Éditions la Découverte, 128p.
- Bureau J.C., Fontagné L., Jean S., 2015. L'agriculture française à l'heure des choix. Les notes du CAE, n° 27, 12p.
- Centre d'études et de prospective, 2017. MOND'Alim 2030 : panorama prospectif de la mondialisation des systèmes alimentaires, Paris, La Documentation française, 230p. <http://agriculture.gouv.fr/telecharger/87099>
- Champion F., Chotteau P., Dufloy B., Magdelaine P., Marouby H., Rieu M., Riffard C., 2013. La compétitivité agricole du Brésil : le cas des filières d'élevage. Notes et Études socio-économiques, 37, 127-156.
- Chatellier V., 2016. Le commerce international, européen et français de produits laitiers : évolutions tendancielle et dynamiques concurrentielles. *INRA Prod. Anim.*, 29, 143-162.
- Chatellier V., 2017. Les échanges de bovins vivants et de viande bovine dans le monde et dans l'UE. *INRA Prod. Anim.*, 30, 199-218.
- Chatellier V., Magdelaine P., Trégaro Y., 2015. La compétitivité de la filière volaille de chair française : entre doutes et espoirs. *INRA Prod. Anim.*, 28, 411-428.
- Chatellier V., Pouch T., Le Roy C., Quentin M., 2018. Les relations commerciales agroalimentaires de la Russie avec l'UE, l'embargo russe et les productions animales. *INRA Prod. Anim.*, 31, 83-103.
- Chaumet J.M., 2017. La consommation alimentaire en Chine : une transition rapide du végétal à l'animal. *Le Demeter*, 257-265.
- Chaumet J.M., Pouch T., 2017. La Chine au risque de la dépendance alimentaire. Éditions Presse Universitaire de Rennes, France, 212p.
- Claquin P., 2017. La mondialisation par le commerce des produits alimentaires : tendances structurelles et exploration prospective. *Centre d'Études et de Prospective, Analyse*, 102, 8p.
- Commission européenne, 2016. Agri-food trade in 2015: China boosts EU exports. *Monitoring Agri-trade policy*, 1, 24p.
- Dorin B., 2001. L'Inde dans le commerce agricole international : conditions et bilan de mise en œuvre des accords de Marrakech. Notes et études économiques, 13, 49-84.
- FAO, 2017. L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde en 2017. Rapport, 130p. <http://www.fao.org/3/a-17695f.pdf>
- FAO, 2018. Food outlook. Biannual report on global food markets, 161p. <http://www.fao.org/3/CA0239EN/ca0239en.pdf>
- Fontagné L., Mimouni M., 2001. L'environnement, nouvel obstacle au commerce de produits agricoles et alimentaires. *Econ. Int.*, 87, 63-87.
- FranceAgriMer, 2011. Les Global Players dans les filières viandes : américains et brésiliens aux premières places. Les synthèses, 9, 12p. <http://www.franceagrimer.fr/content/download/7126/41563/file/global-players-08-2011.pdf>
- FranceAgriMer, 2013. L'entrée de la Russie à l'OMC : enjeux pour les filières animales européennes. Les synthèses, 1, 16p. <http://www.franceagrimer.fr/content/download/22132/181685/file/Russie-OMC-enjeux-filières-animales.pdf>
- Guanghong Z., Wangang Z., Xinglian X., 2012. China's meat industry revolution: challenges and opportunities for the future. *Meat Sci.*, 92, 188-196.
- Guillou M., Matheron G., 2011. 9 milliards d'hommes à nourrir : un défi pour demain. Éditions Bourrin, 432p.
- Hercule J., Chatellier V., Piet L., Dumont B., Benoit M., Delaby L., Donnars C., Savini I., Dupraz P., 2017. Une typologie pour représenter la diversité des territoires d'élevage en Europe. In : Numéro spécial, L'élevage

- en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Ed). INRA Prod. Anim., 30, 285-302.
- Institut de l'Élevage, 2010. La filière laitière en Nouvelle-Zélande : une furieuse volonté de croissance contrariée par l'environnement. Dossier Économie de l'Élevage, 404, 60p.
- Institut de l'Élevage, 2014. Brésil : le zébu conquérant. Dossier Économie de l'Élevage, 336, 80p.
- Institut de l'Élevage, 2017a. La filière ovine néo-zélandaise a encore de la ressource. Dossier Économie de l'Élevage, 481, 32p.
- Institut de l'Élevage, 2017b. La filière laitière en Nouvelle-Zélande rattrapée par les exigences de durabilité. Dossier Économie de l'Élevage, 484, 40p.
- Institut de l'Élevage, 2018a. Le marché mondial du bœuf : cap de l'Est. Dossier Économie de l'Élevage, 489, 29p.
- Institut de l'Élevage, 2018b. Les marchés mondiaux des produits laitiers : bien orientés grâce à la croissance mondiale. Dossier Économie de l'Élevage, 490, 36p.
- Japan Statistic Bureau, 2017. Statistical handbook of Japan 2017: chapter 5 on agriculture, forestry and fisheries. Report, 53-63.
- Jean S., 2015. Le ralentissement du commerce mondial annonce un changement de tendance. La lettre du CEPIL, 356, 4p.
- Lamy P., 2004. L'émergence des préférences collectives dans le champ de l'échange international : quelles implications pour la régulation de la mondialisation ? Discours du Commissaire européen au commerce, 15 septembre, Bruxelles, 15p. [http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2004/september/tradoc\\_118930.pdf](http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2004/september/tradoc_118930.pdf)
- Landes M., Melton A., Edwards S., 2016. From where the buffalo roam: India's beef exports. USDA, Report from the Economic Research Service, June, 34p. [https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/37672/59707\\_1dpm-264-01.pdf?v=0](https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/37672/59707_1dpm-264-01.pdf?v=0)
- OCDE, 2009. Evaluation of agricultural policy reforms in Japan. Report, 120p. <https://www.oecd.org/japan/42791674.pdf>
- OCDE, 2017. Politiques agricoles : suivi et évaluation 2017. Rapport, 188p.
- OCDE-FAO, 2015. L'agriculture brésilienne : perspectives et enjeux. In Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO, Éditions OCDE, Paris, France, 67-120.
- OCDE-FAO, 2018. Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2018-2027. Rapport annuel, 127p. <http://www.fao.org/3/i9166fr/i9166FR.pdf>
- OMC, 2009. Commerce et changement climatique. Rapport OMC-PNUE, 212p. [https://www.wto.org/french/res\\_f/booksp\\_f/trade\\_climate\\_change\\_f.pdf](https://www.wto.org/french/res_f/booksp_f/trade_climate_change_f.pdf)
- OMC, 2018. L'examen statistique du commerce mondial 2017. Rapport, de l'OMC, 183p. [https://www.wto.org/french/res\\_f/statis\\_f/wts2017\\_f/wts2017\\_f.pdf](https://www.wto.org/french/res_f/statis_f/wts2017_f/wts2017_f.pdf)
- ONU, 2017. World population prospects: the 2017 revision. Report (volume 1), 53p. <https://www.compassion.com/multimedia/world-population-prospects.pdf>
- Perrot C., Chatellier V., Gouin D.M., Richard M., You G., 2018. Le secteur laitier français est-il compétitif face à la concurrence européenne et mondiale. Econ. Rurale, 364, 109-127.
- Potard-Hay G., 2016. La gestion publique des questions agricoles en Australie. Centre d'Études et de Prospective, Analyse, 91, 4p.
- Pouch T., 2014. L'embarco russe sur les produits agricoles européens et sa dimension géoéconomique. Géoeconomie, 72, 71-84.
- Pouch T., 2015. Le commerce international de produits agricoles et ses rivalités permanentes. Hérodote, 156, 108-124.
- Pouch T., Kheraief N., 2016. Le commerce extérieur agroalimentaire de l'Inde. Économie Rurale, 352, 67-80.
- Rastoin J.L., Ghersi G., 2010. Le système alimentaire mondial. Concepts et méthodes, analyses et dynamiques. Éditions Quae, Paris, France, 565p.
- Roguet C., Gagné C., Chatellier V., Cariou S., Carlier M., Chenut R., Daniel K., Perrot C., 2015. Spécialisation territoriale et concentration des productions animales européennes. INRA Prod. Anim., 28, 5-22.
- Sabourin E., 2014. L'agriculture brésilienne en débat : évolutions récentes, controverses et politiques publiques. Problèmes d'Amérique latine, 95, 33-55.
- Trégaro Y., 2016. Marché chinois : opportunités et risques pour les entreprises agroalimentaires européennes. Le Demeter, 2017, 257-265.
- USDA, 2017. Agricultural projections to 2027. Report, 111p. [https://www.usda.gov/oce/commodity/projections/USDA\\_Agricultural\\_Projections\\_to\\_2027.pdf](https://www.usda.gov/oce/commodity/projections/USDA_Agricultural_Projections_to_2027.pdf)

## Résumé

Les productions animales représentent 16 % du commerce agroalimentaire international. Le déséquilibre croissant entre l'offre et la demande de produits animaux dans les pays asiatiques où la consommation progresse, surtout en Chine, stimule les échanges au bénéfice des grands pays exportateurs que sont l'Union Européenne (UE), les États-Unis, la Nouvelle-Zélande, le Brésil et l'Australie. Si cette évolution offre des opportunités commerciales pour les pays structurellement excédentaires, les achats ne sont pas toujours réguliers d'une année à l'autre et la concurrence par les prix est très forte, même si certains pays ont des exigences qualitatives. L'UE, qui est excédentaire en produits laitiers et en viande porcine, mais déficitaire (en valeur) en viande bovine et en viande de volailles, est le premier exportateur mondial de productions animales (avec 22 % du total, hors commerce intra-UE en 2016). En utilisant les données statistiques des douanes (BACI et COMEXT) de 2000 à 2016, cet article traite de l'évolution du commerce en productions animales. Il présente l'évolution du commerce international pour différents types de biens (produits laitiers, viande bovine, viande porcine, viande de volailles) et met en évidence les trajectoires commerciales des principaux pays déficitaires (Chine, Japon et Russie) et excédentaires (Inde, Australie, Nouvelle-Zélande, Brésil, États-Unis et UE).

## Abstract

### Internationalization of markets in animal production

*Animal production accounts for 16 % of the international agri-food trade. The growing imbalance between supply and demand for animal products in Asian countries, where consumption is growing, particularly in China, is boosting trade for the benefit of the major exporting countries: the European Union (EU), the United States, New Zealand, Brazil and Australia. While this development offers trade opportunities for structurally surplus countries, purchases are not always consistent from year to year and price competition is very strong, although some countries have qualitative requirements. The EU, which has a surplus in dairy products and pig meat, but is deficient (in value) in beef and poultry meat, is the world's largest exporter of animal products (with 22 % of the total, excluding intra-EU trade in 2016). This article deals with the evolution of trade in animal products using customs statistics data (BACI and COMEXT) from 2000 to 2016. It presents the evolution of international trade for different types of goods (dairy products, beef, pig meat, poultry meat) and highlights the trade trajectories of the main deficit countries (China, Japan and Russia) and the main surplus countries (India, Australia, New Zealand, Brazil, the United States and the EU).*

CHATELLIER V., 2019. L'internationalisation des marchés en productions animales. In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 111-130. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2463>



# L'évolution de la consommation de produits animaux en France : de multiples enjeux

France CAILLAVET<sup>1</sup>, Adélaïde FADHUILE<sup>1,2</sup>, Véronique NICHÈLE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ALISS, UR1303, INRA Paris-Saclay, Ivry-sur-Seine, France

<sup>2</sup> Université de Grenoble Alpes, CNRS, INRA, INP, GAEL, 38000, Grenoble, France

Courriel : france.caillavet@inra.fr

■ La consommation élevée de protéines animales en France est désormais au cœur des enjeux de la durabilité, confrontée à des recommandations publiques moins favorables, après avoir suivi lors des décennies passées une trajectoire croissante. Dans un contexte de durabilité et de saturation des besoins en protéines, et en particulier de source animale, les ménages sont amenés à réorienter leurs modes de consommation.

## Introduction

La croissance de la consommation de produits animaux est supérieure au taux de croissance de la population (Steinfeld *et al.*, 2006). Ces deux facteurs conjugués renouvellent le débat traditionnel sur la couverture des besoins nutritionnels de la population. La transition nutritionnelle, jusqu'ici consistant en la substitution de protéines végétales par les protéines animales, aborde une nouvelle étape. La production de viande est particulièrement concernée par ces tensions, la consommation des ressources végétales nécessaire à l'élevage se trouvant en concurrence avec celle de la population. En effet, selon la FAO, la production mondiale de protéines végétales avait atteint 555 millions de tonnes en 2013. 80 % ont été consacrées à l'alimentation animale pour produire 89 millions de tonnes de protéines animales.

Face à la moindre augmentation de la population dans les pays les plus développés et à la saturation de leurs besoins en protéines, la croissance de la demande de produits animaux est désormais tirée par la démographie,

l'urbanisation et les changements de régime alimentaire dans les pays plus pauvres. En 2011, dans les pays de revenu bas et moyen, la consommation par tête de protéines animales représente moins de 40 % de celle des pays à haut revenu (FAO, 2017). L'élévation du niveau de vie permettant l'accès aux sources de protéines animales et l'occidentalisation des préférences constituent les leviers de la transition nutritionnelle. Les projections s'avèrent très contrastées selon les zones géographiques. En ce qui concerne la viande, les besoins futurs conduisent à un doublement de la consommation actuelle d'ici 2050, soit 200 millions de tonnes supplémentaires (FAO, 2009). Ils se répartissent entre l'Asie en premier lieu (46 %), la Chine seule ayant un poids supérieur (28 %) à l'Europe (20 %) et à l'Amérique du Nord (14 %). Le poids encore faible de l'Amérique du Sud (10 %), et de l'Afrique (5 %) montrent les enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle et la pression qui s'exerce sur la répartition des ressources. Les enjeux environnementaux, nutritionnels et sociaux associés à cette forte croissance de la demande de protéines animales, sont de plus en plus présents dans le débat public, et

ne peuvent désormais plus être ignorés par les consommateurs.

En ce qui concerne l'environnement, l'urgence de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) est relayée par la presse, qui diffuse les appels des scientifiques (IPCC, 2018 ; Ripple *et al.*, 2017). Les institutions publiques ont depuis longtemps fixé des objectifs chiffrés en la matière, par exemple l'Union Européenne avec un objectif de réduction de 40 % des émissions en 2030 par rapport à 1990 (Commission Européenne, 2007). L'agriculture est un important émetteur de GES après l'énergie (I4CE, 2018). Les ordres de grandeur sont variables selon les méthodes d'estimation qui reposent sur de nombreuses hypothèses (Dumont et Dupraz, 2016 ; Rosner *et al.*, 2016). Dans le cas français, la méthode d'inventaire de production, limitée aux portes de la ferme, attribue 17,1 % des émissions de GES à l'agriculture (hors énergie et hors changements d'utilisation des sols), plus que la moyenne européenne (10,1 %), en 2015 (Ministère de l'environnement, 2017). Au sein du secteur agricole, l'élevage et en particulier les ruminants sont les principaux émetteurs (Gerber

et al., 2013 ; Wellesley et al., 2015). En ce qui concerne l'alimentation, à partir d'analyses de cycle de vie menées de la « fourche à la fourchette », de nombreuses études ont montré que les aliments de sources animales étaient liés à de plus fortes émissions que la plupart des aliments de source végétale (Briggs et al., 2013 ; Masset et al., 2014 dans le cas français). L'ADEME estime ainsi l'empreinte carbone d'un repas (en équivalent CO<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub>eq) avec de la viande de bœuf à 4,52 kg CO<sub>2</sub>eq, celle d'un repas avec de la viande de poulet à 1,11 kg CO<sub>2</sub>eq et celle d'un repas végétarien à 0,45 kg CO<sub>2</sub>eq (I4CE, 2018).

Du point de vue nutritionnel, la surconsommation de protéines est connue au niveau des pays développés et en particulier européens. Elle représente 150 % des apports recommandés, sur la base des bilans de la FAO (Aiking, 2014). Les protéines animales y sont prépondérantes. Au sein des pays européens, la France occupe la première place (avec la Finlande) par l'importance des protéines animales dans les apports totaux en protéines (67 %) (EFSA, 2011). Dans un contexte global de développement des pathologies liées à la nutrition, telles que les maladies cardiovasculaires ou l'obésité (WHO, 2009), les risques associés à une alimentation riche en viande rouge et charcuterie ont été l'objet d'études épidémiologiques (Friel et al., 2009 ; Godfray et al., 2018). Plusieurs organismes, et notamment le Fonds Mondial de Recherche sur le Cancer (WCRF, 2007) ont édité des recommandations fixant un seuil de consommation de viande rouge à 300 g par semaine dès 2007.

Enfin, les enjeux d'inégalités sociales accompagnent cette problématique, en raison de la grande disparité de consommation de produits animaux. La relation avec le niveau de revenu joue d'une part entre pays à l'échelle mondiale (Sans et Combris, 2015). Selon un modèle en U inversé, la consommation de viande s'infléchit à un niveau de revenu élevé (Vranken et al., 2014). Parallèlement, cette association avec le revenu est vraie également au sein des pays, entre populations plus ou moins favorisées. Cependant, dans un contexte de saturation des besoins protéiques et de préoccupations de

santé et d'environnement, un autre type de transition nutritionnelle est à l'œuvre au sein de la plupart des sociétés développées, dont la France. L'inflexion de la consommation à un niveau de revenu élevé se traduit par un retournement de tendance, et la consommation de viande n'est plus le marqueur social traditionnel, liée positivement au statut social : elle marque le pas pour les populations les plus éduquées et est désormais plus importante, pour certaines catégories de produits, pour les populations de faible statut socioéconomique.

Cet article vise à inscrire la consommation française face à ces nouveaux enjeux. Une première partie présente les résultats des enquêtes actuelles de consommation de produits animaux à partir des données recueillies auprès des ménages, et propose un éclairage rétrospectif de l'évolution des sources de protéines sur quatre décennies. Une deuxième partie expose les objectifs publics de consommation, et suggère des pistes d'incitation à la réorientation de la consommation *via* des simulations de hausses de prix correspondant à l'incorporation du coût environnemental dont on examine les conséquences en termes de durabilité environnementale, nutritionnelle et d'équité.

## 1. L'évolution de la consommation de produits animaux

### ■ 1.1. Appréhender la consommation de produits animaux

Les données de consommation peuvent provenir de plusieurs sources : bilans FAO ou relevés directs auprès des consommateurs, individus ou ménages. Chaque source possède ses limites (encadré). Nous nous appuyons ici sur les données d'enquêtes directes. Concernant les produits animaux, elles permettent de mesurer les quantités consommées, ou les dépenses au sein de l'alimentation à domicile. En outre, la disponibilité de variables sociodémographiques dans les enquêtes rend possible l'étude des disparités sociales.

### a. Les apports en produits animaux

Les enquêtes « Individuelles Nationales des Consommations Alimentaires » (INCA) sont la source la plus complète sur la consommation car elles couvrent l'ensemble des prises alimentaires (cf. encadré). L'enquête la plus récente réalisée en 2014-15 (INCA3) indique une grande hétérogénéité des taux de consommation et des quantités selon les produits considérés (tableau 1). En effet, on constate que pour certains produits, la majorité de la population n'est pas consommatrice sur les trois jours de relevés. Cela concerne le lait, les œufs et produits dérivés, les volailles, les abats, les produits de la mer et les plats préparés à base de viandes ou poissons. En termes de quantités, les produits animaux représentent 26,2 % des apports caloriques, soit une stabilisation de la contribution des protéines dans la dernière décennie par rapport à la précédente enquête INCA2 (pour les adultes : 16,9 % en 2006-07 et 16,8 % en 2014-15).

### b. Les produits animaux dans le budget alimentaire

Les enquêtes Budget des Familles, contrairement aux enquêtes INCA, enregistrent les dépenses alimentaires et les budgets des ménages (BDF, cf. encadré). Comparés aux apports caloriques, les produits animaux représentent une part importante du budget. Cette part atteignait en 2011 44,7 % du budget alloué à l'ensemble des produits alimentaires et boissons non alcoolisées par les ménages (Enquête Budget des Familles 2011, INSEE), (tableau 2). Les viandes en constituent la part prédominante (51,9 %). Au sein de ce groupe, la consommation de charcuterie et abats (30,8 %), puis celle de bœuf (27,6 %) sont les plus importantes. Les produits de la mer sont devancés par les produits laitiers.

En revanche, ramené en termes de dépense par Unité de Consommation<sup>1</sup>, soit une méthodologie visant à comparer des ménages de composition

1 L'échelle actuellement la plus utilisée (dite de l'OCDE), utilisée par l'INSEE, retient la pondération suivante : 1'Unité de Consommation (UC) pour le premier adulte du ménage, 0,5 UC pour les autres personnes de 14 ans ou plus et 0,3 UC pour les enfants de moins de 14 ans.

**Encadré. Sources de données sur la consommation de produits animaux.****Les bilans alimentaires de la FAO : les disponibilités**

Collectés au niveau national chaque année, ils donnent une photographie détaillée de l'approvisionnement alimentaire. Le bilan alimentaire fait apparaître, pour chaque produit (de base ou transformé), les sources d'approvisionnement et leur utilisation. On évalue l'approvisionnement disponible au cours d'une période en calculant la quantité totale de denrées alimentaires produites ou importées dans un pays, corrigée en fonction des variations de stocks au cours de cette période. Concernant l'utilisation, on distingue les quantités exportées, celles destinées à l'alimentation animale, utilisées comme semences ou transformées par l'industrie. L'utilisation tient compte également des pertes au cours du stockage et du transport. Les bilans fournissent la disponibilité pour la consommation d'un produit alimentaire donné par habitant, obtenue en divisant la quantité de ce produit par la population qui le consomme. Les données sur les disponibilités par habitant sont exprimées en volume. En appliquant les coefficients pertinents relatifs à la composition des aliments, pour tous les produits (de base ou transformés) les quantités consommées sont également exprimées en calories, protéines et lipides. La consommation estimée par la méthode des bilans concerne donc l'ensemble de la consommation des ménages ordinaires (à domicile et hors domicile) et la consommation des institutions (pensionnats, hôpitaux...). Les bilans alimentaires sont disponibles annuellement depuis 1961 pour 22 groupes de produits animaux.

**L'enquête « Consommation Alimentaire » de l'INSEE : la consommation au domicile**

Réalisée auprès des ménages chaque année de 1965 à 1983, sauf en 1975 en raison du recensement de la population et une année sur deux de 1985 à 1991, date de l'arrêt définitif de l'enquête. Il s'agit d'enquêtes représentatives de la population des ménages ordinaires résidents en France métropolitaine. Elles ont été réalisées selon la même méthodologie permettant de recueillir, outre les caractéristiques sociodémographiques des ménages, l'ensemble des approvisionnements en produits alimentaires pour le domicile, qu'ils proviennent d'un achat, d'un cadeau reçu, d'un prélèvement sur la production du ménage (autoconsommation) ou sur le stock du magasin (autofourniture). Ceux-ci sont consignés manuellement dans un carnet de compte pendant sept jours consécutifs et sont classés selon une nomenclature de 330 produits alimentaires dont 117 sont consacrés aux produits animaux (hors plats préparés).

**L'enquête « Budget des Familles » (BDF) de l'INSEE : l'ensemble des dépenses de consommation**

Couvrant l'ensemble du budget des ménages, cette enquête à peu près quinquennale recueille les dépenses depuis 1978-1979 et également les quantités alimentaires depuis 2005. La taille de l'échantillon représentatif est de l'ordre de 10 000 ménages. Le recueil est effectué par un carnet de compte. Les dépenses de consommation alimentaire sont enregistrées pendant 14 jours consécutifs jusqu'en 2006, puis sur 7 jours consécutifs en 2010-2011 par chaque membre du ménage.

**Le panel de consommateurs KANTAR « Worldpanel » : les achats pour le domicile**

Mis en place depuis la fin des années 1960, c'est un panel annuel qui porte sur les achats des ménages pour le domicile (l'autoconsommation et l'autofourniture ne sont pas prises en compte). Les méthodes d'échantillonnage et de recueil des données ont évolué, notamment en 1996 avec l'abandon des relevés d'achats manuels et le passage à la lecture optique à domicile pour les produits avec un code-barres. Les caractéristiques des produits sans codes-barres sont relevées à l'aide de codes spécifiques figurant dans un livret. Parallèlement à cette évolution, la taille des échantillons a augmenté permettant une amélioration de la représentativité de la population des ménages ordinaires résidents en France métropolitaine continentale, et dépasse actuellement 30 000 ménages. La nomenclature est caractérisée par un niveau de produits très désagrégé. En prenant l'exemple de la viande, on dispose des informations telles que l'animal, le type de préparation (à bouillir, braiser ou à rôtir, griller, poêler), le morceau (carré, côte, épaule, gigot...), le taux de matière grasse, le conditionnement...

**L'enquête « Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires » (INCA) : l'ensemble des prises alimentaires**

Réalisée par l'ANSES tous les sept ans : en 1998-1999, 2006-2007 et 2014-2015, la troisième édition de cette enquête (INCA3) a été menée sur un échantillon de 3 157 adultes de 18 à 79 ans et un échantillon d'enfants de 0 à 17 ans assurant la représentativité de l'ensemble des individus résidant en France métropolitaine continentale et vivant dans un ménage ordinaire. Cette enquête vise à connaître les consommations alimentaires individuelles effectives quels que soient les occasions et les lieux de consommation et à quantifier les apports nutritionnels correspondants. À la différence d'INCA2 basée sur un carnet de consommation de 7 jours consécutifs, l'enquête INCA3 repose sur 3 rappels de 24 h dans un souci d'harmonisation méthodologique avec les autres enquêtes européennes. Cette enquête génère des données de consommation sur 320 000 aliments regroupés selon une nomenclature de 44 postes dont 11 sont consacrés aux produits animaux.

**L'enquête « Comportements et Consommations Alimentaires en France » (CCAF)**

Réalisée par le CREDOC tous les trois ans de 2004 à 2016, la dernière édition de cette enquête a été menée durant 10 mois, d'octobre 2015 à juillet 2016 sur un échantillon représentatif de 1 500 ménages domiciliés en France métropolitaine, 2 500 adultes de 20 ans et plus et 1 500 enfants et adolescents de 3 à 19 ans. Elle comporte deux volets complémentaires : un volet comportements et attitudes et un volet consommation. Elle repose sur un questionnaire de plus de 120 questions et un relevé quotidien des consommations individuelles pendant 7 jours consécutifs (carnet papier et outil en ligne). Elle enregistre 1 300 produits regroupés en 38 groupes alimentaires dont 10 sont consacrés aux produits animaux.

familiale différente selon une échelle de structure de consommation estimée pour les dépenses totales (alimentaires

et non alimentaires, échelle de l'OCDE), le poids budgétaire des produits animaux s'avère moins important et

recule légèrement entre 2000 et 2011 (Sans et de Fontguyon, 2008 ; Sans et Nichèle, 2015).

**Tableau 1.** Taux de consommateurs, consommations journalières moyennes de produits animaux, contributions moyennes des groupes d'aliments aux apports en énergie (Apports Énergétiques Totaux) chez les adultes de 18 à 79 ans (INCA3, n = 2121, 2014-15) (Source : ANSES, 2017).

	Taux de consommateurs %	Consommation (seuls consommateurs) g/jour	% Apports énergétiques totaux
<b>Produits laitiers</b>			
Laits	43,7	172,3	1,5
Yaourts et fromages blancs	68,6	111,8	3,1
Fromages	80,4	38,5	4,8
<b>Viandes</b>			
Œufs et plats à base d'œufs	31,1	40,6	1,1
Viandes hors volailles	68,3	69,2	4,2
Volailles	49,1	52,9	2,2
Charcuterie	66,9	40,9	3,3
Abats	8,0	33,7	0,3
<b>Produits de la mer</b>			
Poissons	42,5	54,0	1,7
Crustacés et mollusques	13,8	26,9	0,2
<b>Matières grasses animales</b>	67,6	13,3	2,2
<b>Plats préparés</b>			
À base de viandes	19,5	74,1	1,0
À base de poissons	13,7	67,9	0,6

### c. Disparités socioéconomiques de la consommation de produits animaux

À partir des données INCA, les quantités consommées illustrent les différences significatives<sup>2</sup> sur les principales variables socioéconomiques. Le genre influe à la fois sur le taux de consommateurs, car fromages et charcuterie sont consommés par une plus forte proportion d'Hommes, et sur la quantité moyenne. En effet, les femmes

consomment en plus grande quantité les yaourts et fromages blancs alors que les hommes consomment davantage de fromages, de viandes hors volaille, de charcuterie et de poisson. Les effets de l'âge sont également significatifs. À partir de l'étude de 3 tranches d'âges (18-44 ans ; 45-64 ans ; 65-79 ans), on constate que les fromages, œufs, poissons, et abats sont de plus en plus consommés avec l'âge. Les viandes hors volailles montrent un pic chez les 45-64 ans. En termes de consommation moyenne, on observe des quantités supérieures de fromages et inférieures de plats à base de poisson avec l'âge.

Les enjeux sociaux autour de la consommation de produits animaux ont longtemps été importants (Grignon, 1996) mais se transforment. La démocratisation récente de cette consommation constitue un trait marquant. En ce qui concerne la viande, les catégories sociales moins favorisées sont à l'heure actuelle les plus fortes consommatrices de certains produits carnés. Dans l'enquête INCA3, en 2014-15, le niveau d'éducation est discriminant sur la consommation de viande hors volailles. Un niveau d'éducation élevé est associé à une plus faible proportion de consommateurs de viande (65,1 % de consommateurs chez les Bac + 4,

<sup>2</sup> À partir de tests de différence statistique menés sur les apports (INCA3 ; ANSES, 2017), ou de travaux de modélisation de la demande alimentaire réalisés sur les achats.

**Tableau 2. Coefficients budgétaires des produits animaux (enquête Budget des Familles 2011) (Source : INSEE, calcul des auteurs).** <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2015662?sommaire=2015691#titre-bloc-5,2014>

Groupes de produits	Ensemble			1 <sup>er</sup> Décile de niveau de vie		
<b>Tous produits animaux</b>	44,7			42,4		
<b>Viande</b>		51,9			51,8	
Viande bovine fraîche ou surgelée			27,6			28,3
Viande porcine fraîche ou surgelée			7,9			7,4
Viande ovine ou caprine fraîche ou surgelée			4,0			4,1
Viande de volaille fraîche ou surgelée			17,3			16,9
Viande séchée salée ou fumée, charcuterie et abats			30,8			31,1
Conserve de viande, produit de transformation des viandes			10,8			10,7
Autres viandes fraîches ou surgelées (cheval, lapin, gibier)			1,8			1,3
<b>Total viande</b>			<b>100</b>			<b>100</b>
<b>Poissons et fruits de mer</b>		15,7			12,7	
Poissons frais			33,6			33,6
Poissons surgelés ou congelés (hors poissons panés ou cuisinés)			5,9			4,5
Fruits de mer frais ou surgelés (y compris cuits, non compris cuisinés)			22,5			18,1
Poissons et fruits de mer salés, fumés, séchés et surgelés			9,1			9,0
Conserves de poisson et de fruits de mer et plats préparés			28,7			35,5
<b>Total poissons et fruits de mer</b>			<b>100</b>			<b>100</b>
<b>Lait, fromages et œufs</b>		30,3			33,2	
Fromage et lait caillé			45,0			42,4
Œufs			7,1			7,4
Lait frais, condensé, en poudre			13,9			17,2
Yaourts et produits laitiers			34,0			33,0
<b>Total lait, fromages, œufs</b>			<b>100</b>			<b>100</b>
<b>Beurre</b>		2,1			2,3	
<b>Total produits animaux</b>		<b>100</b>			<b>100</b>	
<b>Tous produits alimentaires et boissons non alcoolisées</b>	<b>100</b>			<b>100</b>		

contre 72,1 % chez les Primaire/collège), et à des quantités consommées inférieures (37,1 g/jour, contre 52,8 g/jour). Dans l'enquête INCA2, réalisée en 2006-07 avec une méthodologie différente, on relevait des quantités supérieures<sup>3</sup> de « volaille et gibier » et de « charcuterie » pour les niveaux d'éducation plus faibles. Quant à la PCS, elle n'induit pas de disparités dans l'enquête INCA3, à la différence des enquêtes CCAF (cf. encadré et Laisney, 2013). En ce qui concerne les *produits laitiers*, le niveau d'éducation est associé positivement au taux de consommation chez les adultes, et aux quantités consommées pour les catégories de yaourts et fromages blancs et pour les fromages. En revanche le lait est davantage consommé par les personnes ayant un niveau d'étude faible.

À partir des données BDF qui couvrent les achats pour la consommation au domicile, les travaux soulignent l'influence du niveau de revenu par Unité de Consommation (UC) du ménage, sa composition, l'âge du chef de ménage et le niveau d'éducation. Revenu et âge ont un effet positif sur les quantités achetées et les dépenses. En revanche l'effet de l'éducation est plus fluctuant selon les produits : il peut être négatif ou non significatif sur la viande, et également non significatif sur les fromages (Combris, 2003 ; Sans *et al.*, 2015).

Cependant, les données BDF montrent que, si le montant en valeur absolue des dépenses suit l'élévation du niveau de vie, la structure des dépenses varie peu. Les 10 % de ménages les plus pauvres (1er décile de niveau de vie) ont une structure du budget similaire à l'ensemble de la population en ce qui concerne les viandes. En revanche, la part supérieure accordée aux produits laitiers est compensée par le poids moindre des produits de la mer (tableau 2)

Ces caractéristiques et disparités de la consommation sont à replacer dans l'évolution de la structure des achats

3 Différences statistiquement significatives, ajustées sur l'âge et le sexe. La consommation de « viande » (hors volaille et abats) montre aussi des quantités supérieures mais le test n'est pas significatif.

lors des décennies précédentes. Un travail fin sur les achats pour le domicile éclaire les enjeux nutritionnels portés par le rôle des protéines dans l'alimentation.

## ■ 1.2. Achats de produits animaux et apports en protéines : une analyse en longue période

Étudier l'évolution de longue période de la consommation nécessite des séries de données homogènes. Les bilans alimentaires de la FAO couvrent plusieurs décennies et ont donné lieu à des analyses agrégées (cf. chapitre 1 de Dumont et Dupraz, 2016). En revanche, des données continues de relevés de consommation n'existent pas à l'heure actuelle en France sur plus de 20 ans (cf. encadré). Un travail original a été mené pour harmoniser les deux principales sources de données d'achat (Enquêtes de Consommation Alimentaire de l'INSEE et Kantar Worldpanel, cf. encadré), et constituer des séries de 1969 à 2010 (Létoile *et al.*, 2014). À partir des déclarations des ménages, on peut observer les évolutions de la consommation au domicile de différents produits animaux sur quatre décennies sur la base des moyennes/tête, puis calculer leur contenu nutritionnel grâce à la table de conversion CIQUAL. On mesure ainsi dans un premier temps l'évolution de la contribution des produits animaux au niveau moyen. Dans un second temps, les déviations des quantités/tête sont présentées d'une part selon le revenu, et d'autre part selon le niveau d'éducation.

### a. Évolution de la contribution calorique des produits animaux

Globalement, les quantités achetées ont évolué fortement depuis plusieurs décennies, et ce pour l'ensemble des produits alimentaires (Nichèle *et al.*, 2008). Parallèlement la ration calorique a elle-même évolué. Sur la période 1969-2010, elle est d'abord décroissante, puis une tendance à l'augmentation est observée à partir de 2003 (Caillavet *et al.*, 2018). Afin de corriger l'évolution de la consommation des produits animaux de l'effet de la variation de la quantité globale de l'alimentation au domicile, les indicateurs nutritionnels

ramènent les quantités à la ration standard de 2 000 kcal. On mesure ainsi la contribution des produits animaux à la ration calorique, indépendamment de la variation en quantité de cette ration.

D'une manière générale, depuis les années 2000 on assiste à la forte érosion de nombreux produits et à l'essor de nouvelles catégories. Au niveau des produits animaux, les évolutions sont synthétisées dans la figure 1 présentant les quantités achetées par tête par grand groupe de produits (exprimées en g pour 2 000 kcal achetées) : viande, poisson, œufs (A) ; charcuterie, plats préparés (B) ; lait (C) ; yaourts, fromage, desserts lactés (D) ; beurre, crème et margarine (E).

#### • Viandes

La principale contribution aux achats provient des viandes fraîches. Globalement, celles-ci ont fortement décru depuis 40 ans (de 106,8 à 76,4 g/2 000 kcal) (figure 1-A). Inversement, l'augmentation des achats de charcuterie (20,0-22,9 g/2 000 kcal) et l'apparition des plats préparés (0,5-47,3 g/2 000 kcal entre 1973 et 2010) sont observées (figure 1-B).

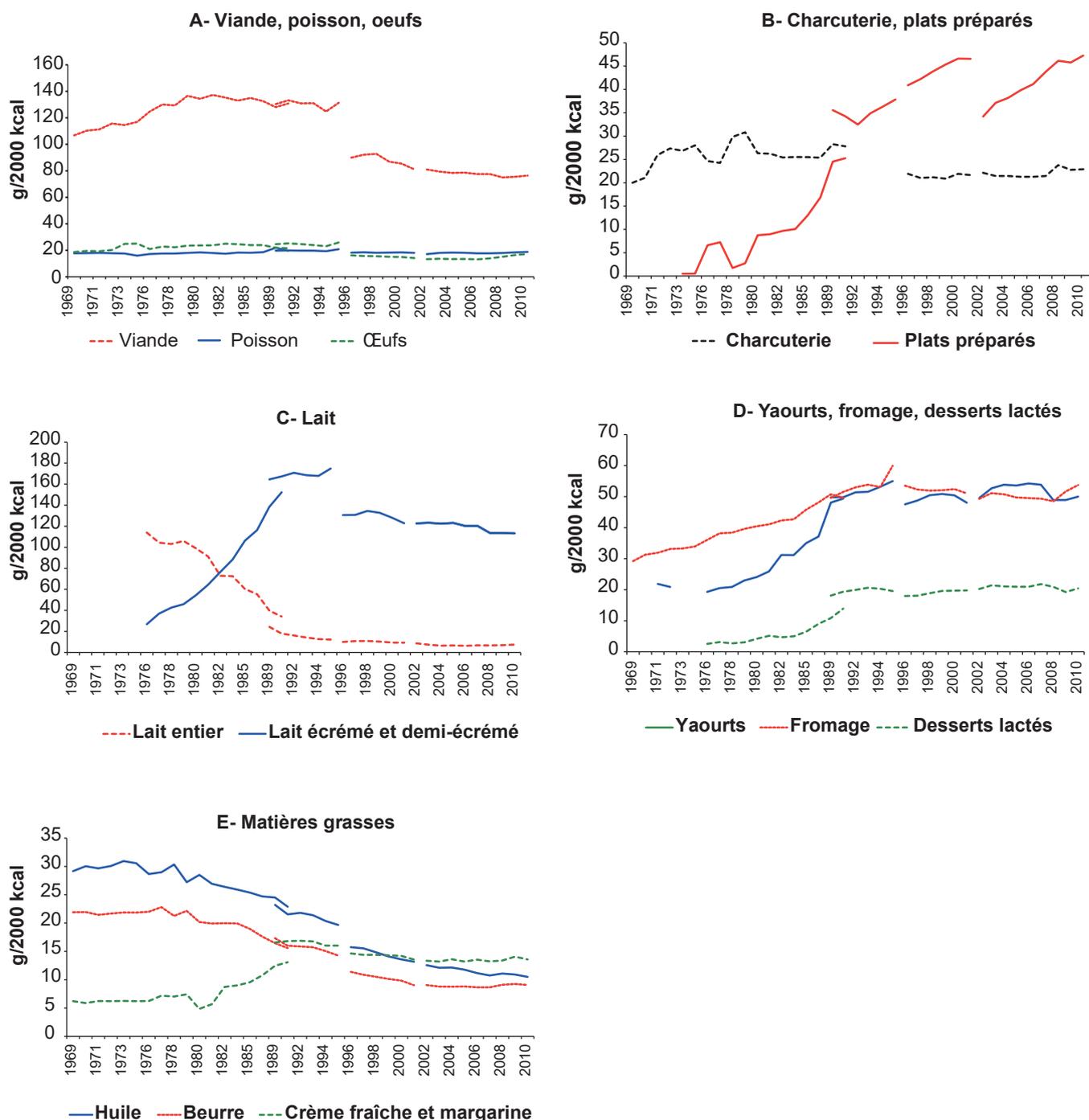
#### • Produits laitiers

Globalement on constate une croissance de cette catégorie sur la période. Relevées seulement à partir de 1976, les quantités achetées de lait entier ont très fortement décru (114,0-7,5 g/2 000 kcal), alors que celles de lait demi-écrémé et de lait écrémé ont augmenté (26,8-113,2 g/2 000 kcal) (figure 1-C). Tous les autres produits laitiers ont progressé. Les achats de fromage, et en particulier ceux de yaourts, ont progressé (29,2-53,7 g/2 000 kcal et 19,3-50,0 g/2 000 kcal, respectivement) (figure 1-D).

#### • Graisses animales

Dans un contexte global de diminution des achats de graisses (végétales et animales) depuis 1969, le beurre a fortement diminué (21,9-9,1 g/2 000 kcal), alors que pour la crème et la margarine la tendance est croissante (6,2-13,6 g/2 000 kcal) (figure 1-E).

**Figure 1.** Évolution des achats de produits animaux 1969-2010 (en g/2 000 kcal) (Sources : Enquêtes de consommation alimentaire de 1969 à 1991 et Kantar « Worldpanel » de 1989 à 2010 incluant des changements de méthodologies).



Chaque graphique utilise les deux sources de données. Chaque source de données et changement de méthodologie sont restés identifiables, d'où la représentation de plusieurs segments pour chaque groupe d'aliments considéré (pour les aspects techniques de convergence des séries, se reporter à Létouille *et al.*, 2014).

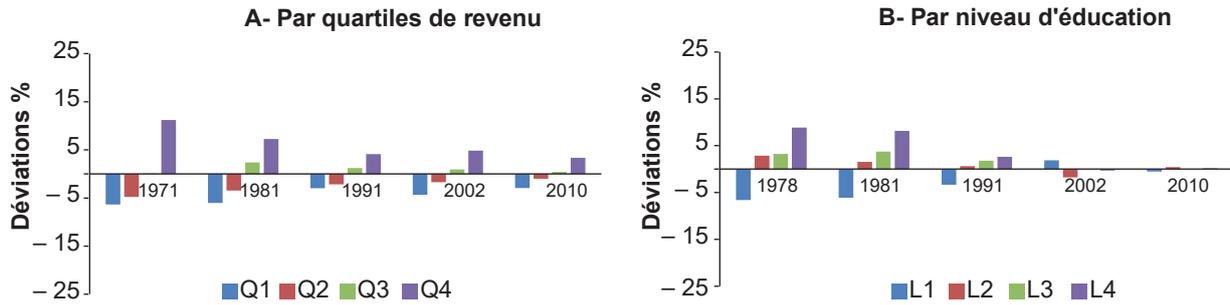
Ainsi on observe un transfert des aliments entre produits bruts et transformés, qui est une tendance de fond visible sur l'ensemble de l'alimentation française (Caillavet *et al.*, 2018) ainsi que dans les études concernant d'autres pays (sur le Canada Moubarac *et al.*, 2014) ; (sur le Brésil Monteiro *et al.*, 2013) ; (sur la Suède Juul et

Hemmingsson, 2015). Cette tendance se traduit, en ce qui concerne les produits animaux, par des mouvements de substitution à l'intérieur de ces catégories (viandes fraîches vs charcuterie et plats préparés ; lait vs yaourts, fromage et desserts lactés), et ce y compris à des niveaux de désagrégation assez fins, comme le lait entier vs laits

moins chargés en graisses. Le lait entier représentait la principale catégorie de lait acheté jusqu'en 1981 puis a été remplacé par les laits écrémé et demi-écrémé (passant de 58,6 % des achats en 1981 à 6,2 % en 2010).

Ces variations importantes dans la structure des achats de produits

**Figure 2.** Déviations par rapport à la moyenne de la contribution des protéines aux apports énergétiques selon le revenu (A) et l'éducation (B).

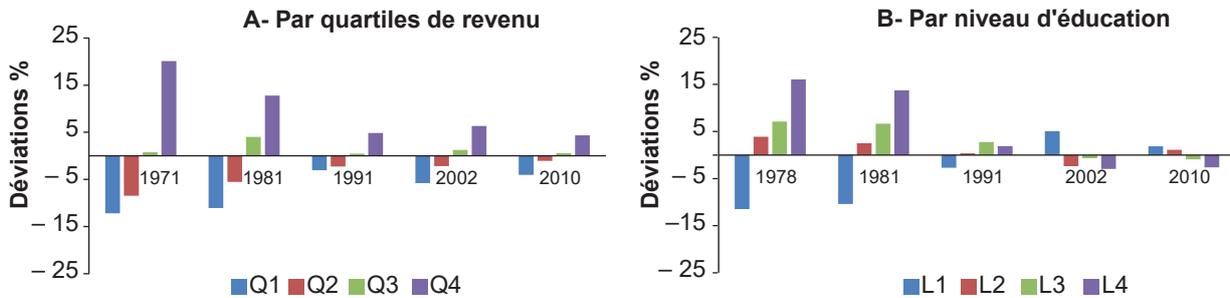


Niveau de revenu : Q1 : 1<sup>er</sup> quartile de revenu familial par unité de consommation, Q2 : 2<sup>e</sup> quartile, Q3 : 3<sup>e</sup> quartile, Q4 : 4<sup>e</sup> quartile.

Niveau d'éducation de la personne de référence du ménage : L1 : niveau primaire (école primaire, certificat d'étude primaire) ; L2 : niveau d'études secondaires (collège, BEPC, BE, BEPS, CEP, CAP, BEP, lycée sans obtention du baccalauréat) ; L3 : niveau BAC (baccalauréat général, technique et professionnel, brevet supérieur, brevet de technicien, brevet de maîtrise) ; L4 : niveau d'étude supérieur au BA.

Exemple de lecture pour le 1<sup>er</sup> quartile de revenu en 1971 : la contribution des protéines aux apports énergétiques du 1<sup>er</sup> quartile de revenu est inférieure à la moyenne de 6 %.

**Figure 3.** Déviations par rapport à la moyenne de la densité nutritionnelle en protéines animales selon le revenu (A) et l'éducation (B). (Voir légende figure 2).



animaux ont affecté les apports en protéines sur la période. La contribution calorique des protéines dans l'alimentation au domicile a crû (passant de 13,6 à 15,7 %). En outre, au sein des protéines, la prédominance des protéines animales s'est renforcée (64,3 % en 1970 ; 67,6 % en 2010), soit un passage de 48 g à 53 g/2 000 kcal.

#### b. Apports en protéines : évolution des disparités socioéconomiques

Pour appréhender les disparités, les déviations à la moyenne des quantités achetées ont été calculées d'une part selon le revenu du ménage, et d'autre part selon le niveau d'éducation de la personne de référence du ménage (Caillavet *et al.*, 2017). Les disparités entre niveaux de revenu ou entre niveaux d'éducation sont ainsi observées sans prendre en compte les interactions entre ces 2 variables. L'évolution de long terme est appréhendée par les indicateurs suivants sur

4 décennies : la contribution des protéines à la ration calorique (figure 2) et la densité nutritionnelle en protéines animales (figure 3), soit la teneur en nutriments ramenée à la ration standard de 2 000 kcal/jour.

##### • Selon le revenu (1971-2010)

On trouve des disparités importantes selon le *revenu*. Il s'agit ici du revenu du ménage, corrigé par unité de consommation, pour permettre la comparaison entre ménages de composition familiale différente. Ces disparités concernent les apports en protéines, mais plus encore les apports en protéines animales. En 1971, les ménages les plus riches (quartile de revenu le plus élevé) sont au-dessus de la moyenne en ce qui concerne la contribution des protéines totales (+ 11,2 %) mais cet écart est encore supérieur pour les protéines animales (+ 20,1 %), alors que les ménages les plus pauvres (quartile de revenu le plus faible) sont au-dessous de la moyenne

pour la contribution des protéines (- 6,3 %) comme pour les protéines animales (- 12,2 %) (figure 2-A et figure 3-A).

Ces disparités s'amenuisent avec le temps, notamment pour les protéines totales (+ 3,3 % et - 2,9 %), mais on constate qu'elles demeurent pour les protéines animales en 2010 supérieures à la moyenne pour le quartile de revenu le plus élevé (+ 4,4 %) et inférieures à la moyenne pour le quartile de revenu le plus faible (- 4,1 %).

##### • Selon l'éducation (1978-2010)

Cette variable n'est disponible dans les séries qu'à partir de 1978. Il s'agit du niveau d'éducation de la personne de référence du ménage, découpé en plusieurs tranches : niveau primaire (école primaire, certificat d'études primaires) ; niveau d'études secondaires (collège, BEPC, BE, BEPS, CEP, CAP, BEP, lycée sans obtention du baccalauréat) ; niveau BAC (baccalauréat général, technique

et professionnel, brevet supérieur, brevet de technicien, brevet de maîtrise) ; niveau d'études supérieur au BAC.

Les disparités observées en 1978 vont dans le même sens que selon la variable de revenu, avec une amplitude plus grande. Les ménages dans lequel le chef de famille est plus éduqué ont une contribution des protéines totales supérieure à la moyenne (+ 8,8 %) mais l'écart est plus marqué (+ 16,1 %) pour la densité nutritionnelle en protéines animales, alors que les ménages dans lequel le chef de famille est le moins éduqué sont en-dessous de la moyenne pour les protéines (- 6,6 %) et pour les protéines animales (- 11,5 %). (figure 2-B et figure 3-B). Cependant l'évolution temporelle se distingue complètement de celle selon le revenu, car on observe la disparition des écarts concernant les protéines, et on décèle même un renversement de tendance pour les protéines animales dans les séries récentes à partir de 2002 avec un écart inférieur à la moyenne pour les plus éduqués (- 2,9 %) et en 2010 (- 2,6 %), alors que pour les moins éduqués, on observe respectivement + 5,1 % et + 1,9 % par-rapport à la moyenne.

Les produits animaux ont été une source de différenciation sociale forte comme le montrent les écarts par niveau de revenu ou d'éducation. On assiste cependant à une certaine convergence des comportements de consommation au début du XXI<sup>e</sup> siècle. Ce résultat préfigure bien l'inversion de tendance qui s'exprime à l'heure actuelle par la moindre consommation des catégories les plus éduquées pour certains types de produits carnés.

## 2. Réorienter la consommation de produits animaux et les sources de protéines : perspectives

Les chiffres actuels montrent l'importance des produits animaux dans la consommation et l'évolution des apports en protéines sur les dernières décennies attestent la croissance continue des protéines animales. Cette

évolution n'est favorable ni sur le plan nutritionnel au-delà d'un certain seuil, ni sur le plan environnemental. D'où la nécessité de modifier les comportements des consommateurs face à l'importance des enjeux. Outre l'éducation et la diffusion des recommandations nutritionnelles et environnementales, les recherches technologiques et la science des aliments s'orientent vers le développement de produits alimentaires avec des protéines de substitution. Enfin, les mesures budgétaires sont un moyen parmi d'autres pour privilégier des options durables. À l'instar d'autres secteurs, la réallocation du budget vers des régimes alimentaires plus vertueux peut être favorisée par des taxes carbone<sup>4</sup>. Le renchérissement du coût de certains produits peut constituer un signal et une incitation pour les consommateurs, en modifiant les prix relatifs des différents biens.

Dans ce but, de nombreuses études scientifiques simulent l'impact de taxes sur l'alimentation pour répondre en particulier aux objectifs de consommation prônés par les recommandations nutritionnelles et/ou environnementales. Certains produits animaux sont particulièrement concernés par l'application d'une taxe carbone, visant à incorporer le coût environnemental de l'alimentation, dans la mesure où ils sont plus émetteurs de gaz à effet de serre que la moyenne (par exemple Wirsenius *et al.*, 2011 ; Briggs *et al.*, 2013 ; Sall et Gren, 2015 ; Caillavet *et al.*, 2016 ; Chalmers *et al.*, 2016 ; Bonnet *et al.*, 2018 ; Caillavet *et al.*, 2019). Ces travaux montrent des effets positifs de réduction des émissions environnementales. En revanche, la compatibilité avec les objectifs nutritionnels n'est pas toujours appréhendée ou obtenue. En effet, les produits carnés apportent aussi des nutriments intéressants (Tomé, 2009). Enfin, une hausse de prix affecte le budget alimentaire et ce, de manière

plus forte pour les ménages les plus pauvres, puisque ceux-ci consacrent une part supérieure de leurs dépenses à l'alimentation. En outre, ils peuvent se montrer plus sensibles aux variations de prix (Green *et al.*, 2013). Les effets négatifs de telles mesures sur le bien-être de ces consommateurs doivent donc être pris en compte.

Pour éclairer les interrelations entre ces différentes dimensions et la complexité des arbitrages, nous présentons ici une simulation de l'impact de hausses de prix sur différents groupes de produits animaux en utilisant des données françaises. Les conséquences sont estimées dans les trois domaines qui fondent la durabilité. L'environnement est appréhendé par les pollutions de l'air et de l'eau, la santé par l'adéquation aux recommandations nutritionnelles, le bien-être par la variation du pouvoir d'achat. En outre, les calculs sont menés pour différents niveaux de revenu familial et classes d'âge du chef de ménage. On sait en effet que l'incidence des pathologies liées à la nutrition est supérieure chez les populations plus défavorisées (Mackenbach *et al.*, 2008).

### ■ 2.1. Recommandations nutritionnelles et environnementales sur les produits animaux et les sources de protéines

La prise de conscience des instances publiques en France de ces grands enjeux s'est traduite par la diffusion d'objectifs pour la consommation, en particulier pour les produits animaux.

Les recommandations nutritionnelles font partie des politiques publiques depuis plusieurs décennies. Le Plan National Nutrition-Santé (PNNS), émanant du Ministère de la Santé et en vigueur depuis 2000, établit des objectifs chiffrés de consommation par grand groupe d'aliments. Ces repères sont les supports des messages qui sont déclinés dans différents supports de communication.

Il faut souligner que la dernière édition de ce programme comporte une révision à la baisse des objectifs de consommation de produits animaux.

4 L'approche méthodologique présentée dans cet article se différencie des modèles d'équilibre général, développés notamment dans le secteur de l'énergie. Ceux-ci considèrent les interactions entre les différents secteurs en amont ainsi que les échanges internationaux mais ne peuvent tenir compte des effets individuels sur les ménages des politiques (Dumont *et al.*, 2016).

**Tableau 3.** Repères nutritionnels du PNNS, 2017 pour les produits d'origine animale et les sources de protéines (Source : HCSP, 2017).

Groupe alimentaire	Repère principal	Données complémentaires
Produits laitiers : Lait, yaourts, fromages et produits laitiers présents dans les produits cuisinés	Deux produits laitiers par jour	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les tailles de portion recommandées sont : 150 mL de lait, 125 g de yaourt, 30 g de fromage.</li> <li>– Le nombre de produits laitiers pourra s'élever à trois par jour lorsque les tailles de portions sont plus faibles</li> <li>– Privilégier les fromages les plus riches en calcium et les moins gras</li> <li>– Compte tenu des risques liés aux contaminants, veiller à varier les produits laitiers</li> </ul>
Viande et volaille	Limiter la consommation de viande « rouge »* et privilégier la consommation de volaille	Pour les amateurs de viande « rouge »*, limiter la consommation à 500 g/semaine maximum
Poisson et fruits de mer	Deux fois par semaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dont un poisson gras</li> <li>– Varier les espèces et les lieux d'approvisionnement (en particulier pour les grands consommateurs), afin de limiter l'exposition aux contaminants</li> </ul>
Charcuterie	Limiter la consommation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pour les amateurs, ne pas dépasser 150 g/semaine</li> <li>– Au sein de ce groupe, privilégier le jambon blanc</li> </ul>
Matières grasses ajoutées	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Éviter les consommations excessives.</li> <li>– Privilégier les huiles de colza et de noix (riches en acide alpha-linolénique) et l'huile d'olive sans augmenter la quantité habituelle de matières grasses ajoutées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Par rapport aux huiles pauvres en ALA (dont les huiles de tournesol, arachide)</li> <li>– Les matières grasses animales sont à réserver à un usage cru ou tartinable et en quantité limitée</li> </ul>
Légumineuses	Au moins deux fois par semaine	Les légumineuses peuvent être considérées comme des substituts des viandes et volailles

\* boeuf, porc, veau, mouton, chèvre, cheval, sanglier, biche.

En effet le plan en cours (PNNS, 2017) (HCSP, 2017) inscrit dans ses choix d'« apporter une vigilance particulière à la convergence entre les dimensions nutritionnelles et environnementales de l'alimentation lors de l'établissement définitif des repères de consommation ». Pour les produits animaux et les légumineuses sources de protéines végétales, il s'agit des repères présentés dans le **tableau 3**. Pour la première fois par-rapport aux plans précédents apparaît une limitation pour la viande : un seuil maximal de 500 g/semaine par personne pour la viande hors volaille, et de 150 g/semaine pour la charcuterie. Par rapport aux standards internationaux, ces objectifs sont très en deçà de la limite fixée dès 2007 par le Fonds Mondial

de Recherche sur le Cancer à 300 g/semaine par personne (poids cuit). Cela concerne les viandes de bœuf, mouton, chèvre, cheval.

Par ailleurs, le PNNS recommande désormais la consommation de deux produits laitiers par jour (vs trois dans les PNNS précédents). Enfin, il introduit pour la première fois un objectif de consommation de légumineuses sources de protéines végétales (au moins deux portions par semaine, soit 200 g).

Dans une optique *environnementale*, le Ministère de l'Environnement a fixé un objectif de réduction de la consommation de viande de 10 % à l'horizon

2030 (ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), 2014).

## ■ 2.2. Le poids environnemental et nutritionnel des achats de produits animaux

Les quantités achetées issues des panels Kantar sont converties en équivalents nutritionnels par le biais de tables de conversion CIQUAL, et en potentiel d'émissions. Les achats des ménages ont ainsi pu être exprimés en poids selon divers indicateurs.

L'impact environnemental a été évalué selon 3 critères – émissions de GES

**Tableau 4. Part représentée par les produits animaux dans l'alimentation à domicile : budget, indicateurs environnementaux et nutritionnels (Les dessert pouvant contenir des protéines animales ne sont pas inclus) (Source : Kantar, 1998-2010 ; Caillavet et al., 2016).**

Catégories	Part Budgétaire	CO <sub>2</sub> eq	SO <sub>2</sub> eq	Neq	Calories	Protéines	Protéines animales
Bœuf	8,7 %	21,6 %	39,2 %	16,0 %	3,3 %	13,5 %	16,9 %
Autres viandes fraîches	5,9 %	5,2 %	9,8 %	10,9 %	3,6 %	11,8 %	15,5 %
Charcuteries	4,7 %	4,5 %	7,3 %	8,4 %	2,5 %	5,9 %	7,6 %
Graisses d'origine animales	2,7 %	6,3 %	9,9 %	4,1 %	7,1 %	1,0 %	1,4 %
Fromage	7,9 %	0,8 %	1,2 %	0,4 %	7,9 %	15,6 %	19,6 %
Yaourt, autres produits laitiers	6,2 %	0,2 %	0,2 %	0,1 %	8,5 %	16,9 %	22,1 %
Poissons et produits de la mer	5,6 %	2,0 %	0,9 %	0,6 %	1,2 %	6,5 %	8,6 %
<b>Total produits animaux</b>	<b>41,7 %</b>	<b>40,6 %</b>	<b>68,5 %</b>	<b>40,5 %</b>	<b>34,1 %</b>	<b>71,3 %</b>	<b>91,7 %</b>

et changement climatique (CO<sub>2</sub>eq), acidification de l'air (SO<sub>2</sub>eq) et eutrophisation (eqN). Les évaluations sont fondées sur une analyse de cycle de vie (Greenext, avec la méthodologie de Goedkoop *et al.*, 2008)<sup>5</sup>.

Le contenu en caractéristiques nutritionnelles comprend notamment l'énergie (calories), les protéines animales, et un score d'adéquation à la recommandation nutritionnelle : le MAR (« *Mean Adequacy Ratio* »). Ce dernier indicateur est calculé pour une consommation normalisée de 2 000 kcal/jour, en utilisant 18 nutriments<sup>6</sup>, la valeur théorique de 100 % illustre une alimentation de haute qualité. Il est associé positivement à d'autres indices de qualité alimentaire et à des indicateurs de santé (Madden *et al.*, 1976).

5 Ces données permettent de prendre en compte les différents stades de production dans l'évaluation de l'impact environnemental des aliments, afin d'évaluer les émissions « de la fourche à la fourchette ». Les données d'Agribalyse ne couvrent pas encore la partie « consommation » et s'arrêtent à la sortie de ferme, ne permettant pas de couvrir l'intégralité des aliments.

6 Les nutriments pris en compte dans le calcul du MAR sont les suivants : protéines, fibres, rétinol, beta-carotène, vitamine B1, vitamine B2, vitamine B3, vitamine B5, vitamine B6, vitamine B9, vitamine B12, vitamine C, vitamine D, vitamine E, calcium, potassium, fer et magnésium.

En termes de dépenses pour l'alimentation au domicile, les produits animaux représentent une part budgétaire de 41,7 % pour 34,1 % des calories et 71,3 % des protéines. Le poids dans les émissions de GES et dans l'eutrophisation est proche (respectivement 40,6 et 40,5 %). En revanche la contribution des produits animaux à l'acidification atteint 68,5 % (tableau 4).

### ■ 2.3. Effet d'une hausse des prix des produits animaux

Sous les hypothèses de la micro-économétrie de la demande (voir Deaton, 2016 pour une récente revue de cette littérature), un système de demande prenant en compte l'ensemble des achats pour l'alimentation au domicile est modélisé (Caillavet *et al.*, 2016). Cette méthode permet de simuler les effets d'une variation de prix sur certains produits en tenant compte d'éventuels reports de consommation entre groupes, et notamment entre produits animaux et produits végétaux (Caillavet *et al.*, 2016, 2019).

Plusieurs scénarios sont étudiés, faisant varier le principe de taxation selon que le taux de taxe est proportionnel ou non aux émissions de GES, ainsi que le périmètre des produits visés par la taxe.

Les scénarios sont évalués au regard de la compatibilité des résultats environnementaux (réduction des émissions), nutritionnels (amélioration ou absence de dégradation de la qualité de l'alimentation globale) et de l'incidence sur le pouvoir d'achat et sur les inégalités sociales.

Une première approche simule une augmentation de 20 % du prix des aliments à base de produits animaux (scénarios 1A et 1B). Cette valeur, issue de la littérature nutritionnelle, a été montrée comme nécessaire pour obtenir des effets favorables sur la santé (Mytton *et al.*, 2012).

Le scénario 1A privilégie les aspects environnementaux de la durabilité des aliments. Ainsi tous les produits à base de produits animaux sont concernés. L'augmentation concerne les viandes, les poissons, les graisses animales, les fromages et autres produits laitiers ainsi que les plats préparés.

Le scénario 1B tient également compte des aspects nutritionnels de ces produits et l'augmentation exclut poissons et les produits laitiers autres que les fromages, plus vertueux en termes nutritionnels, en particulier en ce qui concerne leur teneur en matières grasses.

Une deuxième approche simule les effets d'une taxe carbone sur l'alimentation (scénarios 2A et 2B), i.e. des taux de taxation proportionnels aux émissions de GES (en CO<sub>2</sub>eq), Caillavet *et al.*, 2019. Le taux de taxe est obtenu sur la base des émissions de chaque catégorie de produits, et le coût du carbone retenu. Dans le cas français, il a été évalué par le rapport Quinet (2009) pour répondre aux objectifs de neutralité carbone à l'horizon 2050 fixés par la Communauté Européenne. Deux scénarios visant les aliments sources de protéines comme levier d'action sont concernés : l'un de taxation pure, l'autre de taxation/subvention dans une optique de neutralité budgétaire du point de vue de l'État. Pour chacun de ces scénarios, on utilise deux coûts carbone (56 et 140 euros/tCO<sub>2</sub>eq) correspondant à des horizons temporels différents de réduction des GES. Les résultats d'une taxe de 140€/t eqCO<sub>2</sub> sont présentés dans la section suivante.

Le *scénario 2A* vise les mêmes catégories que le scénario 1A (viande de bœuf, autres viandes, charcuterie, fromage<sup>7</sup>). Les taux de taxation varient entre 19,4 % pour la viande de bœuf et 10,7 % pour le fromage avec un coût carbone de 140 euros/t.

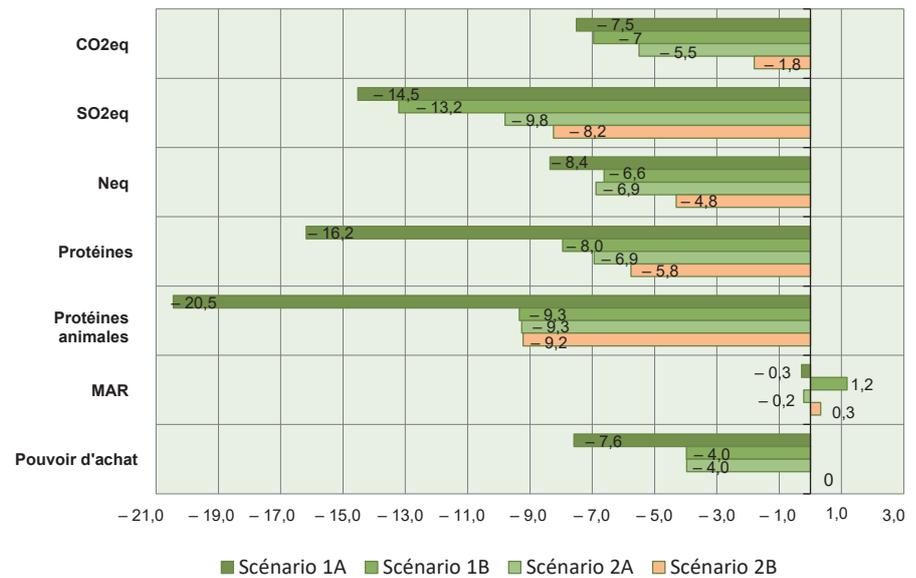
Le *scénario 2B* redistribue le revenu généré par la taxation du scénario 2A par des subventions visant deux catégories de produits riches en protéines végétales. Ce choix est motivé par une double optique, nutritionnelle (compensation protéinique) et de bien-être du consommateur (compensation budgétaire). Cela induit une subvention de 14,9 % pour les fruits et légumes frais et 4,5 % pour les féculents (respectivement 15,3 % et 28,9 % des apports en protéines végétales).

## ■ 2.4. Résultats : impacts environnementaux, nutritionnels et distributionnels

Les résultats mettent en évidence que, d'une manière générale, les consommateurs sont sensibles aux

<sup>7</sup> Le scénario 2A, contrairement au scénario 1A, ne concerne pas les plats préparés.

**Figure 4.** Impact de la hausse des prix des produits par scénario sur les indicateurs environnementaux, nutritionnels et le coût de l'alimentation (en % de variation par rapport à la situation initiale).



variations de prix des produits d'origine animale, et une augmentation de prix les inciterait à limiter la consommation de ces produits. Ces modifications des achats alimentaires influencent le niveau des émissions de GES mais aussi la teneur de l'alimentation en nutriments essentiels. L'adéquation aux recommandations nutritionnelles a été évaluée en fonction de la proximité ou de l'éloignement des comportements par rapport aux recommandations du PNNS pour juger des variations concomitantes de la qualité nutritionnelle. Les variations de la dépense alimentaire des ménages sont également mesurées.

Lorsque les prix de tous les produits à base de produits animaux enregistrent une hausse de 20 % (scénario 1A), on observe une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 7,5 %, soit 99 kg équivalent CO<sub>2</sub> / an et par ménage (figure 4). Cette valeur est proche des émissions produites par un trajet de 700 km avec une berline de cylindrée moyenne. Les indicateurs relatifs à l'acidification de l'air (- 14,5 % pour SO<sub>2</sub>) et à l'eutrophisation (- 8,4 % pour N) diminuent également. Cependant, le score nutritionnel MAR s'en trouve dégradé. Lorsque les poissons et les produits laitiers autres que le fromage sont exclus de cette hausse des prix (scénario 1B), on constate,

au contraire, que la qualité de l'alimentation s'améliore via le MAR tandis que l'impact environnemental des produits animaux est toujours à la baisse (- 7,0 % pour CO<sub>2</sub>, - 13,2 % pour SO<sub>2</sub> et - 6,6 % pour N).

Avec une *taxe carbone sur l'alimentation proportionnelle aux émissions* (scénarios 2A et 2B), logiquement, nous confirmons les tendances des scénarios 1A et 1B. Néanmoins nous trouvons des effets moindres sur les réductions des émissions si la taxe porte uniquement sur les produits d'origine animale les plus émetteurs de GES (- 5,5 %, scénario 2A).

Si dans tous les scénarios l'alimentation pollue moins, dans deux situations la qualité nutritionnelle est dégradée (1A et 1B) mais peut être améliorée en excluant de la taxation les produits animaux les plus intéressants sur le plan nutritionnel (1B), ou en subventionnant les produits sources de protéines végétales (2B).

L'impact sur le *pouvoir d'achat* dépend notamment du nombre de catégories visées par la taxe. Au sein des scénarios de taxation à taux fixe, le scénario 1B limite la perte dans le budget alimentation à 4 %, soit l'équivalent de 61 euros/an et par ménage. C'est aussi l'ordre de grandeur de la

taxe proportionnelle aux émissions (2A). Les résultats de nos simulations peuvent être mis en perspective avec une autre étude de simulation sur données françaises avec une approche méthodologique différente. Dans Bonnet *et al.* (2018), la compatibilité environnement/nutrition est évaluée positivement à travers les réductions d'émissions et les variations de quelques nutriments comme la diminution du cholestérol, et la perte de bien-être du consommateur est confirmée.

Enfin, les effets sur les inégalités peuvent être appréhendés à travers les effets d'âge et de revenu (scénarios 1A et 1B) et dans le scénario de taxation/subvention (2B).

Les effets d'âge et de revenu ont été étudiés dans le scénario à taux fixe (tableau 5).

Les mêmes indicateurs ont été calculés selon 4 classes de revenu et 4 classes d'âge de la personne de référence (Caillavet *et al.*, 2016). Le tableau 5 présente les résultats de la classe la plus riche (Aisés) et de la plus pauvre (Modestes) pour les deux classes d'âge intermédiaires, les 31-45 et 46-60 ans, correspondant à l'essentiel de la population active. En ce qui concerne les effets d'âge, on observe pour les deux classes de revenu les mêmes tendances à la moindre réduction des émissions et à un gain supérieur de qualité nutritionnelle avec l'âge, accompagné d'une plus forte réduction des protéines animales. Ces résultats confirment les disparités de comportements alimentaires constatées dans l'étude INCA3.

En ce qui concerne les effets de revenu, on observe que la taxe à taux fixe est régressive dans la mesure où elle montre que cette taxe induit des pertes en pouvoir d'achat alimentaire plus élevées pour les ménages à faible revenu, en particulier ceux dont la personne de référence est âgée de 31 à 45 ans. On notera que la diminution des protéines animales est plus faible chez les ménages modestes. Ainsi les scénarios à taux fixes ne permettent pas d'obtenir une réelle réduction des

**Tableau 5. Effets d'une hausse de prix de 20 % dans différentes classes de revenu et d'âge dans le scénario 1B (en %).**

Effets	Classes de revenu*			
	Modestes		Aisés	
	31-45 ans	46-60 ans	31-45 ans	46-60 ans
CO <sub>2</sub>	- 7,41	- 6,74	- 7,05	- 6,59
SO <sub>2</sub>	- 13,54	- 12,98	- 13,40	- 12,74
N	- 6,85	- 6,30	- 6,87	- 6,41
« Mean Adequacy Ratio »	+ 1,12	+ 1,14	+ 1,10	+ 1,12
Protéines	- 7,30	- 7,79	- 8,23	- 8,79
Protéines animales	- 8,36	- 9,16	- 9,70	- 10,47
Pouvoir d'achat alimentaire	- 2,76	- 2,03	- 1,65	- 1,88

\*Les classes de revenu sont définies par Kantar selon des critères de revenu et de composition familiale (Caillavet *et al.*, 2016, Kantar « Worldpanel »).

inégalités nutritionnelles entre les ménages. Dans le cas des scénarios à taxation proportionnelle, ce n'est pas non plus le cas. Calculés à partir d'effets individuels, les résultats montrent que l'incidence de la taxation (en % par rapport au revenu) est plus forte pour les ménages les plus pauvres. Plus inattendu, si la subvention (scénario 2B) n'influence pas le budget alimentaire des ménages en moyenne, ce scénario met pourtant en évidence des effets indésirables pour les ménages les plus modestes avec une augmentation de la part de la dépense alimentaire par rapport à leur revenu, alors que cette part diminue pour les ménages les plus aisés. Ainsi, ce type d'instrument ne permet pas de neutraliser les effets régressifs d'une politique fiscale à revenu neutre sur l'alimentation. Cela suggère d'accompagner cette politique publique de mesures. Concrètement, des mesures ciblant les ménages défavorisés, par exemple par la distribution de coupons concernant les aliments sources de protéines végétales iraient dans le bon sens.

Au vu des enjeux actuels, l'incorporation des coûts environnementaux des aliments paraît un signal incontournable, et concerne les produits ani-

maux en première ligne. Cependant, il est important de souligner que la réorganisation du budget alimentaire utilisant la taxation différenciée des aliments sources de protéines (subvention sur les aliments sources de protéines végétales vs taxes sur les aliments sources de protéines animales), est favorable pour la compatibilité environnement/nutrition, peut être menée à coût constant pour l'État, mais pénalise une partie des ménages. De ce fait, elle ne peut être conçue sans un rééquilibrage du budget pour les ménages défavorisés par des mesures ciblées, telles que des coupons fruits et légumes et légumineuses par exemple. Par ailleurs, elle doit être soutenue par des politiques d'information utilisant prioritairement l'éducation nutritionnelle à l'école, dès le processus de formation des préférences des consommateurs et dans un cadre non stigmatisant.

Les études simulant différentes politiques fiscales impactant directement les consommateurs supposent des structures de consommation et d'offre données. Or, les politiques d'offre, telles que la reformulation des produits, ont un rôle à jouer, dont les enjeux sont présentés en particulier

dans Réquillart et Soler (2014). Par ailleurs, dans les évaluations françaises, l'alimentation hors domicile n'est pas prise en compte, ce qui entraîne une sous-estimation des effets et suggère que nos résultats représentent une borne inférieure des effets des politiques fiscales simulées. Enfin, les évaluations par analyse de cycle de vie de la consommation alimentaire sont en cours d'amélioration (ADEME, EcolInvent) et laissent entrevoir des gains de précision dans les travaux futurs.

## Conclusion

La consommation de produits animaux en France est désormais au cœur des enjeux de la durabilité, après avoir suivi lors des décennies passées une trajectoire croissante. Désormais dans un contexte de saturation des besoins en protéines, et en particulier de source animale, les ménages sont

amenés à réorienter leurs modes de consommation, comme les invitent les recommandations nutritionnelles et environnementales.

En particulier, les objectifs de durabilité peuvent inciter les gouvernements à susciter un changement d'environnement économique, en incorporant les externalités environnementales des produits animaux. La simulation de hausses de prix montre que de tels scénarios peuvent avoir des effets favorables au-delà de la réduction des émissions. Certes, la prise en compte des dimensions environnementales, nutritionnelles et sociales de la durabilité appelle à de nécessaires compromis, entre bénéfices environnementaux et qualité nutritionnelle, au prix d'un coût supplémentaire pour le consommateur. D'une manière générale, une politique fiscale permettrait d'atteindre simultanément des objectifs d'amélioration de l'environnement et de la nutrition, et constituerait un

signal fort à l'attention des consommateurs pour les inciter à modifier leur régime alimentaire.

Cependant, en explorant sa dimension socioéconomique par une analyse détaillée en fonction du revenu et de l'âge, on montre les limites de telles politiques en termes d'équité sociale. Dans cette perspective, il paraît incontournable de compléter ces scénarios de taxation environnementale et nutritionnelle par des subventions ciblées à même de compenser la perte du pouvoir d'achat pour les ménages les plus pauvres, notamment en utilisant les recettes de la taxe. Par ailleurs, l'importance des enjeux incite à faire appel à un ensemble plus large de mesures, et l'impact de l'information, au vu des tendances favorables déjà enregistrées auprès des catégories les plus éduquées, ne saurait être négligé. Autant de réflexions à même d'éclairer les décideurs publics en matière d'alimentation durable.

## Références

- ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), 2014. Alléger l'empreinte environnementale de la consommation des Français en 2030. Vers une évolution profonde des modes de production et de consommation. <http://www.ademe.fr/alléger-lempreinte-environnementale-consommation-francais-2030-synthese>
- Aiking H., 2014. Protein production: planet, profit, plus people? *Am. J. Clin. Nutr.*, 100, 483S-489S.
- ANSES, 2017. INCA3 : Évolution des habitudes et modes de consommation, de nouveaux enjeux en matière de sécurité sanitaire et de nutrition. <https://www.anses.fr/fr/content/inca-3-evolution-des-habitudes-et-modes-de-consommation-de-nouveaux-enjeux-en-mati%C3%A8re-de>
- Bonnet C., Bouamra-Mechemache Z., Corre T., 2018. An environmental tax towards more sustainable food: empirical evidence of the consumption of animal products in France. *Ecol. Econ.*, 147, 48-61.
- Briggs A.D.M., Kehlbacher A., Tiffin R., Garnett T., Rayner M., Scarborough P., 2013. Assessing the impact on chronic disease of incorporating the societal cost of greenhouse gases into the price of food: an econometric and comparative risk assessment modelling study. *BMJ open*, 3: e003543.
- Caillavet F., Fadhuile A., Nichèle V., 2016. Taxing animal-based foods for sustainability: environmental, nutritional and social perspectives in France. *Eur. Rev. Agric. Econ.*, 43, 537-560.
- Caillavet F., Darmon N., Léoile F., Nichèle V., 2017. Socioeconomic disparities and nutritional quality of food purchases in France: 1971-2010. Poster IUNS 21st ICN, Buenos Aires, Argentine, 15-20 october 2017.
- Caillavet F., Darmon N., Léoile F., Nichèle V., 2018. Is nutritional quality of food-at-home purchases improving? 1969-2010: 40 years of household consumption surveys in France. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 72, 220-227.
- Caillavet F., Fadhuile A., Nichèle V., 2019. Assessing the distributional effects of carbon taxes on food: Inequalities and nutritional insights. *Ecol. Econ.*, 163, 20-31.
- Chalmers N.G., Revored-Giha C., Shackley S., 2016. Socioeconomic effects of reducing household carbon footprints through meat consumption taxes. *J. Food Products Marketing*, 22, 258-277. <https://doi.org/10.1080/10454446.2015.1048024>
- CIQUAL. Tables de composition nutritionnelle des aliments. <https://ciqual.anses.fr/>
- Combris P., 2003. Cinquante ans de consommation de viande et de produits laitiers. INRA Renc. Rech. Rum., <http://presse.inra.fr/Communiqués-de-presse/Cinquante-ans-de-consommation-de-viande-et-de-produits-laitiers-en-France>
- Commission Européenne, 2007. Limiting global climate change to 2 degrees Celsius. The way ahead for 2020 and beyond. Brussels, 10.1.2007. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0002:FIN:EN:PDF>
- Deaton A., 2016. Measuring and understanding behavior, welfare, and poverty. *American Econ. Rev.*, 106, 1221-1243.
- Dumont B., Dupraz P., Aubin J., Batka M., Beldame D., Boixadera J., Bousquet-Melou A., Benoit M., Bouamra-Mechemache Z., Chatellier V., Corson M., Delaby L., Delfosse C., Donnars C., Dourmad J.Y., Duru M., Edouard N., Fourat E., Frappier L., Friant-Perrot M., Gagné C., Girard A., Guichet J.L., Haddad N., Havlik P., Hercule J., Hostiou N., Huguenin-Elie O., Klumpp K., Langlais A., Lemauiel-Lavenant S., Le Perchec S., Lepiller O., Letort E., Levert F., Martin B., Méda B., Mognard E.L., Mouglin C., Ortiz C., Piet L., Pineau T., Ryschawy J., Sabatier R., Turolla S., Veissier I., Verrier E., Vollet D., van der Werf H., Wilfart A., 2016. Expertise scientifique collective : Rôles, impacts et services issus des élevages en Europe. Rapport Inra, France, 1032p.
- EFSA, 2011. Comprehensive European Food Consumption Database.
- FAO, 2009. How to Feed the World in 2050. Rome, Italy.
- FAO, 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome, Italy.
- Friel S., Dangour A.D., Garnett T., Lock K., Chalabi Z., Butler A., Butler C.D., Waage J., Mc Michael A.J., 2009. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. *The Lancet*, 374, 2016-2025.
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccia A., Tempio G., 2013. Tackling

- climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome, Italy: Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Godfray H.C.J., Aveyard P., Garnett T., Hall J.W., Key T.J., Lorimer J., Pierrehumbert R.T., Scarborough P., Springmann M., Jebb S.A., 2018. Meat consumption, health and the environment. *Science*, 361, 243.
- Goedkoop M., Heijung R., Huijbregt M., De Schryver A., Struijs J., van Zelm R., 2008. Recipe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at midpoint and the endpoint level 1. <http://www.lcia-recipe.net>.
- Green R., Cornelsen L., Dangour A.D., Turner R., Shankar B., Mazzocchi M., Smith R.D., 2013. The effect of rising food prices on food consumption: systematic review with meta-regression. *Br. Med. J.*, 346, f3703.
- Grignon C., 1996. Évolution de la consommation de viande en France depuis 30 ans. In « Devenons-nous végétariens ? Opinions, croyances et consommation ». Rencontres du Bellay, OCHA, 7, 40-43.
- HCSF, 2017. (Haut Conseil de la Santé Publique). Avis relatif à la révision des repères alimentaires pour les adultes du futur PNNS 2017-2021. <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/Accueil>
- I4CE, 2018. Key figures on climate: France, Europe and Worldwide. SDES, Ministry for an ecological and solidary Transition. <https://www.i4ce.org/wp-core/wp-content/uploads/2017/11/Datalab-Climate-EN.pdf>
- IPCC, 2018. Global warming of 1.5. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Juul F., Hemmingsson E., 2015. Trends in consumption of ultra-processed foods and obesity in Sweden between 1960 and 2010. *Publ. Health. Nutr.*, <https://doi.org/10.1017/S1368980015000506>.
- Laisney C., 2013. Les différences sociales en matière d'alimentation. *Agriste n° 64*. Centre d'études et de prospective, MAAF.
- Létoile F., Caillavet F., Darmon N., Nichèle V., 2014. La consommation d'aliments et de nutriments en France. Évolution 1969-2010 et déterminants socioéconomiques des comportements. Document de travail ALISS.
- Mackenbach J.P., Stirbu I., Roskam A.J.R., Schaap M.M., Menvielle G., Leinsalu M., Kunst, A.E., 2008. Socioeconomic inequalities in health in 22 European countries. *New England J. Med.*, 358, 2468-2481.
- Madden J.P., Goodman S.J., Guthrie H.A., 1976. Validity of the 24-hr. recall. Analysis of data obtained from elderly subjects. *J. Am. Diet. Assoc.*, 68, 143-147.
- Masset G., Soler L.G., Vieux F., Darmon N., 2014. Identifying sustainable foods: relationship between environmental impact, nutritional quality and prices of foods representative of the French diet. *J. Academy Nutr. Diet.*, 114, 862-869.
- Monteiro C.A., Moubarac J.C., Cannon G., Ng S.W., Popkin B.M., 2013. Ultra-processed products are becoming dominant in the global food system. *Obes. Rev.*, 14, 21-28.
- Moubarac J.C., Batal M., Martins A.P., Claro R., Levy R.B., Cannon G.B., 2014 Processed and ultra-processed food products: consumption trends in Canada from 1938 to 2011. *Can. J. Diet. Pract. Res.*, 75, 15-21.
- Mytton O.T., Clarke D., Rayner M., 2012. Taxing unhealthy food and drinks to improve health. *Br. Med. J.*, 344, e2931.
- Nichèle V., Andrieu E., Boizot-Szantai C., Caillavet F., Darmon N., 2008. L'évolution des achats alimentaires : 30 ans d'enquêtes auprès des ménages en France. *Cah. Nutr. Diét.*, 43, 123-130.
- PNNS, 2017. Plan National Nutrition Santé 2017-2021. <https://quoidansmonassiette.fr/pnns-2017-2021-revision-des-reperes-nutritionnels-pour-les-adultes/>
- Quinet A., 2009. La valeur tutélaire du carbone. *Rapports et Documents n° 16*. La documentation Française.
- Réquillart V., Soler L.G., 2014. Is the reduction of chronic diseases related to food consumption in the hands of the food industry?, *Eur. Rev. Agricul. Econ.*, 41, 375-403, <https://doi.org/10.1093/erae/jbu010>
- Ripple W.J., Wolf C., Newsome T.M., Galetti M., Alamgir M., Crist E., Mahmoud I.M., Laurance W.F., Coudrain A., Catry T., Durieux L., Meyer J., 2017. World scientists' warning to humanity: A second notice, *BioScience*, Oxford University Press (OUP), 67, 1026-1028.
- Rosner P.M., Hocquette J.F., Peyraud J.L., 2016. Peut-on encore légitimement manger de la viande aujourd'hui ? *Viandes et Produits Carnés*, 32, 2-5.
- Sall S., Gren I.M., 2015. Effects of an environmental tax on meat and dairy consumption in Sweden. *Food Policy*, 55, 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.05.008>
- Sans P., Combris P., 2015. World meat consumption patterns: an overview of the last fifty years (1961-2011). *Meat Sci.*, 109, 106-111.
- Sans P., de Fontguyon G., 2008. Consommation de viande de ruminants en France : une analyse des évolutions à partir de l'enquête « budget des familles » (1995-2005). *Renc. Rech. Rum.*, 15, 235-238. <http://www.journees3r.fr/spip.php?article2668>
- Sans P., Nichèle V., 2015. La dépense des ménages en produits carnés : une analyse à partir des enquêtes « Budget de Famille » (2000-2010). *Renc. Rech. Rum.*, 22. <http://www.journees3r.fr/spip.php?article4029>
- Steinfeld H., Gerber P.J., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C., 2006. *Livestock's long shadow – Environmental issues and options*, FAO, Rome, Italy.
- Tomé D., 2009. Besoins en protéines et en acides aminés et qualité des protéines alimentaires, *Cholédoc*, Centre de recherche et d'information nutritionnelles n° 111, janvier-février.
- Vranken L., Avermaete T., Petalios D., Mathijs E., 2014. Curbing global meat consumption: emerging evidence of a second nutrition transition. *Environ. Sci. Policy*, 39, 95-106.
- World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research, 2007. *Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: A Global Perspective* (517p.). Washington, DC: American Institute for Cancer Research.
- Wellesley L., Harper C., Froggatt A., 2015. Changing climate, changing diets. Chatham House Report.
- WHO, 2009. (World Health Organization). *Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Geneva. 62p. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44203>
- Wirsenius S., Hedenus F., Mohlin K., 2011. Greenhouse gas taxes on animal food products: rationale, tax scheme and climate mitigation effects. *Climatic Change*, 108, 159-184.

## Résumé

La consommation de produits animaux est un enjeu crucial de la sécurité alimentaire mondiale. La consommation élevée de protéines animales en France est désormais au cœur des enjeux de la durabilité, confrontée à des recommandations publiques moins favorables, après avoir suivi lors des décennies passées une trajectoire croissante. Cependant de profonds changements ont eu lieu derrière cette évolution, aussi bien entre grandes catégories d'aliments qu'en leur sein, comme le montre l'analyse des données d'achat sur quatre décennies. Désormais dans un contexte de saturation des besoins en protéines, et en particulier d'origine animale, les ménages sont amenés à réorienter leurs modes de consommation. Des pistes d'incitation sont proposées *via* des simulations de hausses de prix dont on examine les conséquences en termes de durabilité, au niveau de la réduction des émissions environnementales, de la qualité nutritionnelle de l'alimentation, et des inégalités sociales. La combinaison de ces trois dimensions permet d'éclairer le débat sur la mise en place de politiques publiques durables.

## Abstract

---

### ***The evolution of consumption of animal products in France: multiple challenges***

*The consumption of animal products is a crucial issue for global food security. The high consumption of animal proteins in France is now at the heart of sustainability issues, faced with less favourable public recommendations, after having followed an increasing trend over the past decades. Major changes have taken place behind this evolution, both between and within major food categories, as shown by the analysis of purchasing data over 4 decades. Now in a context of saturation of protein needs, and in particular from animal sources, households have to consider re-orientating their consumption patterns. Incentives are proposed via price increase simulations, the consequences of which are examined in terms of sustainability: reduction of environmental emissions, nutritional quality of food, and equity. The compatibility of these three dimensions provides the terms of trade-off for decision-makers.*

CAILLAVET F., FADHUILE A., NICHÈLE V., 2019. L'évolution de la consommation de produits animaux en France : de multiples enjeux. In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 131-146.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2502>

# Quelle place pour les produits animaux dans l'alimentation de demain ?

Didier RÉMOND

Université Clermont Auvergne, INRA, UNH, Unité de Nutrition Humaine, F-63000 Clermont-Ferrand, France

Courriel : [didier.remond@inra.fr](mailto:didier.remond@inra.fr)

■ **Omnivore, flexitarien, végétarien, végétalien ? Sur quelle base choisir notre alimentation ? Les nutritionnistes recommandent de n'exclure aucun aliment, mais de limiter la consommation de certains, dont la viande de boucherie. Par rapport aux services rendus – production nette de protéines consommables par l'Homme, services écosystémiques et socioéconomiques –, l'impact environnemental est-il aussi défavorable qu'on nous le présente dans les médias, pour aller jusqu'à une remise en cause totale des productions animales ?**

## Introduction

Les produits animaux ont pendant longtemps été perçus comme des aliments d'excellence. L'étymologie du mot viande (du latin *vivenda* devenu en latin tardif *vivanda*, « ce qui sert à la vie ») en dit long sur cette perception. Ce mot s'appliquait originellement à toute sorte de nourriture (et l'origine étymologique persiste dans l'expression « les vivres ») puis s'est progressivement spécialisé pour ne plus désigner aujourd'hui que la chair des mammifères et des oiseaux, l'introduction ou l'augmentation de la consommation de viande dans des populations dénutries s'accompagnant généralement d'une amélioration de l'état nutritionnel. Cette image très positive, associée à un essor considérable des productions animales, a participé au développement de déséquilibres alimentaires à l'origine de pathologies, induites directement ou indirectement par une consommation excessive de produits animaux. Depuis plus de 50 ans, les études épidémiologiques ont ainsi attiré l'attention sur un certain nombre de pathologies chroniques potentiellement

associées à la surconsommation de produits animaux, ce qui a commencé à ternir leur image. Cette image s'est ensuite progressivement dégradée au fil des différentes crises sanitaires qui ont secoué les productions animales (encéphalopathie spongiforme bovine, dioxine, grippe aviaire...), de l'émergence de pollutions des sols et de l'eau par une agriculture devenue très intensive, et plus récemment avec une remise en cause éthique des systèmes de production. Bien qu'encore minoritaires, de nombreux modes de consommations « alternatifs » apparaissent ou se développent en réponse à cette perte d'image : flexitarisme, végétarisme, végétalisme, etc. On peut ainsi légitimement s'interroger sur la place qu'occuperont les produits animaux dans l'alimentation de demain. Cette place sera en grande partie déterminée par leur coût et leur disponibilité, mais aussi par l'influence médiatique des mouvements anti-élevage. Pour éclairer le débat, il est nécessaire de revenir sur l'intérêt des produits animaux dans notre alimentation, leur rôle dans la sécurité alimentaire mondiale, et l'équilibre à trouver entre bienfaits nutritionnels et impacts environnementaux.

## 1. Intérêt des produits animaux en nutrition humaine

### ■ 1.1. Spécificités des produits animaux

#### a. La fraction protéique

Bien que les produits animaux regroupent un nombre très important d'aliments, une des caractéristiques majeures de ces produits (au moins en ce qui concerne les matières premières : viande, lait, œuf), est leur teneur élevée en protéines de bonne qualité nutritionnelle.

Les protéines animales bénéficient en effet d'un bon équilibre en acides aminés (cf. § 1.2), ce qui n'est pas toujours le cas des protéines végétales (céréales pauvres en lysine, graines de légumineuses pauvres en méthionine). De plus, la biodisponibilité des acides aminés des protéines animales est généralement supérieure à celle des protéines végétales (en raison d'une digestibilité plus élevée). La présence de produits animaux dans l'alimen-

tation permet ainsi de faciliter la couverture des besoins pour les différents acides aminés, et de limiter les risques d'apport inadéquat. Cet atout nutritionnel doit cependant objectivement être modulé. D'une part, il existe des produits végétaux, tels que le soja ou le quinoa, qui présentent un bon équilibre en acides aminés, et d'autre part, la combinaison de différentes sources de protéines végétales peut permettre d'atteindre un équilibre satisfaisant en acides aminés (cf. § 1.2). De plus, la digestibilité des produits végétaux peut être notablement améliorée par leur mode de préparation avant consommation. En effet, la plus faible digestibilité des protéines végétales s'explique en grande partie par la structure des végétaux qui protège les protéines de l'attaque des enzymes digestives (protéases), et par la présence de composés qui inhibent l'activité protéolytique de ces enzymes (facteurs antitrypsiques, tannins...). La cuisson entraîne une fragilisation de la structure de la graine, et une inactivation des inhibiteurs de protéase, améliorant ainsi la digestibilité des protéines. La fermentation des graines avant cuisson permet également de réduire sensiblement l'activité de ces enzymes.

Outre la composition en acides aminés et leur biodisponibilité, d'autres paramètres peuvent être pris en compte pour caractériser la valeur nutritionnelle des protéines. Il s'agit notamment de leur vitesse de digestion et de leur potentialité à libérer des peptides (enchaînement de quelques acides aminés) présentant des activités biologiques intéressantes pour la santé humaine (peptides bioactifs).

Il a été clairement montré que la cinétique de digestion des protéines alimentaires conditionne l'efficacité de leur assimilation, la cinétique optimale n'étant pas nécessairement la même pour tous les sujets. Par exemple, pour les personnes âgées, il semble préférable d'ingérer des protéines rapidement digérées ou de concentrer l'apport journalier de protéines alimentaires sur un seul repas, de façon à accentuer l'augmentation de l'aminoacidémie postprandiale et relancer la synthèse protéique. À partir de ces

observations, des stratégies nutritionnelles sont aujourd'hui développées pour lutter contre la fonte musculaire liée à l'âge (sarcopénie) Dardevet *et al.*, 2012. Les viandes et poissons sont dans ce cadre des aliments très intéressants, d'une part en raison de leur forte teneur en protéines très digestibles qui permet de concentrer l'apport protéique sur un repas, et d'autre part, en raison de leur vitesse de digestion élevée (Rémond *et al.*, 2007), même si celle-ci peut être affectée par le mode de cuisson (Buffière *et al.*, 2017).

De plus en plus de résultats démontrent les effets physiologiques de certains peptides présents dans l'aliment, ou produits par la digestion des protéines alimentaires, sur l'activité du tractus digestif ou d'autres fonctions physiologiques (activité antihypertensive, opioïde, immunomodulatrice, anxiolytique). Parmi les peptides présents dans les aliments certains sont préformés et abondants dans le substrat alimentaire originel ; ce sont, par exemple, pour les viandes et poissons, les dipeptides de l'histidine (carnosine, ansérine) ou le glutathion. D'autres sont présents à l'intérieur des protéines et peuvent être libérés lors des procédés de transformation des aliments ou lors de la digestion intestinale. La biodisponibilité de ces peptides fait toujours débat. Dans le cas des dipeptides de l'histidine, elle est mesurable et plutôt élevée (environ un quart de l'apport par la viande, (Bauchart *et al.*, 2007)), ce qui peut présenter un intérêt non négligeable pour la santé du consommateur en raison de leurs nombreuses activités biologiques : pouvoir tampon, activité antioxydante, réduction des aldéhydes formés à partir des acides gras insaturés lors d'un stress oxydant, protection contre la glycation et la réticulation des protéines. Ces dernières propriétés sont particulièrement intéressantes pour la prévention des complications secondaires liées au diabète, et la protection contre les désordres neurodégénératifs tels que la maladie d'Alzheimer Hipkiss, 2006.

En ce qui concerne les peptides libérés lors de la digestion (Rémond *et al.*, 2016), de nombreuses études ont été réalisées sur des peptides possédant

des propriétés anti-hypertensives basées sur l'inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ACE). Cette activité semble pouvoir se manifester dans des conditions normales d'alimentation, des études menées chez l'Homme ayant montré une baisse significative de la pression artérielle par rapport à un groupe témoin, suite à l'ingestion répétée de lait fermenté contenant naturellement des peptides antihypertenseurs (Seppo *et al.*, 2003). Par ailleurs, une substitution partielle des glucides alimentaires par de la viande rouge maigre permettait également d'abaisser la pression sanguine chez des personnes hypertensives (Hodgson *et al.*, 2006).

Bien que le domaine des peptides bioactifs ait été exploré plus récemment dans le cas des produits végétaux, il semble que les protéines végétales puissent également être des sources intéressantes de peptides bioactifs (Pihlanto *et al.*, 2017). Il est donc difficile de conclure à une supériorité des produits animaux dans ce domaine.

#### b. La fraction lipidique

Cette fraction est très variable en quantité et qualité dans les différents produits d'origine animale. Les teneurs en lipides des viandes et des poissons sont globalement peu importantes, 1-10 % pour les poissons, 4-15 % pour les viandes. Selon la viande et le morceau considéré, les lipides sont constitués de 30 à 51 % d'acides gras saturés, 38 à 51 % d'acides gras monoinsaturés et 6 à 30 % d'acides gras polyinsaturés. La viande de volaille possède la teneur la plus basse en acides gras saturés et se situe dans les valeurs supérieures pour les acides gras polyinsaturés. La spécificité de la chair de poisson comparée à celle des viandes réside dans sa richesse en acides gras polyinsaturés (AGPI, 70 % des lipides totaux), avec une proportion élevée d'AGPI n-3. La chair de poisson constitue également une très bonne source d'AGPI à longue chaîne (DHA et EPA), intéressants pour la prévention des maladies cardiovasculaires. Elle combine ainsi l'avantage d'un apport protéique de qualité avec celui d'un apport de lipides de qualité, en apportant à la fois des acides aminés et des acides gras indispensables.

Pour cette raison, il est généralement conseillé d'en manger deux fois par semaine. Les limites à la consommation de cet aliment résident essentiellement dans sa disponibilité, mais aussi dans le risque de sa contamination par des polluants de l'environnement (dioxine, PCB, méthyl-mercure...). On peut aussi trouver du DHA dans les œufs, le lait ou le fromage si les animaux ont été nourris avec des produits riches en DHA. Le DHA (de même que l'EPA) peut être synthétisé par le foie à partir de l'acide alphalinoléique végétal, contenu par exemple dans les huiles de noix, lin, colza, germe de blé, soja. Cette conversion est cependant très limitée, surtout chez l'Homme.

### c. La fraction non énergétique

Synthétisée uniquement par les microorganismes, la vitamine B12 est spécifique des produits animaux. C'est le seul nutriment qui rend indispensable la consommation de produits animaux si on ne veut pas avoir recours à des suppléments.

Les produits laitiers constituent une source importante de calcium (de 115 g/100 mL de lait, à 1 000 mg/100 g de fromages à pâte pressée cuite) avec une biodisponibilité élevée (30-40 %). On trouve également des quantités importantes de calcium (80-200 mg/100 g) dans certains végétaux tels que le chou, le brocoli, les épinards et les haricots-sec. Cependant en dehors des brassicacés (chou, brocoli) la biodisponibilité du calcium est généralement bien plus faible, notamment en raison de la présence d'acide oxalique qui insolubilise le calcium, comme dans les épinards. À titre de comparaison un apport de 100 mg de calcium absorbable peut être assuré par 30 g de fromage (type emmental), 500 g de chou, ou 2 kg d'épinard. L'éviction complète des produits laitiers du régime alimentaire augmente ainsi largement le risque de déficit de déficience d'apport en calcium.

Les viandes et abats constituent d'excellentes sources en minéraux tels que le fer, le zinc et le sélénium. Le fer héminique présent dans les viandes (40-70 % du fer total selon l'espèce animal) bénéficie d'une meilleure biodisponibilité

que celui des végétaux. De plus la présence de viande dans les repas permet d'augmenter la biodisponibilité du fer non héminique des végétaux. Dans le cadre d'une alimentation équilibrée, riche en produits végétaux non purifiés, l'apport de viande n'est pas en soi indispensable pour disposer d'un bon statut en fer, un apport modéré de viande rouge permettra cependant de limiter le risque de déficience d'apport.

La viande apporte également des quantités importantes de zinc (2,7 à 6,8 mg/100 g de viande de bœuf) et de sélénium (9,8 à 14,6 µg/100 g de viande de bœuf) Bauchart *et al.*, 2008.

### ■ 1.2. La couverture des besoins nutritionnels dans des régimes plus ou moins riches en produits animaux

Les Apports Nutritionnels Conseillés (ANC), représentent la quantité moyenne d'énergie ou de nutriments dont la consommation est nécessaire pour satisfaire les besoins de la plus grande partie de la population (97,5 %) et lui assurer un bon état de nutrition, en limitant les risques de carence, de déséquilibre et de surcharge pondérale.

Les protéines sont impliquées dans de nombreuses fonctions de notre organisme : la structure des tissus (ex : collagène), la contraction musculaire (ex : actine), le transport de molécules (ex : albumine), l'immunité (ex : immunoglobulines), les réactions biochimiques (ex : enzymes), la régulation du métabolisme (ex : hormones, récepteurs). Chaque protéine a une composition particulière en acides aminés, dictée par le code génétique. Le renouvellement permanent de toutes les protéines (à des taux variables) est ainsi à l'origine de besoins spécifiques pour l'organisme. Parmi les 20 acides aminés qui constituent les protéines, 9 d'entre eux, appelés acides aminés indispensables, ne sont pas synthétisés par l'organisme, et doivent donc obligatoirement être apportés dans l'alimentation. L'absence ou la quantité insuffisante d'un de ces acides aminés suffit à perturber la synthèse protéique. C'est donc l'équilibre entre les différents

acides aminés indispensables (histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine) qui va être le premier facteur de qualité des protéines alimentaires.

L'ANC de 0,8 g de protéines/kg de poids corporel/j pour des adultes en bonne santé est ainsi établi pour des protéines dont la composition assure un apport suffisant en chacun des acides aminés indispensables et présentant une forte digestibilité dans l'intestin AFSSA, 2007. C'est généralement le cas des protéines des produits animaux mais pas toujours de celles des produits végétaux. La combinaison des sources végétales entre elles, peut permettre d'améliorer le profil en acides aminés indispensables (par exemple en combinant céréales et légumineuses), mais la complémentarité n'étant pas parfaite et la digestibilité des protéines végétales étant généralement inférieure, la quantité de protéine végétale à consommer pour couvrir les besoins de l'ensemble des acides aminés indispensable est généralement supérieure à celle de protéines animales (tableau 1). Même en incorporant du soja, la source végétale la plus proche de la protéine de référence, un régime ne comprenant pas de protéines animales, devrait *a minima* contenir 10 % de plus de protéines qu'un régime omnivore comprenant 50 % de protéines animales. Plus ce type de régime incorpore de céréales, plus ce pourcentage augmente en raison de leur très faible teneur en lysine. Ainsi au-delà de 50 % de protéines végétales dans le régime, le risque d'inadéquation de l'apport protéique est en premier lieu lié à la quantité de protéines consommées, puis au-delà de 70 % la nature des protéines consommées devient importante, et le pourcentage de légumineuses, noix et graines consommé doit augmenter pour prévenir notamment une déficience en lysine (de Gavelle *et al.*, 2017).

Ainsi, pour les pays occidentaux comme la France, dans lesquels la consommation journalière de protéines excède généralement les ANC, le risque d'inadéquation des apports en acides aminés indispensables demeure faible, même pour les populations consommant peu ou pas de protéines

**Tableau 1. Teneur en Acides Aminés Indispensables (AAI) digestibles (mg/g de protéines).**

	Protéine de référence <sup>a</sup>	Lait <sup>b</sup>	V viande <sup>c</sup>	Blé <sup>d</sup>	Riz <sup>b</sup>	Pois <sup>b</sup>	Soja <sup>b</sup>	Blé/pois 50/50	Riz/pois 50/50	Riz/pois /soja 30/30/40	V viande/lait/blé/pois 35/15/30/20
Thr	25	48	66	21	23	35	35	28	29	31	43
Val	40	67	45	30	40	38	44	34	39	41	43
Ile	30	58	44	25	35	40	44	32	38	40	40
Leu	61	117	80	48	65	69	74	58	67	70	75
His	16	32	32	17	22	20	24	19	21	22	26
Trp	7	16	24	8	16	12	14	10	14	14	16
Lys	48	101	88	20	34	57	56	38	45	50	63
AAS <sup>e</sup>	23	32	45	30	28	16	24	23	22	23	34
AAA <sup>f</sup>	41	124	72	50	93	67	86	58	80	82	76
AAI <sub>lim</sub> <sup>g</sup>		AAS	Val	Lys	Lys	AAS	AAS	Lys	AAS	AAS	Val
Quantité de protéines nécessaire pour couvrir l'ensemble des besoins en AAI d'un adulte de 70 kg <sup>h</sup> , en g											
	56	40	50	136	79	83	53	70	59	56	52

<sup>a</sup> Protéine de référence pour un individu de plus de 3 ans FAO, 2013.

<sup>b</sup> Rutherford *et al.*, 2015.

<sup>c</sup> Viande de bœuf cuite 30 min à 75 °C, digestibilité iléale réelle mesurée sur des miniporcs (données personnelles en cours de publication).

<sup>d</sup> Cervantes-Pahm *et al.*, 2014.

<sup>e</sup> Acides aminés soufrés : Cys + Met.

<sup>f</sup> Acides aminés aromatiques : Phe + Tyr.

<sup>g</sup> Acide aminé indispensable limitant : celui présentant le plus faible ratio protéine alimentaire/ protéine de référence.

<sup>h</sup> Pour l'acide aminé limitant : concentration dans la protéine se référence (mg d'acide aminé digestible/g de protéine de référence) × 0,8 (besoin, en g de protéine/kg) × 70 kg/concentration dans la protéine étudiée (mg d'acide aminé digestible/g de protéine).

animales, à condition de combiner les sources de protéines végétales entre elles. Le problème se pose en revanche clairement pour les pays en voie de développement où les apports en énergie et protéines sont faibles (en dessous des recommandations) et où les ressources végétales disponibles sont peu variées et souvent peu digestibles. Le problème peut également se poser pour les personnes âgées, chez lesquelles les besoins en protéines ont tendance à augmenter alors que leurs apports spontanés diminuent, et pour

lesquelles des besoins spécifiques en certains acides aminés apparaissent : leucine pour stimuler la synthèse protéique (Dardevet *et al.*, 2012), acides aminés soufrés pour détoxifier les médicaments tels que le paracétamol et lutter contre le stress oxydatif Mast *et al.*, 2018. Pour cette population en augmentation (on estime qu'en 2050 une personne sur 5 au niveau mondial, et une personne sur 3 au niveau français, aura plus de 60 ans), la présence de produits animaux dans l'alimentation facilite la couverture des besoins

protéiques. Ainsi, une corrélation a été mise en évidence entre le pourcentage de protéines animales dans le régime alimentaire et la préservation de la masse musculaire chez les sujets âgés (Aubertin-Leheudre et Adlercreutz, 2009 ; Landi *et al.*, 2017).

En ce qui concerne les lipides, le principal intérêt des produits animaux est la présence des acides gras polyinsaturés à longue chaîne apportés par les produits de la mer (notamment le DHA considéré comme un acide gras indispensable). Sans consommation de ces produits il est impossible de couvrir les ANC en DHA (250 mg/j ANSES, 2011). Les études épidémiologiques mettent systématiquement en évidence des proportions plus faibles de DHA dans les lipides sanguins des végétariens et végétaliens Sanders, 2009. Bien que l'EPA et le DHA puissent être produits de façon endogène, pour ces populations la question d'une déficience se pose de façon aiguë pour la femme enceinte et pour les très jeunes enfants, ces acides gras étant indispensables au bon développement du système nerveux central et de la fonction cognitive chez l'enfant Burdge *et al.*, 2017. Elle est également pertinente pour les séniors avec la prévention par le DHA des maladies neurodégénératives telles que la démence sénile ou la maladie d'Alzheimer Shahidi et Ambigaipalan, 2018.

Même si certains produits végétaux sont de très bonnes sources de calcium, la richesse des produits laitiers en calcium les rend indispensables pour couvrir facilement les besoins avec une alimentation courante (sans supplément). Leur éviction complète du régime alimentaire augmente largement le risque de déficience d'apport en calcium. Ainsi, comparées aux omnivores ou aux végétariens, les personnes végétaliennes ont généralement un moins bon statut calcique (lié à des apports faibles), associé à un moins bon statut en vitamine D, ce qui se traduit par un risque accru de fracture osseuse (Appleby *et al.*, 2007 ; Crowe *et al.*, 2011 ; Hansen *et al.*, 2018). Chez les personnes âgées, la consommation régulière de yogourt a été associée à une densité minérale osseuse plus élevée et de meilleur

leures performances physiques (Laird *et al.*, 2017).

Bien que les études de consommation (comme Nutrinet-Santé) montrent que le risque d'apport inadéquat en fer n'est pas plus élevé chez les végétariens et végétaliens que chez les consommateurs de viande (Allès *et al.*, 2017), les études épidémiologiques mettent généralement en évidence des réserves corporelles en fer (estimées par la ferritine sérique) plus faibles chez les végétariens et végétaliens que chez les consommateurs de produits carnés Haider *et al.*, 2018. La différence de biodisponibilité des formes de fer ainsi que la présence dans les produits végétaux de composés inhibant l'absorption du fer (acide phytique, tanins) expliquent en grande partie cette divergence entre apports et statut en fer (Perignon *et al.*, 2018). L'anémie ferriprive est la forme sévère de la déficience en fer (diagnostiquée par une chute du taux d'hémoglobine) ; sa prévalence ne semble pas supérieure chez les végétariens Hunt, 2002. Pour les personnes à risque d'anémie ferriprive, femmes en âge de procréer ou enceintes, enfant de 6 mois à 4 ans, ou personnes âgées, la présence dans le régime alimentaire de viandes et produits carnés permettra cependant un meilleur maintien du statut martial (Jackson *et al.*, 2016). Il faut également noter que la déficience en fer sans anémie (ferritine sérique basse sans diminution du taux d'hémoglobine) peut entraîner de multiples symptômes comme de la fatigue ou une fonction cognitive diminuée, à ne pas négliger Clenin, 2017.

Le zinc est présent dans les produits végétaux et animaux, mais la présence d'acide phytique dans les produits végétaux, comme pour le fer, limite fortement sa biodisponibilité. Les études épidémiologiques mettent ainsi en évidence, à la fois une plus faible consommation de zinc et des concentrations sériques en zinc plus faibles chez les végétariens, et encore plus chez les végétaliens, que chez les omnivores Foster *et al.*, 2013. Le zinc est impliqué dans de nombreuses fonctions biologiques, et les carences en zinc constituent une préoccupation de santé publique mondiale WHO, 2002, notamment en raison des liens entre le zinc et le système immunitaire (Sanna *et al.*, 2018).

Le poisson, les produits de la mer, et les produits laitiers constituent la principale source d'iode de notre alimentation. L'éviction de ces aliments augmente ainsi le risque de déficience. Cette déficience en iode est d'autant plus critique chez les femmes enceintes et allaitante dans la mesure où elle se traduit par des retards de développement intellectuel de l'enfant (Bath *et al.*, 2013 ; Abel *et al.*, 2017). Les études épidémiologiques (basées sur l'iode urinaire) montrent systématiquement un apport en iode plus faible chez les végétaliens, comparé aux végétariens et omnivores, avec des niveaux moyens nettement inférieurs aux recommandations (Krajcovicova-Kudlackova *et al.*, 2003 ; Leung *et al.*, 2011 ; Schupbach *et al.*, 2017 ; Brantsaeter *et al.*, 2018).

La vitamine B12 n'étant pas présente dans les végétaux, la prévalence d'apport insuffisant est supérieure chez les végétaliens et dans une moindre mesure chez les végétariens par rapport aux omnivores (Pawlak *et al.*, 2014 ; Allès *et al.*, 2017). La prise de suppléments ou la consommation d'aliments enrichis en vitamine B12 peut cependant permettre de couvrir les besoins de ces populations (Schupbach *et al.*, 2017). Ces supplémentations sont particulièrement critiques chez la femme enceinte et allaitante, une carence en vitamine B12 pendant cette période pouvant avoir des répercussions graves sur le développement du fœtus, et le développement des fonctions cognitives Black, 2008. Des déficiences en vitamine B12 sont également souvent observées chez les personnes âgées soit par défaut d'apport, ces personnes ayant tendance à consommer moins de viande, soit par défaut d'absorption (Rémond *et al.*, 2015). Elles peuvent avoir pour conséquences des troubles hématologiques (anémie), mais elles semblent également impliquées dans les complications neurologiques de type Alzheimer (Politis *et al.*, 2010), ou dans le développement de syndrome dépressif (Hibbeln *et al.*, 2018). La consommation de produits animaux demeure la meilleure solution pour la prévention de ces carences.

Dans le domaine de la prévention nutritionnelle, et dans l'optique d'une

couverture de l'ensemble des besoins, la présence de produits animaux dans l'alimentation reste donc recommandée. Basés sur un processus d'optimisation incluant les critères de couverture des besoins nutritionnels, sans trop s'éloigner des habitudes de consommation actuelle, mais en imposant des limites de consommation supérieures pour la viande de boucherie et la charcuterie, les travaux de l'ANSES ANSES, 2016 montrent clairement qu'en raison des contraintes nutritionnelles à satisfaire (notamment en fer), si il est possible de fortement réduire la consommation de charcuterie (au moins pour les Hommes), il est plus difficile de réduire celle de viande de boucherie par rapport aux consommations actuelles. La simulation montre également qu'il est très difficile de se passer de la consommation de produits laitiers.

### ■ 1.3. Les relations entre la consommation de produits animaux et la santé

#### a. Les viandes et produits carnés

Si la viande de volaille semble avoir un effet neutre sur la santé (en dehors de son intérêt pour satisfaire les besoins en nutriments), ce n'est pas le cas des viandes de boucherie (bovine, ovine, porcine et chevaline) et des produits transformés (charcuterie), dont la consommation a été associée à une augmentation du risque de maladies cardio-vasculaires, de diabète de type 2 et de cancer. Les plus récentes méta-analyses des données de la littérature (Bechthold *et al.*, 2017 ; Schwingshackl *et al.*, 2017a ; Schwingshackl *et al.*, 2017b ; Schwingshackl *et al.*, 2018) montrent en effet que pour chaque augmentation de consommation de 100 g/j de viande boucherie, le risque d'hypertension augmente de 14 %, de maladie coronarienne de 15 %, d'accident vasculaire cérébral de 12 %, de défaillance cardiaque de 8 %, de diabète de type 2 de 17 % et de cancer colorectal de 12 %. De même pour une augmentation de consommation de 50 g/j de viande transformée, le risque d'hypertension augmente de 12 %, de maladie coronarienne de 27 %, d'accident vasculaire cérébral de 17 %, de défaillance cardiaque de 12 %, de

diabète de type 2 de 37 % et de cancer colorectal de 17 %.

Les études épidémiologiques sont des études d'association et le lien de causalité n'est pas toujours clairement établi (Klurfeld, 2015 ; Rohrmann et Linseisen, 2016). Aussi le lien entre consommation de viande de boucherie et le cancer colorectal, qui a fait beaucoup de bruit médiatique, est considéré comme probable, mais le niveau de preuve n'est pas jugé convaincant WCRF, 2017. La raison étant souvent le manque d'explications mécanistiques démontrées, bien que le rôle central du fer héminique dans la carcinogénèse soit maintenant établi (Bastide *et al.*, 2015), compliquée par le fait que les niveaux d'ingestion de viande dans les expérimentations animales excèdent largement ceux observés chez l'Homme Turner et Lloyd, 2017. Les choses sont beaucoup plus claires pour les « *processed foods* », parfois traduit par charcuterie (catégorie à l'intérieur de laquelle il faudrait probablement distinguer les produits), pour lesquels le niveau de preuve est souvent considéré comme convaincant. Quoiqu'il en soit, par mesure de précaution il est préconisé de limiter la consommation de viande de boucherie (telle que consommée) à 500 g (cuit) par semaine (soit environ 700 g de viande crue), et de limiter fortement voire d'éviter la consommation de charcuterie WCRF, 2018. Il faut noter que pour la viande de boucherie, aussi bien que pour la charcuterie des stratégies de formulation (avec incorporation d'antioxydants végétaux) sont actuellement développées avec succès pour limiter la peroxydation lipidique induite par le fer héminique et prévenir le risque de cancer colorectal (Martin *et al.*, 2018).

En France selon l'enquête INCA3 de l'ANSES (2017), la quantité moyenne consommée de viandes hors volaille est de 47,3 g/j (61,2 g/j chez les Hommes et 34,1 g/j chez les femmes) soit 330 g/semaine, ce qui est nettement inférieur à la limite des 500 g/semaine. Seuls 28 % des adultes Français consomment plus de 500 g par semaine de viande de boucherie (enquête CCAF, 2013 du Crédoc). Le message de limitation de la consommation à des fins de prévention

ne concerne donc pas l'ensemble des français, mais uniquement cette population de gros mangeurs de viande de boucherie. La consommation moyenne de charcuterie en France est de 36,4/j (34,2 pour les Hommes et 20,9 pour les femmes). Sachant que chaque portion de 50 grammes de viande transformée consommée tous les jours augmente le risque de cancer colorectal de 18 % environ, des efforts doivent être faits pour limiter cette consommation et/ou proposer des produits moins cancérigènes.

### b. Les produits laitiers

Bien que ce soit toujours sujet à débat, les récentes méta-analyses d'études épidémiologiques ne montrent pas d'association entre la consommation de produits laitiers et les maladies cardio-vasculaires (Bechthold *et al.*, 2017 ; Guo *et al.*, 2017). Les produits laitiers, et plus particulièrement les yogourts, pourraient même avoir un effet protecteur contre le diabète de type 2 (Schwingshackl *et al.*, 2017a ; Gille *et al.*, 2018) et le cancer colorectal (Schwingshackl *et al.*, 2018), ainsi qu'un effet anti-inflammatoire (Bordoni *et al.*, 2017). À l'intérieur des produits laitiers, même la consommation de beurre, longtemps décriée, ne semble pas être associée aux maladies cardio-vasculaires et au diabète (Pimpin *et al.*, 2016), et le fromage pourrait même avoir un effet protecteur contre les maladies cardiovasculaires (Guo *et al.*, 2017). L'ensemble de ces résultats est conforté par une récente étude longitudinale sur une cohorte regroupant des individus ( $n = 136384$ ) de 21 pays répartis sur 5 continents (Dehghan *et al.*, 2018).

L'intolérance au lactose (lié à un déficit en lactase digestive) est à l'origine de troubles digestifs divers (ballonnement, douleur abdominale, flatulence, diarrhée). Elle ne justifie cependant pas l'éviction complète des produits laitiers, d'une part parce que les personnes intolérantes peuvent généralement consommer un verre de lait sans symptôme (Savaiano *et al.*, 2006), d'autre part parce que dans les produits laitiers fermentés, type yogourt ou fromage, le lactose est prédigéré par les ferments lactiques (Savaiano, 2014).

Les produits laitiers ont parfois été accusés de favoriser le développement de l'arthrite rhumatoïde, les études d'intervention ne semblent cependant pas montrer d'effet positif de leur éviction (Smedslund *et al.*, 2010). L'éviction est de plus déconseillée lors que l'arthrite rhumatoïde est déclarée (Gossec *et al.*, 2006). Une étude épidémiologique suggère au contraire un effet protecteur de la consommation de lait et yogourt vis-à-vis de cette pathologie (He *et al.*, 2016).

### c. Les œufs et le poisson

La consommation d'œufs ou de poisson n'est généralement pas considérée comme un facteur de risque vis-à-vis des maladies chroniques non transmissibles. La consommation de poisson, en raison de la présence d'AGPI n-3 à longue chaîne, pourrait même avoir un effet protecteur sur la maladie d'Alzheimer, mais les études épidémiologiques dans ce domaine semblent contradictoires (Solfrizzi *et al.*, 2017). La présence dans le poisson de contaminants neurotoxiques tels que le méthyl-mercure pourrait en partie expliquer la variabilité des résultats observés.

## 2. La place des produits animaux dans une alimentation saine et durable

Pour la FAO (2010), « *les régimes alimentaires durables sont des régimes alimentaires ayant de faibles conséquences sur l'environnement, qui contribuent à la sécurité alimentaire et nutritionnelle ainsi qu'à une vie saine pour les générations actuelles et futures. Les régimes alimentaires durables contribuent à protéger et à respecter la biodiversité et les écosystèmes, sont culturellement acceptables, économiquement équitables et accessibles, abordables, nutritionnellement sûrs et sains, et permettent d'optimiser les ressources naturelles et humaines* ».

### ■ 2.1. Sécurité alimentaire

Avec l'augmentation annoncée de la population mondiale, la question de la disponibilité en protéines alimentaires pour nourrir correctement l'ensemble de la population se pose de façon cru-

ciale. La réduction des gaspillages alimentaires, et la redistribution des sources de protéines au niveau mondial sont les premiers leviers pour satisfaire cette demande. On considère en effet qu'un tiers des aliments produits dans le monde pour la consommation humaine est perdu ou gaspillé (environ 20 % pour la production de lait et de viande, 35 % pour les poissons et fruits de la mer). Ces pertes sont très probablement compressibles à tous les niveaux de la chaîne alimentaire. De plus, si un milliard de personnes sur la terre ont des apports protéiques inadéquats, dans les pays développés la consommation de protéines excède largement les recommandations alimentaires. Par exemple en France la consommation moyenne de protéine par habitant est de 1,4 g/kg/j, pour un ANC de 0,8 g/kg/j. Une redistribution des ressources de protéines est donc envisageable sans dommages nutritionnels pour les populations les plus riches.

Basée sur des calculs d'efficacité de conversion de protéines végétales en protéines animales (en moyenne 4 protéines végétales pour faire une protéine animale), la suppression de l'élevage a été proposée pour, *de facto*, augmenter la disponibilité en protéines alimentaires. Les choses ne sont évidemment pas si simples. L'élevage de ruminant est par exemple la seule solution pour valoriser les protéines des fourrages. De plus les ruminants comme les animaux monogastriques recyclent une grosse partie des coproduits protéiques issus de la première transformation des végétaux (production d'huile, d'amidon, de bière...) qui ne sont actuellement pas consommables par l'Homme. Si on exprime la production de protéines animales par rapport à la quantité de protéines végétales qui auraient pu être directement consommées par l'Homme, le ratio est ainsi en moyenne de 1 pour 1 (Ertl *et al.*, 2015). Les ruminants nourris à l'herbe sont ainsi des producteurs nets de protéines consommables par l'Homme, s'ils sont élevés dans des zones impropres aux cultures, ou intégrés dans un processus de recyclage des matières premières agricoles (Laisse *et al.*, 2018). De plus si on compare la qualité nutritionnelle des protéines consommées par les animaux à celle qu'ils produisent (basée sur la composition en acides ami-

nés indispensables digestibles, cf. § 1.2), on observe généralement un incrément de qualité (Ertl *et al.*, 2016 ; Patel *et al.*, 2017), qui permet de limiter la quantité totale de protéines consommée par l'Homme pour couvrir ses besoins (cf. § 1.2). La clé pour des productions animales efficiente est donc la maximisation de l'utilisation des protéines non-consommables par l'Homme (fourrages, coproduits, grains déclassés...) dans les systèmes d'élevage. Basé sur un concept d'économie circulaire, la suppression totale de l'utilisation d'aliments consommables par l'Homme pour l'élevage permettrait de libérer environ un quart des terres arables utilisés pour la production d'aliment pour bétail (actuellement 40 % de la totalité des terres arables), pour la production de graines consommables directement par l'Homme, tout en assurant un apport protéique d'origine animal couvrant 20 à 40 % de l'apport total en protéines (Van Zanten *et al.*, 2018).

## ■ 2.2. Alimentation saine dans un contexte de durabilité

L'élevage dans sa globalité émet 14,5 % des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine (60 % des émissions de l'ensemble de l'agriculture), la plus grosse part de ses émissions (75 %) étant liée aux ruminants (FAO, 2014). De plus, même si elle a été revue à la baisse, la part de l'élevage dans la consommation d'eau potable reste très importante. L'empreinte hydrique est en moyenne de 54 L d'eau par gramme de protéines animales produite, contre en moyenne 42 L par gramme de protéines végétales (Mekonnen et Hoekstra, 2012).

De nombreux travaux sont réalisés par les différentes filières de productions animales pour diminuer à l'échelle de l'exploitation la production de gaz à effet de serre, et montrent que des solutions existent (FAO, 2014). Mais ce ne sera probablement pas suffisant, l'augmentation de la population mondiale et de son niveau de vie entraînant un accroissement continu de la demande en produits animaux. L'empreinte carbone des régimes alimentaires riches en produits animaux étant généralement plus élevée que celle des régimes riches en produits

végétaux (Gonzalez-Garcia *et al.*, 2018), une modification de nos comportements alimentaires vers des régimes incorporant plus de produits végétaux semble également indispensable pour limiter l'augmentation de la production de gaz à effet de serre du secteur agricole. Des modèles prédictifs montrent ainsi que, en Europe, un remplacement de 50 % des protéines animales par des protéines végétales dans l'alimentation entraînerait une réduction de 40 % de la production de gaz à effet de serre, et permettrait également de réduire de 40 % les émissions d'azote (Westhoek *et al.*, 2014). Dans les pays occidentaux la consommation de protéines d'origine animale représente en moyenne 65 à 70 % de la consommation protéique totale, alors que pour couvrir l'ensemble des besoins en macro et micronutriments un équilibre entre protéines animales et protéines végétales dans le régime est généralement recommandé. La réduction de la consommation de viande (notamment celle des ruminants en raison des productions entériques de méthane) a été identifiée comme le principal levier permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre (Perignon *et al.*, 2017). Une réduction de la consommation de viande serait bénéfique à la fois sur le plan de l'environnement et sur celui de la santé (cf. § 1.3.a). L'étude de modélisation la plus complète, intégrant notamment la biodisponibilité des nutriments, montre qu'en France, une diminution de 30 % de l'impact environnemental (gaz à effets de serre, eutrophisation, acidification), peut être atteint en faisant passer la part des protéines animales dans la consommation totale de protéines de 65 % (actuellement) à 50 %, tout en satisfaisant l'ensemble des besoins nutritionnels (Barre *et al.*, 2018). Cette diminution se faisant principalement par une réduction de la quantité totale de viande consommée (- 32 % pour les femmes et - 62 % pour les Hommes). Outre ce réajustement entre la consommation de produits d'origine animale et végétale dans notre alimentation, il ne faut pas oublier que dans les pays occidentaux un des leviers majeurs pour diminuer la production de gaz à effet de serre par l'agriculture et de diminuer globalement notre consommation alimentaire, simplement pour respecter les recommandations en terme d'apport énergétique (Perignon *et al.*, 2017).

Les régimes végétariens qui apportent 20 à 30 % de protéines d'origine animale (produits laitiers, œufs), présentent généralement un plus faible impact environnemental que les régimes omnivores (Rosi *et al.*, 2017 ; Gonzalez-Garcia *et al.*, 2018). Mais il ne faut pas oublier que la production de lait et d'œufs entraîne *de facto* la production de viande (veaux, vaches, poules), impliquant une cohabitation entre consommateurs et non consommateurs de viande.

Jusqu'à quel point peut-on réduire notre consommation de produits animaux pour satisfaire aux contraintes environnementales sans pénaliser l'équilibre alimentaire ? La question reste à ce jour ouverte. À titre d'exemple, deux études américaines récentes conduisent à des résultats divergents selon les critères de modélisation retenus. Une étude conclue que l'élimination totale de l'élevage réduirait effectivement la production de gaz à effet de serre, mais conduirait à une offre alimentaire incapable de satisfaire les besoins nutritionnels de la population (White et Hall, 2017). L'autre conclut qu'un remplacement dans l'alimentation de la totalité des produits animaux par des produits végétaux adaptés permettrait aux États-Unis de nourrir de manière satisfaisante 350 millions de personnes supplémentaires Shepon *et al.*, 2018. Dans ces modèles le choix des produits végétaux pour remplacer les produits animaux est crucial à la fois pour maximiser la réduction de la production de gaz à effet de serre (Perignon *et al.*, 2017), et pour permettre la couverture de l'ensemble des besoins nutritionnels (Cifelli *et al.*, 2016).

L'élevage rendant de nombreux services (écosystémiques et sociaux-économiques) Duru *et al.*, 2017, s'il était supprimé il faudrait trouver des alternatives à son rôle dans le maintien des paysages et des populations rurales, la séquestration de carbone par les prairies, et la valorisation des végétaux non consommables par l'Homme (cf. § 2.1), etc. Ainsi, le régime végétalien étant potentiellement inadéquat sur le plan nutritionnel, n'apportant pas de bénéfice particulier pour la santé, ayant un bilan environnemental contrasté (moins de gaz à effet de serre et de rejet

azotés, mais une perte de biodiversité lié à l'abandon des pâturages) et un impact socioéconomique négatif (désertification des campagnes) ne semble pas satisfaire aux critères de la durabilité. L'adhérence à ce type de régime ne se justifie aujourd'hui que par des considérations éthiques sur l'élevage des animaux, et demeure un choix personnel.

## Conclusion

La consommation de produits animaux, dans la limite des recommandations actuelles (50 % de l'apport protéique), améliore la qualité de notre alimentation en assurant une meilleure couverture de l'ensemble des besoins nutritionnels. Les études épidémiologiques mettent cependant en évidence un potentiel lien entre une consommation excessive de produits animaux, notamment de viande et la survenue de maladies chroniques non transmissibles. À ce titre, les gros consommateurs de viande de boucherie (plus de 500 g par semaine, environ un tiers de la population) doivent en modérer leur consommation. Pour les autres une réduction de consommation ne s'impose pas, mais reste possible en veillant à maintenir la qualité de l'apport protéique, et en assurant des apports suffisants en vitamines B12, calcium, fer et zinc essentiellement. La diminution actuelle très significative de la consommation de viande par habitant en France (- 12 % en 10 ans - enquête CREDOC) va ainsi dans le bon sens. L'alimentation végétarienne est difficilement recommandable à l'ensemble de la population dans la mesure où elle augmente le risque de déficience d'apport (dont les conséquences peuvent être très dommageables lors de la gestation, chez le jeune enfant, ou chez les personnes âgées), sans apporter de bénéfice santé évident par rapport à une consommation modérée de viande. Elle pose également une question de durabilité en raison des liens entre la production de lait et d'œufs et la production de viande. Sur le plan nutrition/santé, la présence de produits animaux (à raison de 40 à 50 % de l'apport protéique), combinant viande, poisson, lait et œufs, demeure la meilleure garantie pour couvrir l'ensemble des besoins nutritionnels et maintenir un état de santé optimal. Cela

représente une réduction significative de la consommation de viande, pour une part importante des occidentaux. Cette transition vers un rééquilibrage de la présence de produits animaux et végétaux dans notre alimentation sera probablement facilitée dans les années à venir par le développement de nouveaux aliments protéiques à base de protéines végétales, attractifs sur le plan gustatif, et de qualité nutritionnelle optimisée.

L'élevage est souvent remis en question en raison de potentiels effets négatifs sur l'environnement, mais il ne faut pas oublier qu'un milliard de personnes, qui vivent en dessous du seuil de pauvreté dans le monde, dépendent de l'élevage pour leur apport en protéines, pour se nourrir et pour gagner leur vie. Sa suppression est donc essentiellement un questionnement de pays riches. Certes, il produit environ 15 % des gaz à effet de serre dont on connaît l'impact sur le réchauffement climatique. C'est à la fois beaucoup et peu par rapport à l'ensemble des services rendus sur le plan nutritionnel et socioéconomique. Les animaux valorisent non seulement les surfaces non-arables mais aussi les coproduits de la transformation des produits végétaux, qui sont à ce jour non-consommables par l'Homme. L'arrêt de la consommation de produits animaux, donc la suppression de l'élevage, entraînerait ainsi inéluctablement une diminution de la disponibilité en protéines consommables par l'Homme, alors même que la demande augmente sous la pression démographique. Elle précipiterait la désertification rurale notamment en zone de montagne, et entraînerait une profonde modification des paysages. Contrairement à ce qu'on veut bien nous faire croire, le végétalisme n'est donc pas la solution miracle à tous nos problèmes. Son positionnement purement éthique n'en demeure pas moins respectable.

Un élevage respectueux des animaux, minimisant les émissions de gaz à effet de serre et les rejets azotés tout en optimisant le recyclage des matières premières dans une économie circulaire (Van Zanten *et al.*, 2018), associé à une consommation raisonnable (limitée) de produits animaux, est ainsi probablement la clé pour une alimentation humaine saine, et durable.

## Références

- Abel M.H., Caspersen I.H., Meltzer H.M., Haugen M., Brandlistuen R.E., Aase H., Alexander J., Torheim L.E., Brantsaeter A.L., 2017. Suboptimal maternal iodine intake is associated with impaired child neurodevelopment at 3 years of age in the norwegian mother and child cohort study. *J. Nutr.*, 147, 1314-1324.
- AFSSA, 2007. Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations. Saisine 2004-SA-0052.
- Allès B., Baudry J., Mejean C., Touvier M., Peneau S., Hercberg S., Kesse-Guyot E., 2017. Comparison of sociodemographic and nutritional characteristics between self-reported vegetarians, vegans, and meat-eaters from the nutrinet-sante study. *Nutrients*, 9.
- ANSES, 2011. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. Rapport d'expertise collective, Saisine n° 2006-SA-0359.
- ANSES, 2016. Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires. Rapport d'expertise collective, Saisine n° 2012-SA-0103.
- Appleby P., Roddam A., Allen N., Key T., 2007. Comparative fracture risk in vegetarians and nonvegetarians in EPIC-Oxford. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 61, 1400-1406.
- Aubertin-Leheudre M., Adlercreutz H., 2009. Relationship between animal protein intake and muscle mass index in healthy women. *Br. J. Nutr.*, 102, 1803-1810.
- Barre T., Perignon M., Gazan R., Vieux F., Micard V., Amiot M.J., Darmon N., 2018. Integrating nutrient bioavailability and co-production links when identifying sustainable diets: How low should we reduce meat consumption? *PLoS One*, 13, e0191767.
- Bastide N.M., Chenni F., Audebert M., Santarelli R.L., Tache S., Naud N., Baradat M., Jouanin I., Surya R., Hobbs D.A., Kuhnle G.G., Raymond-Letron I., Gueraud F., Corpet D.E., Pierre F.H., 2015. A central role for heme iron in colon carcinogenesis associated with red meat intake. *Cancer Res.*, 75, 870-879.
- Bath S.C., Steer C.D., Golding J., Emmett P., Rayman M.P., 2013. Effect of inadequate iodine status in UK pregnant women on cognitive outcomes in their children: results from the Avon Longitudinal Study of Parents and Children (ALSPAC). *Lancet*, 382, 331-337.
- Bauchart C., Savary-Auzeloux I., Patureau Mirand P., Thomas E., Morzel M., Rémond D., 2007. Carnosine concentration of ingested meat affects carnosine net release into the portal vein of minipigs. *J. Nutr.*, 137, 589-593.
- Bauchart D., Chantelot F., Gandemer G., 2008. Qualités nutritionnelles de la viande et des abats chez le bovin : données récentes sur les principaux constituants d'intérêt nutritionnel. *Cah. Nutr. Diét.*, Hors-série 1, 1529-21539.
- Bechthold A., Boeing H., Schwedhelm C., Hoffmann G., Knuppel S., Iqbal K., De Henauw S., Michels N., Devleeschauwer B., Schlesinger S., Schwingshackl L., 2017. Food groups and risk of coronary heart disease, stroke and heart failure: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1-20.
- Black M.M., 2008. Effects of vitamin B(12) and folate deficiency on brain development in children. *Food and nutrition bulletin*, 29, S126-S131.
- Bordoni A., Danesi F., Dardevet D., Dupont D., Fernandez A.S., Gille D., Nunes Dos Santos C., Pinto P., Re R., Rémond D., Shahar D.R., Vergères G., 2017. Dairy products and inflammation: A review of the clinical evidence. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 57, 2497-2525.
- Brantsaeter A.L., Knutsen H.K., Johansen N.C., Nyheim K.A., Erlund I., Meltzer H.M., Henjum S., 2018. Inadequate Iodine Intake in Population Groups Defined by Age, Life Stage and Vegetarian Dietary Practice in a Norwegian Convenience Sample. *Nutrients*, 10.
- Buffière C., Gaudichon C., Hafnaoui N., Migne C., Scislawsky V., Khodorova N., Mosoni L., Blot A., Boirie Y., Dardevet D., Santé-Lhoutellier V., Rémond D., 2017. In the elderly, meat protein assimilation from rare meat is lower than that from meat that is well done. *Am. J. Clin. Nutr.*, 106, 1257-1266.
- Burdge G.C., Tan S.Y., Henry C.J., 2017. Long-chain n-3 PUFA in vegetarian women: a metabolic perspective. *J. Nutr. Sci.*, 6, e58.
- Cervantes-Pahm S.K., Liu Y., Stein H.H., 2014. Digestible indispensable amino acid score and digestible amino acids in eight cereal grains. *Br. J. Nutr.*, 111, 1663-1672.
- Cifelli C.J., Houchins J.A., Demmer E., Fulgoni V.L., 2016. Increasing Plant Based Foods or Dairy Foods Differentially Affects Nutrient Intakes: Dietary Scenarios Using NHANES 2007-2010. *Nutrients*, 8.
- Clenin G.E., 2017. The treatment of iron deficiency without anaemia (in otherwise healthy persons). *Swiss Med Wkly*, 147, w14434.
- Crowe F.L., Steur M., Allen N.E., Appleby P.N., Travis R.C., Key T.J., 2011. Plasma concentrations of 25-hydroxyvitamin D in meat eaters, fish eaters, vegetarians and vegans: results from the EPIC-Oxford study. *Public Health Nutr.*, 14, 340-346.
- Dardevet D., Rémond D., Peyron M.A., Papet I., Savary-Auzeloux I., Mosoni L., 2012. Muscle wasting and resistance of muscle anabolism: the "anabolic threshold concept" for adapted nutritional strategies during sarcopenia. *Scient. World J.*, 2012, 269531.
- de Gavelle E., Huneau J.F., Bianchi C.M., Verger E.O., Mariotti F., 2017. protein adequacy is primarily a matter of protein quantity, not quality: modeling an increase in plant:animal protein ratio in french adults. *Nutrients*, 9.
- Dehghan M., Mente A., Rangarajan S., Sheridan P., Mohan V., Iqbal R., Gupta R., Lear S., Wentzel-Viljoen E., Avezum A., Lopez-Jaramillo P., Mony P., Varma R.P., Kumar R., Chifamba J., Alhabib K.F., Mohammadifard N., Oguz A., Lanas F., Rozanska D., Bostrom K.B., Yusuf S., Tsolkile L.P., Dans A., Yusufali A., Orlandini A., Poirier P., Khatib R., Hu B., Wei L., Yin L., Deereaili A., Yeates K., Yusuf S., Ismail N., Mozaffarian D., Teo K., Anand S.S., Yusuf S., 2018. Association of dairy intake with cardiovascular disease and mortality in 21 countries from five continents (PURE): a prospective cohort study. *Lancet*, 392, 2288-2297.
- Duru M., Donnars C., Rychawy J., Therond O., Dumont B., 2017. La « grange » : un cadre conceptuel pour appréhender les bouquets de services rendus par l'élevage dans les territoires. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 273-284.
- Ertl P., Klocker H., Hörtenhuber S., Knaus W., Zollitsch W., 2015. The net contribution of dairy production to human food supply: The case of Austrian dairy farms. *Agric. Sys.*, 137, 119-125.
- Ertl P., Knaus W., Zollitsch W., 2016. An approach to including protein quality when assessing the net contribution of livestock to human food supply. *Animal*, 10, 1883-1889.
- FAO, 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Food and Agriculture Organisation, Rome, 2013.
- FAO, 2014. Lutter contre le changement climatique grâce à l'élevage. Une évaluation des émissions et des opportunités d'atténuation au niveau mondial. Food and Agriculture Organisation, Rome, 2014.
- Foster M., Chu A., Petocz P., Samman S., 2013. Effect of vegetarian diets on zinc status: a systematic review and meta-analysis of studies in humans. *J. Sci. Food Agric.*, 93, 2362-2371.
- Gille D., Schmid A., Walther B., Vergeres G., 2018. Fermented Food and Non-Communicable Chronic Diseases: A Review. *Nutrients*, 10.
- Gonzalez-Garcia S., Esteve-Llorens X., Moreira M.T., Feijoo G., 2018. Carbon footprint and nutritional quality of different human dietary choices. *Sci. Total Environ.*, 644, 77-94.
- Gossec L., Pavy S., Pham T., Constantin A., Poiradeau S., Combe B., Flipo R.M., Goupille P., Le Loet X., Mariette X., Puechal X., Wendling D., Schaefferbeke T., Sibilia J., Tebib J., Cantagrel A., Dougados M., 2006. Nonpharmacological treatments in early rheumatoid arthritis: clinical practice guidelines based on published evidence and expert opinion. *Joint Bone Spine*, 73, 396-402.
- Guo J., Astrup A., Lovegrove J.A., Gijsbers L., Givens D.I., Soedamah-Muthu S.S., 2017. Milk and dairy consumption and risk of cardiovascular diseases and all-cause mortality: dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Eur. J. Epidemiol.*, 32, 269-287.
- Haider L.M., Schwingshackl L., Hoffmann G., Ekmekcioglu C., 2018. The effect of vegetarian diets on iron status in adults: A systematic review and meta-analysis. *Crit Rev Food Sci. Nutr.*, 58, 1359-1374.

- Hansen T.H., Madsen M.T.B., Jørgensen N.R., Cohen A.S., Hansen T., Vestergaard H., Pedersen O., Allin K.H., 2018. Bone turnover, calcium homeostasis, and vitamin D status in Danish vegans. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 72, 1046-1054.
- He J., Wang Y., Feng M., Zhang X., Jin Y.B., Li X., Su L.C., Liu S., Wang A.X., Chen X.M., Wu L.J., Yu X.X., Xu N., Liu X.Y., Yan H.M., Wang Y.F., Jia B., Li J.F., Tao J.M., Zhang F.X., Yu P., Cui L.F., Yang J., Li Z.B., Xie J.L., Wei P., Sun W.W., Gong L., Cheng Y.J., Huang C.B., Wang X.Y., Wang Y., Guo H.F., Jin H.T., Liu X., Wang G.C., Wang Y.H., He L., Zhao Y., Li X.X., Zhang Y., Guo J.P., Li Z.G., 2016. Dietary intake and risk of rheumatoid arthritis—a cross section multicenter study. *Clin. Rheumatol.*, 35, 2901-2908.
- Hibbeln J.R., Northstone K., Evans J., Golding J., 2018. Vegetarian diets and depressive symptoms among men. *J. Affect. Disord.*, 225, 13-17.
- Hipkiss A.R., 2006. Would carnosine or a carnivorous diet help suppress aging and associated pathologies? *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1067, 369-374.
- Hodgson J.M., Burke V., Beilin L.J., Puddey I.B., 2006. Partial substitution of carbohydrate intake with protein intake from lean red meat lowers blood pressure in hypertensive persons. *Am. J. Clin. Nutr.*, 83, 780-787.
- Hunt J.R., 2002. Moving toward a plant-based diet: are iron and zinc at risk? *Nutr. Rev.*, 60, 127-134.
- Jackson J., Williams R., McEvoy M., MacDonald-Wicks L., Patterson A., 2016. Is higher consumption of animal flesh foods associated with better iron status among adults in developed countries? *A Systematic Rev. Nutr.*, 8, 89.
- Klurfeld D.M., 2015. Research gaps in evaluating the relationship of meat and health. *Meat Sci.*, 109, 86-95.
- Krajcovicova-Kudlackova M., Buckova K., Klimes I., Sebockova E., 2003. Iodine deficiency in vegetarians and vegans. *Ann. Nutr. Metab.*, 47, 183-185.
- Laird E., Molloy A.M., McNulty H., Ward M., McCarroll K., Hoey L., Hughes C.F., Cunningham C., Strain J.J., Casey M.C., 2017. Greater yogurt consumption is associated with increased bone mineral density and physical function in older adults. *Osteoporos Int.*, 28, 2409-2419.
- Laisse S., Baumont R., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Veyssat P., Rémond D., Peyraud J.L., 2018. L'efficacité nette de conversion des aliments par les animaux d'élevage : une nouvelle approche pour évaluer la contribution de l'élevage à l'alimentation humaine. In: *Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage*. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 269-288.
- Landi F., Calvani R., Tosato M., Martone A.M., Picca A., Ortolani E., Saveria G., Salini S., Ramaschi M., Bernabei R., Marzetti E., 2017. Animal-derived protein consumption is associated with muscle mass and strength in community-dwellers: results from the milan expo survey. *J. Nutr. Health Aging.*, 21, 1050-1056.
- Leung A.M., Lamar A., He X., Braverman L.E., Pearce E.N., 2011. Iodine status and thyroid function of Boston-area vegetarians and vegans. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 96, E1303-1307.
- Martin O.C.B., Naud N., Tache S., Debrauwer L., Chevolleau S., Dupuy J., Chantelauze C., Durand D., Pujos-Guillot E., Blas Y.E.F., Urbano C., Kuhnle G.G.C., Sante-Lhoutellier V., Sayd T., Viala D., Blot A., Meunier N., Schlich P., Attaix D., Gueraud F., Scislowski V., Corpet D.E., Pierre F.H.F., 2018. Targeting Colon Luminal Lipid Peroxidation Limits Colon Carcinogenesis Associated with Red Meat Consumption. *Cancer Prev Res (Phila)*, 11, 569-580.
- Mast C., Dardevet D., Papet I., 2018. Impact of medication on protein and amino acid metabolism in the elderly: the sulfur amino acid and paracetamol case. *Nutr. Res. Rev.*, 1-14.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15, 401-415.
- Patel M., Sonesson U., Hesse A., 2017. Upgrading plant amino acids through cattle to improve the nutritional value for humans: effects of different production systems. *Animal*, 11, 519-528.
- Pawlak R., Lester S.E., Babatunde T., 2014. The prevalence of cobalamin deficiency among vegetarians assessed by serum vitamin B12: a review of literature. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 68, 541-548.
- Perignon M., Vieux F., Soler L.G., Masset G., Darmon N., 2017. Improving diet sustainability through evolution of food choices: review of epidemiological studies on the environmental impact of diets. *Nutr. Rev.*, 75, 2-17.
- Perignon M., Barre T., Gazan R., Amiot M.J., Darmon N., 2018. The bioavailability of iron, zinc, protein and vitamin A is highly variable in French individual diets: Impact on nutrient inadequacy assessment and relation with the animal-to-plant ratio of diets. *Food Chem.*, 238, 73-81.
- Pihlanto A., Mattila P., Mäkinen S., Pajari A.M., 2017. Bioactivities of alternative protein sources and their potential health benefits. *Food & Function*, 8, 3443-3458.
- Pimpin L., Wu J.H., Haskelberg H., Del Gobbo L., Mozaffarian D., 2016. Is butter back? a systematic review and meta-analysis of butter consumption and risk of cardiovascular disease, diabetes, and total mortality. *PLoS One*, 11, e0158118.
- Politis A., Olgiati P., Malitas P., Albani D., Signorini A., Polito L., De Mauro S., Zisaki A., Piperi C., Stamouli E., Mailis A., Batelli S., Forloni G., De Ronchi D., Kalofoutis A., Liappas I., Serretti A., 2010. Vitamin B12 levels in Alzheimer's disease: association with clinical features and cytokine production. *J. Alzheimers Dis.*, 19, 481-488.
- Rémond D., Machebeuf M., Yven C., Buffière C., Mioche L., Mosoni L., Patureau Mirand P., 2007. Postprandial whole-body protein metabolism after a meat meal is influenced by chewing efficiency in elderly subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, 85, 1286-1292.
- Rémond D., Shahar D.R., Gille D., Pinto P., Kachal J., Peyron M.A., Dos Santos C.N., Walther B., Bordoni A., Dupont D., Tomas-Cobos L., Vergères G., 2015. Understanding the gastrointestinal tract of the elderly to develop dietary solutions that prevent malnutrition. *Oncotarget*, 6, 13858-13898.
- Rohrmann S., Linseisen J., 2016. Processed meat: the real villain? *Proc. Nutr. Soc.*, 75, 233-241.
- Rosi A., Mena P., Pellegrini N., Turrioni S., Neviani E., Ferrocino I., Di Cagno R., Ruini L., Ciati R., Angelino D., Maddock J., Gobetti M., Brighenti F., Del Rio D., Scazzina F., 2017. Environmental impact of omnivorous, ovo-lacto-vegetarian, and vegan diet. *Sci. Rep.*, 7, 6105.
- Rutherford S.M., Fanning A.C., Miller B.J., Moughan P.J., 2015. Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats. *J. Nutr.*, 145, 372-379.
- Sanders T.A.B., 2009. DHA status of vegetarians. Prostaglandins, leukotrienes and essential fatty acids, 81, 137-141.
- Sanna A., Firinu D., Zavattari P., Valera P., 2018. Zinc status and autoimmunity: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 10.
- Savaiano D.A., 2014. Lactose digestion from yogurt: mechanism and relevance. *Am. J. Clin. Nutr.*, 99, 1251S-1255S.
- Savaiano D.A., Boushey C.J., McCabe G.P., 2006. Lactose intolerance symptoms assessed by meta-analysis: a grain of truth that leads to exaggeration. *J. Nutr.*, 136, 1107-1113.
- Schubach R., Wegmüller R., Berguerand C., Bui M., Herter-Aeberli I., 2017. Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur. J. Nutr.*, 56, 283-293.
- Schwingshackl L., Hoffmann G., Lampousi A.M., Knuppel S., Iqbal K., Schwedhelm C., Bechthold A., Schlesinger S., Boeing H., 2017a. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Eur. J. Epidemiol.*, 32, 363-375.
- Schwingshackl L., Schwedhelm C., Hoffmann G., Knuppel S., Iqbal K., Andrioli V., Bechthold A., Schlesinger S., Boeing H., 2017b. Food groups and risk of hypertension: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Adv. Nutr.*, 8, 793-803.
- Schwingshackl L., Schwedhelm C., Hoffmann G., Knuppel S., Laure Preterre A., Iqbal K., Bechthold A., De Henauw S., Michels N., Devleeschauwer B., Boeing H., Schlesinger S., 2018. Food groups and risk of colorectal cancer. *Int. J. Cancer*, 142, 1748-1758.
- Seppo L., Jauhainen T., Poussa T., Korpela R., 2003. A fermented milk high in bioactive peptides has a blood pressure-lowering effect in hypertensive subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, 77, 326-330.
- Shahidi F., Ambigaipalan P., 2018. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 9, 345-381.

- Shepon A., Eshel G., Noor E., Milo R., 2018. The opportunity cost of animal based diets exceeds all food losses. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 115, 3804-3809.
- Smedslund G., Byfuglien M.G., Olsen S.U., Hagen K.B., 2010. Effectiveness and safety of dietary interventions for rheumatoid arthritis: a systematic review of randomized controlled trials. *J. Am. Diet. Assoc.*, 110, 727-735.
- Solfrizzi V., Custodero C., Lozupone M., Imbimbo B.P., Valiani V., Agosti P., Schilardi A., D'Introno A., La Montagna M., Calvani M., Guerra V., Sardone R., Abbrescia D.I., Bellomo A., Greco A., Daniele A., Seripa D., Logroscino G., Sabba C., Panza F., 2017. Relationships of dietary patterns, foods, and micro- and macronutrients with alzheimer's disease and late-life cognitive disorders: a systematic review. *J. Alzheimers Dis.*, 59, 815-849.
- Turner N.D., Lloyd S.K., 2017. Association between red meat consumption and colon cancer: A systematic review of experimental results. *Exp. Biol. Med.* (Maywood), 242, 813-839.
- Van Zanten H.H.E., Herrero M., Van Hal O., Roos E., Muller A., Garnett T., Gerber P.J., Schader C., De Boer I.J.M., 2018. Defining a land boundary for sustainable livestock consumption. *Glob. Chang. Biol.*, 24, 4185-4194.
- WCRF, 2017. World cancer research fund international/american institute for cancer research. continuous update project report: Diet, Nutrition, Physical Activity and Cancer, 2017.
- WCRF, 2018. World cancer research fund international/american institute for cancer research. Food Nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective, 2018.
- Westhoek H., Lesschen J.P., Rood T., Wagner S., De Marco A., Murphy-Bokern D., Leip A., van Grinsven H., Sutton M.A., Oenema O., 2014. Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environ. Change*, 26, 196-205.
- White R.R., Hall M.B., 2017. Nutritional and greenhouse gas impacts of removing animals from US agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 114, E10301-E10308.
- WHO, 2002. The world health report 2002 – Reducing risks, promoting healthy life. World Health Organization.

## Résumé

L'image de l'élevage et des produits alimentaires d'origine animale n'a cessé de se dégrader suite aux crises sanitaires successives, aux problèmes de pollution, et plus récemment à la dénonciation de pratiques d'élevage et d'abattage ne respectant pas le bien-être animal. En réponse à cette détérioration d'image, des modes de consommation « alternatifs » se développent, allant du flexitarisme au végétarisme. Il faut cependant rappeler que sur le plan nutritionnel, en raison de la qualité de leur apport en protéines et minéraux (calcium, fer, zinc), et de leur spécificité dans l'apport en vitamine B12 et en acides gras polyinsaturés à longue chaîne, la présence de produits animaux dans l'alimentation garantit une couverture optimale des besoins de notre organisme. Bien que souvent attaqués sur le plan de la santé, il faut également rappeler que les études épidémiologiques ne mettent pas en évidence d'effet négatif de leur consommation lorsque celle-ci est modérée (moins de 50 % de l'apport protéique journalier, moins de 500 g de viande rouge par semaine). Il est clair cependant que dans les pays occidentaux, une consommation excessive de produits animaux a pu déséquilibrer l'alimentation et favoriser l'émergence de pathologies non transmissibles. Aussi, pour les gros consommateurs de produits animaux, une réduction de consommation s'impose. Celle-ci entraînerait une importante réduction (- 30 %) de l'impact environnemental des productions animales. Un élevage respectueux des animaux, minimisant les émissions de gaz à effet de serre et les rejets azotés et maximisant l'utilisation de produits végétaux non consommables par l'Homme, associé à une consommation humaine raisonnable, garantira le maintien des produits animaux dans l'alimentation de demain.

## Abstract

### **What role for animal products in tomorrow's human diet?**

*The image of livestock production, and animal food products, has steadily deteriorated following successive health crises, pollution problems, and more recently the denunciation of practices of breeding/slaughter not respecting animal welfare. "Alternative" modes of consumption are thereby developing, ranging from flexitarianism to veganism. However, it must be remembered that because of the quality of their protein and mineral supply, and their specificity in the supply of vitamin B12 and long chain polyunsaturated fatty acids, the presence of animal products in the diet secures an optimal coverage of our nutritional requirements. Although often attacked in terms of public health issues, it should also be remembered that epidemiological studies do not show any negative effect of their consumption when it is moderate (less than 50 % of the daily protein intake, less than 500 g of red meat per week). It is clear, however, that in Western countries, excessive consumption of animal products may have led to unbalanced diets, and favored the emergence of non-communicable diseases. Thus, for those consuming the largest amount of animal products, a reduction in consumption is necessary. This would lead to a significant reduction (- 30 %) in the environmental impact of livestock production. Animal-friendly livestock farming, minimizing greenhouse gas emissions and nitrogen emissions and maximizing the use of non-edible plant products, coupled with reasonable eating behaviors, will ensure the maintenance of animal products in tomorrow's diet.*

RÉMOND D., 2019. Quelle place pour les produits animaux dans l'alimentation de demain ? In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 147-158.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2500>



# Les effets du processus d'intensification de l'élevage dans les territoires

Joao Pedro DOMINGUES<sup>1</sup>, Thierry BONAUDO<sup>1</sup>, Benoit GABRIELLE<sup>2</sup>, Christophe PERROT<sup>3</sup>, Yves TRÉGARO<sup>4</sup>, Muriel TICHIT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR SAD-APT, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France

<sup>2</sup>UMR ÉcoSys, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France

<sup>3</sup>Institut de l'Élevage, Département Économie, 75012, Paris, France

<sup>4</sup>Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 75007, Paris, France

Courriel : domi.joaopedro@gmail.com

■ L'intensification de l'élevage peut être appréhendée comme un processus de transformation des territoires en termes de cheptels et de productions animales, d'usage des sols et de paramètres socioéconomiques. Nous proposons cette lecture au niveau français entre 1938 et 2010. Nous montrons que la transformation des territoires a divergé assez rapidement et induit des effets de différentes natures. Les bouquets de services actuellement présents sur les territoires d'élevage sont une des conséquences des niveaux d'intensification atteints bien avant 2010.

## Introduction

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, l'augmentation de la production agricole a été obtenue grâce à deux processus, une intensification et une spécialisation des systèmes de production, engendrant de nombreux impacts environnementaux et socioéconomiques. L'élevage est désormais confronté au double défi de maintenir un niveau élevé de production tout en diminuant ses impacts (Godfray *et al.*, 2012 ; Gerber *et al.*, 2014). Dans un contexte où le caractère durable de l'élevage est remis en question dans certains territoires, il est important de comprendre les transformations passées, leurs déclinaisons territoriales et leurs effets notamment en termes de services rendus.

De nombreuses études ont analysé les déterminants de l'intensification de l'élevage, en privilégiant une entrée économique (demande croissante de produits animaux, politique agricole...), ou technique (progrès en génétique et

reproduction, nutrition, santé animale, Thornton, 2010) ou encore une entrée sur les changements d'utilisation des sols (Alexander *et al.*, 2015). Cependant, la dynamique d'intensification de l'élevage et ses déclinaisons territoriales sont engendrées par des combinaisons de déterminants et sur des pas de temps relativement longs. Peu de travaux à ce jour ont apporté une vision dynamique, multi-déterminants et territorialisée de l'intensification.

Les processus d'intensification sont multiples et complexes. La notion d'intensification englobe celle d'intensité agricole qui se réfère à une production par unité de temps (*i.e.* une productivité) en fonction d'un ou plusieurs facteurs de production (Teillard *et al.*, 2012 ; Douillet et Girard, 2013). La productivité mesure l'efficacité du processus de production quant à l'utilisation des facteurs de production tels que la terre, le travail et le capital. Tirel (1991) a défini l'intensification comme la combinaison d'un de ces facteurs à des quantités accrues d'autres facteurs, alors

que l'extensification se caractérise par une combinaison d'un des facteurs à des doses moindres d'autres facteurs. L'intensification peut être considérée comme un processus qui augmente la productivité des terres en augmentant l'utilisation des facteurs de production par unité de surface (Shriar, 2000), ou comme l'ensemble des combinaisons possibles des facteurs de production qui permettent d'atteindre une production plus élevée par unité de surface. Par conséquent, l'intensification peut être mesurée par la quantité de produits animaux par unité de surface ou par animal ainsi que par la quantité de facteurs de production mobilisée par unité de surface.

En France, l'élevage couvre un large gradient d'intensité, est encore très diversifié et influence fortement l'utilisation des terres. Grâce à cette diversité de situation, la France a joué un rôle pionnier pour proposer une lecture des contributions positives de l'élevage en termes de services rendus à la société (Ryschawy *et al.*, 2015 ; Ryschawy *et al.*,

2017). Dans le prolongement de ce travail, l'expertise scientifique collective réalisée par l'INRA (Dumont *et al.*, 2016) a apporté un vue panoramique des rôles, impacts et services issus de l'élevage européen et de ses produits. Suite à cet expertise plusieurs auteurs ont proposé des cadres conceptuels pour analyser conjointement les contributions positives et négatives de l'élevage au sein des territoires (Duru *et al.*, 2017 ; Dumont *et al.*, 2017). L'expertise a également permis d'analyser les liens entre fourniture de services et caractéristiques structurelles des zones d'élevage (Hercule *et al.*, 2017) et d'explorer les caractéristiques des bouquets de services des territoires herbagers au regard des facteurs historiques de transformation de ces territoires (Vollet *et al.*, 2017).

En privilégiant une analyse historique pour étudier la transformation des activités d'élevage dans le temps et dans l'espace, l'objectif de cet article est d'analyser le processus d'intensification à l'échelle nationale et départementale pour expliquer la configuration actuelle des territoires d'élevage et la diversité des services rendus à la société. Dans une première partie, nous illustrons les trajectoires d'intensification de l'élevage français de 1938 à 2010 en hiérarchisant les déterminants techniques, socioéconomiques et d'usage des sols. Dans une deuxième partie, nous montrons les conséquences de ces trajectoires sur la fourniture de services au sein des deux principales trajectoires d'intensification. Nous discutons ces trajectoires et ces bouquets à l'aune des facteurs historiques, techniques et politiques qui ont piloté ces transformations des territoires d'élevage.

## 1. Le processus d'intensification de l'élevage entre 1938 et 2010

Notre analyse s'appuie sur une base de données décrivant les caractères régionaux de l'élevage français. Elle a été construite par des économistes et des zootechniciens (Cavailhès *et al.*, 1987) à partir d'un travail méthodologique de réconciliation des données

des recensements de l'agriculture entre 1938 et 1988. Cette base a été étendue jusqu'en 2010 dans le cadre de la thèse de doctorat de l'auteur (Domingues, 2017). Elle rassemble pour 88 départements français une batterie d'indicateurs que nous avons classés en trois catégories : socioéconomique, utilisation des terres et productivité (tableau 1).

### ■ 1.1. Intensification au niveau national

Les changements les plus importants du processus d'intensification de l'élevage concernent les indicateurs socioéconomiques. L'indicateur de la productivité du travail a plus que quadruplé entre 1938 et 2010 (tableau 1). La densité de tracteurs, mesurée à partir du nombre d'immatriculations de tracteurs agricoles par ha de SAU est passée de 0,0020 à 0,0053 entre 1955 et 2010. En revanche, le parc de tracteurs a été multiplié par 30, passant de 35 646 en 1941 à 1 058 755 tracteurs agricoles en 2013 ; soit un tracteur pour 833 ha de SAU en 1941 et un tracteur pour 26 ha de SAU en 2013. Le nombre d'immatriculation par an capture l'évolution des investissements en mécanisation agricole ; celle-ci n'a pas été homogène sur la période analysée (pic d'investissement en 1970). Ces investissements en mécanisation ont contribué à ce que la productivité du travail de passe de 8,6 à 35,9 hectares par Unité de Travail Annuel (UTA). Le tableau 1 souligne l'importante réduction du nombre d'exploitations agricoles, qui passe de 2 millions en 1938 à 500 000 en 2010, associée à un agrandissement de leur surface. Ces changements traduisent l'exode rural de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle et la substitution de la traction animale par la mécanisation (Allaire, 1988 ; Gambino, 2014).

Des progrès considérables sont également réalisés sur la productivité. Les évolutions les plus fortes concernent la productivité laitière (par vache et par ha) et la productivité et densité des monogastriques. Cette dernière augmente de 170 %, en raison du développement des effectifs monogastriques (+ 130 %) combiné à une légère contraction de la surface agricole (- 15 %). La production laitière par hectare de surface

fourragère est multipliée par 2,4 passant de 758 à 1 856 kg de lait/ha entre 1938 et 2010. La production de viande herbivore par hectare de surface fourragère a pratiquement doublé, passant de 60 à 118 kg viande/ha entre 1938 et 2010. Ces accroissements de productivité au niveau national résultent de l'amélioration des performances des animaux en termes de lait et de viande couplée à une surface fourragère intensifiée et plus réduite. L'intensification de la surface fourragère est notamment due à l'introduction du maïs ensilage, inexistant dans l'avant-guerre, et qui occupe en 2010 11 % de la surface fourragère (Institut de l'Élevage, 2013). Les accroissements de productivité sont également couplés à une augmentation des chargements, + 50 et + 170 % pour les herbivores et les monogastriques, respectivement.

Après un maximum historique au début des années 1970 (60 % de surfaces fourragères dans la SAU dont 41 % pour les seules surfaces toujours en herbe), la place des surfaces fourragères est en repli. Mais ce repli a été beaucoup plus rapide dans les années 1970-1980 avec le développement du maïs ensilage ou dans les années 1990 avec la conversion des prairies en cultures suite à la réforme de la PAC de 1992, qu'entre 2000 et 2010 où la place relative des surfaces fourragères n'a pratiquement pas bougé au niveau national (- 0,2 point de SAU à 46,5 %).

Comparativement à 1938, les éleveurs de 2010 dépendent fortement des intrants, ce que reflète le ratio de dépendance (part des dépenses en alimentation animale dans la production animale finale) qui augmente de 78 % sur la période. Cette augmentation est pour partie tirée par les UGB monogastriques, plus consommateurs d'intrants, et dont la proportion dans le cheptel français passe de 18 à 28 %. Cette augmentation est aussi pour partie tirée par un accroissement des importations des protéines pour l'alimentation animale, qui passent de 350 000 tonnes en 1938 à 2,386 millions de tonnes en 2010, traduisant ainsi une baisse d'autonomie protéique de 94 à 77 %, respectivement (Commission de modernisation de la production animale, 1946).

**Tableau 1. Évolution nationale de la productivité, de l'usage des sols et des indicateurs socioéconomiques entre 1938 et 2010 (adapté de Domingues et al., 2018 à partir des données Cavailhès et al., 1987 ; Agreste, 2015). Pour chaque catégorie, les indicateurs sont présentés par ordre décroissant de variation 1938-2010.**

		1938	2010	% de variation entre 1938 et 2010
Productivité de la terre	Densité de monogastriques (UGB/ha SAU)	0,10	0,28	+ 170
	Productivité laitière (litre/ha SFP)*	758	1 856	+ 145
	Effectifs de monogastriques (1 000 UGB)	3 292	7 582	+ 130
	Productivité de la viande (kg/ha SFP)*	60	118	+ 95
	Densité d'herbivores (UGB/ha SAU)	0,47	0,70	+ 50%
	Effectifs d'animaux (1 000 UGB <sup>1</sup> )	17 916	26 368	+ 47
	Effectifs d'herbivores (1 000 UGB <sup>1</sup> )	14 624	18 787	+ 28
Utilisation sol	Surface fourragère principale (1 000 ha)	18 806	12 380	- 34
	SFP/SAU	0,60	0,46	- 23
	Surface agricole utile dans surface du département*	0,58	0,49	- 15
	Surface agricole utile (1 000 ha)	31 359	26 795	- 15
Socioéconomique	Densité de tracteurs (nb tracteurs <sup>2</sup> /ha SAU)*	0,0020 <sup>3</sup>	0,0053	+ 165
	Productivité du travail (ha/UTH)	8,6	35,9	+ 316
	Superficie moyenne des exploitations (ha)	15,2	55,0	+ 263
	Unités de travail annuel (1 000 UTA)	3 637	747	- 79
	Ratio de dépendance aux intrants <sup>4</sup>	0,15	0,28	+ 78
	Nombre d'exploitations	2 067	487	- 76

<sup>1</sup> UGB = Unité Gros Bovins ; il s'agit des UGB « alimentation totale » qui permettent de sommer herbivores et monogastriques (cheptel pris en compte : bovin, ovin, caprin, équin, porc, volaille) ;

<sup>2</sup> nombre de tracteurs immatriculés au cours de l'année n ;

<sup>3</sup> pour cette valeur l'année de référence est 1955 ;

<sup>4</sup> part des dépenses en alimentation animale sur la production animale finale ;

\* moyenne des 88 départements métropolitains.

Malgré une légère réduction de la surface agricole utile (- 15%) et de la surface fourragère principale (- 35 %), l'élevage français double sa production entre 1938 et 2010, grâce à une intensification de l'usage des sols (révolution fourragère avec des espèces végétales plus productives, intrants), des gains de productivité du travail permis par la mécanisation et une augmentation des densités animales. Ces gains de production ne résultent pas uniquement des transformations du territoire métropoli-

tain, ils sont aussi permis par des importations de concentrés (e.g. des produits de substitution des céréales dans les années 1990 et des tourteaux) induisant une externalisation de la demande de terre nécessaire pour nourrir le cheptel français (Chatzimpiros et Barles, 2010).

En résumé, la tendance globale de transformation de l'élevage français est celle d'une augmentation continue de la productivité, avec toutefois une exception concernant la productivité

de viande herbivore. Celle-ci atteint son maximum en 2000 (124 kg de viande par hectare de surface fourragère) pour finalement retrouver en 2010 son niveau de 1980 (118 kg/ha). Les causes sont diverses. D'une part, la recherche d'une augmentation de la densité de bovins par hectare pour maximiser les primes (PSBM<sup>1</sup> et PMTVA-ABA<sup>2</sup>), et dans

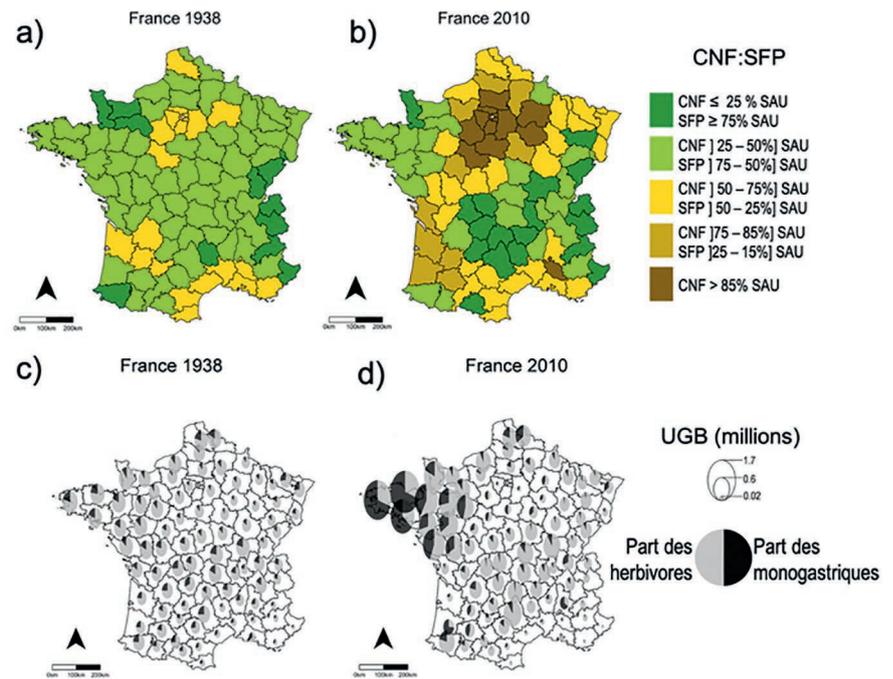
1 PSBM : Prime Spéciale Bovin Mâle.

2 PMTVA-ABA : Prime au Maintien du Troupeau de Vaches Allaitantes puis Aide aux Bovins Allaitants.

une moindre mesure et plus récemment un moindre intérêt à un alourdissement des carcasses et à une recherche d'une plus forte autonomie fourragère des élevages. D'autre part, on observe au cours du temps des évolutions asynchrones de la SFP et des UGB. Jusqu'en 2000 (notamment de 1988 à 2000), la SFP se réduit plus vite que les UGB dans de nombreuses zones ; il s'agit ici d'une conversion de la SFP pour la production céréalière dans le contexte de la réforme de 1992 de la PAC. De 2000 à 2010 c'est tout l'inverse qui se produit. Des baisses plus fortes des UGB que dans la SFP dans un contexte PAC de pression à l'extensification, avec le plafonnement des aides et du chargement, le complément extensif, la Prime Herbe, le contrat territorial d'exploitation herbagère. Enfin, la stagnation de la production est aussi une conséquence d'évènements difficiles auxquels les herbivores ont été exposés (ESB, FA, sécheresse 2003).

Cette évolution nationale masque une forte différenciation des transformations entre départements. En 1938, l'élevage est présent dans tous les départements : 80 % des départements ont au moins 50 % de leur SAU allouée à la production de fourrage et le cheptel est réparti dans tous les départements (figure 1a-c). En 2010, l'élevage a régressé dans la majorité des départements et l'usage des sols s'est spécialisé vers les grandes cultures (CNF = Cultures Non Fourragères) avec une part importante de la surface fourragère qui a été transformée en terres arables. Le tiers du territoire national se vide inexorablement de ses activités d'élevages (Perrot et al., 2015). En 2010, seuls 50 % des départements ont au moins 50 % de leur SAU allouée à la surface fourragère (figure 1-b) et les effectifs animaux sont concentrés dans un nombre limité de départements localisés dans le Grand Ouest et le Massif central et sa périphérie ; ces deux zones hébergeant respectivement 50 % (essentiellement monogastrique) et 30 % (essentiellement herbivore) du cheptel national (figure 1-d). La distribution des effectifs monogastriques et herbivores en 2010 montre une superposition de bovins lait et viande, porcins et volaille dans le Grand Ouest, alors que le Massif

**Figure 1. Transformation de l'occupation des sols et du cheptel en France. (a-b) Occupation des sols en 1938 et 2010 ; (c-d) Effectifs monogastriques et herbivores en 1938 et 2010 (Source : Domingues et al., 2018 ; d'après Cavailhès et al., 1987).**



Chaque département est décrit par la part de la Surface Agricole Utile (SAU) allouée en Surface fourragère (SFP) ou en surface en cultures non fourragères permanentes et annuelles (CNF : céréales et oléo-protéagineux, viticulture, maraichages... ). SAU = SFP + CNF.

central et sa périphérie combinent essentiellement des bovins viande, et dans une moindre mesure des bovins lait et des ovins. Cette ségrégation territoriale où les cultures se concentrent sur les meilleures terres et l'élevage herbivore valorise les surfaces de moindre potentiel agronomique est observée dans de nombreux pays européens (par exemple Krausmann et al., 2003).

Les stratégies des groupes sociaux et leur réponse aux facteurs externes fournissent une clé de compréhension des différenciations des transformations entre départements (Bonnemaire et Raichon, 1990). Ces auteurs soulignent l'importance des facteurs externes aux territoires, et voire même externes au secteur agricole, tels que la révolution des transports à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les besoins de main-d'œuvre dans l'industrie à partir de 1950, l'augmentation de l'offre de produits agricoles et de la demande des consommateurs en produits animaux favorisée par l'environnement économique instauré par la PAC depuis 1957 (protection aux

frontières, soutien interne, aide à l'exportation en cas d'excédents) ; pour le secteur bovin lait, on peut citer : l'instauration des quotas laitiers, l'importation de la race Holstein, l'introduction massive du maïs ensilage, les progrès du machinisme agricole. Chaque territoire selon ses spécificités naturelles, productives et sociales du moment a composé une réponse technique et organisationnelle à ces facteurs (*ibid.*). Cette différenciation des transformations entre territoires invite à examiner les processus d'intensification au niveau des départements.

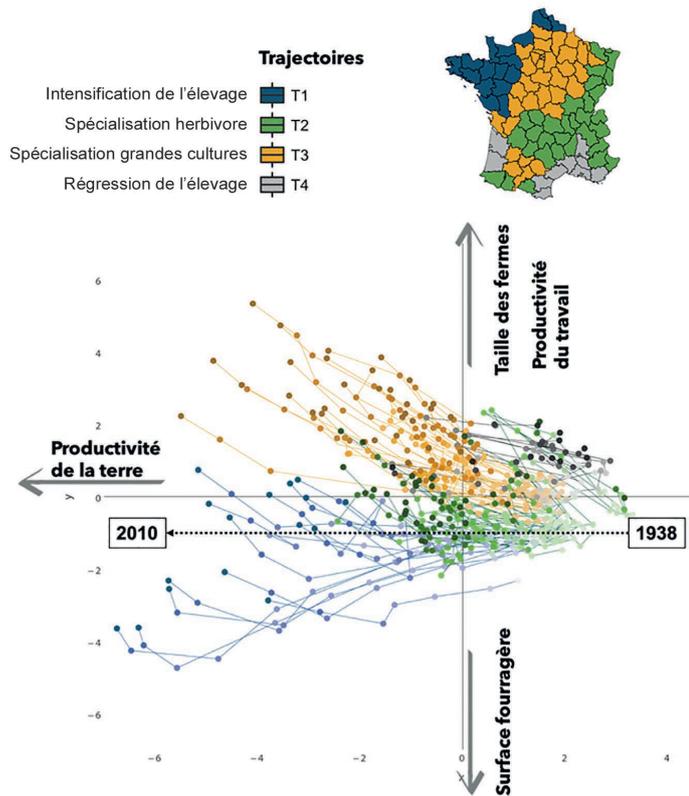
## ■ 1.2. Intensification au niveau des départements

Les transformations au niveau national ne se sont pas déployées de façon homogène sur l'ensemble des départements. Le processus d'intensification de l'élevage s'est spatialement différencié au cours du temps (Domingues et al., 2018). Ces auteurs synthétisent cette différenciation spatiale en mobilisant une analyse multivariée de données qui permet *i*) de retirer l'effet absolu

du changement dans le temps, *ii*) puis d'identifier les divers changements/trajectoires des départements et *iii*) de classer les groupes de départements ayant connu une trajectoire d'intensification similaire. Pour ce faire, plusieurs méthodes d'analyse multivariée ont été utilisées, à savoir une Analyse en Composantes Principales (intra-classe) suivi d'une Classification Ascendante Hiérarchique, ce qui a permis d'identifier quatre types de trajectoires d'intensification. Ces quatre types s'organisent autour de deux axes (*figure 2*) : l'axe des abscisses traduit l'expansion/concentration des effectifs animaux et l'accroissement de la productivité ; l'axe des ordonnées traduit l'augmentation de productivité du travail et de la taille des exploitations.

La trajectoire à forte intensification de l'élevage (T1-bleu) rassemble 16 départements du Grand Ouest. Elle correspond aux gains de productivité animale les plus importants sur la période 1938-2010. Avant la deuxième guerre mondiale, aucune spécialisation ne se dégage sur cet espace dont le modèle dominant est celui de la polyculture élevage constitué de nombreuses petites exploitations, souvent en fermage, utilisant une main-d'œuvre abondante. À partir de 1965, d'importants changements techniques transforment les exploitations de polyculture élevage (*figure 3*). Celles-ci suivent une intensification laitière permise par le maïs fourrage et les prairies temporaires, couplée au remplacement de la race Bretonne par des races plus productives. Le rendement laitier le plus élevé de France est ainsi atteint en Bretagne en 1970 (1 939 litres par ha de SFP – T1). Le développement des élevages hors-sol de volailles et des porcins permet de surmonter la contrainte foncière et se trouve facilité par la présence conjointe des entreprises de fabrication d'aliment du bétail et de l'industrie d'abattage. La proximité des grands ports de Lorient, Brest, Roscoff, Saint Malo et le Légué est en effet un atout considérable pour l'industrie agroalimentaire d'amont et d'aval. Ces transformations sont impulsées par de jeunes agriculteurs encadrés par la Jeunesse Agricole Catholique, guidés par la notion de

**Figure 2.** Trajectoires des départements métropolitains entre 1938 et 2010 (Source : Domingues, 2017 d'après les données mise à jour de Cavailhès et al., 1987).



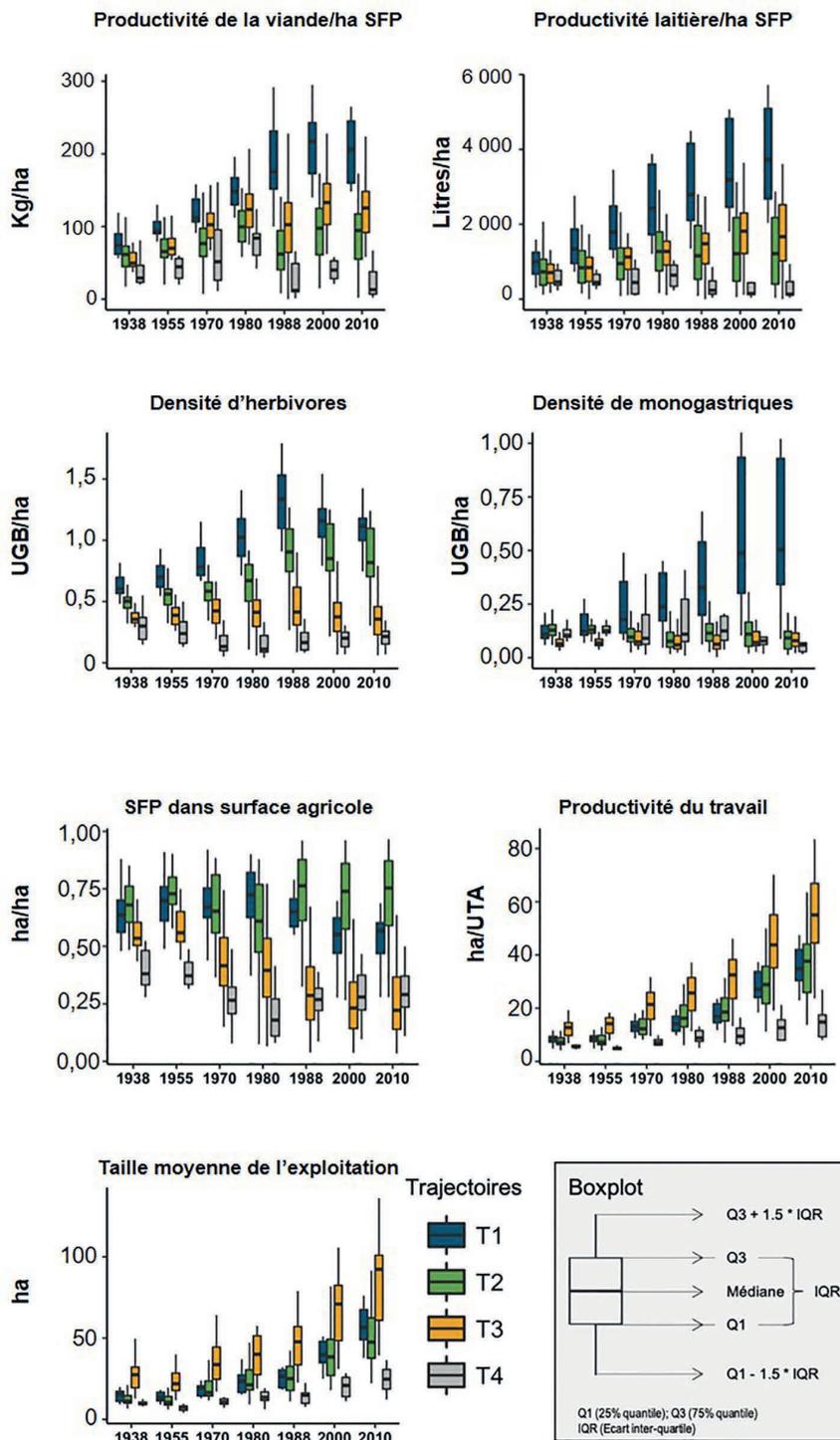
La trajectoire de chaque département est décrite à sept dates (1938, 1955, 1970, 1980, 1988, 2000 et 2010). Quatre types de trajectoires sont identifiés. T1 (bleu) = trajectoire à forte intensification élevage ; T2 (vert) = trajectoire à forte spécialisation herbivore ; T3 (orange) = trajectoire à spécialisation grandes cultures ; T4 (gris) = trajectoire de recul de l'élevage et de l'agriculture. Les variables (Productivité de la terre, taille des fermes, productivité du travail, surface fourragère) augmentent dans le sens de la flèche.

progrès technique, appuyés par des services de vulgarisation et animés de la volonté d'atteindre la parité de revenu avec les autres professions (Daucé et Perrier-Cornet, 1987). La trajectoire T1 se différencie donc par une population monogastrique multipliée par six, passant de 59 000 à 344 000 UGB/département entre 1938 et 2010. En 2010, les départements classés en T1 hébergent 72 % de la population monogastrique du pays. L'augmentation relative de la densité de monogastriques (+ 601 %), passant de 0,12 à 0,84 UGB/ha entre 1938 et 2010, est supérieure à la croissance de la population animale (+ 494 %) en raison du déclin de la surface agricole utile (– 15 %). La densité des monogastriques atteint son maximum dans les années 2000 et se stabilise. Pour les herbivores, on observe une densité croissante jusqu'à 1988 suivie d'un retour vers les niveaux des années

1980. Cette dynamique reflète à la fois la disparition de nombreux élevages et l'augmentation de la productivité par animal (notamment laitière). La mécanisation se développe massivement (multipliée par 9) pour soutenir la demande en concentrés et en fourrages annuels. Elle permet ainsi un quadruplement de la productivité du travail qui passe de 8,8 à 35,6 ha/UTA entre 1938 et 2010. Des gains considérables sont réalisés sur la productivité laitière qui passe de 990 à 3 773 litres de lait par hectare de surface fourragère entre 1938 et 2010. Ces gains de productivité sont réalisés au prix d'une dépendance accrue aux intrants qui triple sur la période tant pour les élevages de monogastriques que laitiers.

La trajectoire à forte spécialisation herbivore (T2 – vert) rassemble 32 départements localisés dans le Massif central et les montagnes de

**Figure 3.** Trajectoires des départements métropolitains entre 1938 et 2010 (Source : Domingues, 2017 ; d'après les données mises à jour de Cavailhès et al., 1987).



l'Est et Sud-Ouest. Ces départements se sont spécialisés progressivement sur les herbivores. À la différence des trois autres trajectoires qui ont perdu de la surface fourragère (entre - 10 et - 30 %), T2 a maintenu sa surface fourragère (+ 5 % entre 1938 et 2010) (figure 3). Elle représente 73 % de la SAU en 2010. Dans T2, la popu-

lation herbivore augmente de 62 % entre 1938 et 1988 puis se stabilise, alors que celle des monogastriques décline de 35 % sur toute la période. Les gains en productivité en lait et en viande les plus prononcés sont atteints entre les années 1970-1980. Ils sont plus réguliers pour le lait que pour la viande. Le caractère herbager de T2 est

confirmé par le ratio de dépendance aux intrants (part des dépenses en alimentation animale dans la production animale finale) (0.23 en 2010) qui est inférieur de 34 % à celui de T1. Les élevages herbivores de T2 consomment principalement des ressources locales. Les gains en productivité du travail et l'agrandissement de la taille des exploitations suivent la tendance nationale, et atteignent en 2010 le même niveau que les départements de T1. Les trajectoires du Massif central et des montagnes de l'Est bien que similaires recouvrent des réalités distinctes. Du côté du Massif jurassien, la spécialisation dans l'élevage laitier est ancienne, construite autour de la fabrication du gruyère sur des bases communautaires très fortes (éleveurs, coopératives, fromagers, petit artisans). À la différence de T1, les exploitations de cette trajectoire sont engagées dans les rapports marchands depuis la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle. La technicité autour de la race montbéliarde est facilitée par la grande qualification des éleveurs jurassiens ; cette technicité souligne qu'il n'y a pas de déterminisme inéluctable aux conditions naturelles pourtant souvent citées pour expliquer les mécanismes du développement régional inégal des zones dites défavorisées (Bonnemaire et Raichon, 1990). À la différence de la Bretagne, la modernisation se réalise de façon conflictuelle, à coups de mécanismes d'exclusion et de sélection sociale (Perrier-Cornet, 1986). Les éleveurs de montbéliardes démontrent leur efficacité économique dès les années 1960, même si le développement agricole produit des laissés pour compte de la modernisation (*ibid*). En ce qui concerne le Massif central, du côté du contrefort Est, le Charolais, la spécialisation viande remonte au début du XIX<sup>e</sup> siècle avec l'émergence dans le Nivernais d'un système agro-industriel articulant sidérurgie / métallurgie et l'élevage des bœufs de Charroi (Vigreux, 1970). Début du XX<sup>e</sup> siècle, ce système se consolide avec l'arrivée de céréales du Nouveau Monde à bas coûts et les crédits d'em-bouche qui vont consolider la vocation herbagère de l'aire charolaise (Labasse, 1955). Le système charolais s'étend géographiquement malgré la déloca-

lisation de l'industrie vers la Lorraine. Après la seconde Guerre mondiale la région charolaise suit une trajectoire d'extensification en opposition à la trajectoire d'intensification observée pour l'ensemble de la France. Malgré son avance en termes de génétique, l'organisation de la sélection de la race charolaise n'a pas connu la même révolution que celle du troupeau laitier (Cavailhès, 1989). À cela s'ajoute le caractère très extensif de l'élevage, basé sur la prairie naturelle, et des faibles niveaux d'aliments concentrés et maïs fourrage dans les systèmes d'alimentation. C'est pourquoi, on retrouve une productivité brute du travail plutôt basse comparée à celle de T1 où l'intensification s'est consolidée autour des forts gains de productivité brute du travail. Du côté du contrefort Ouest, le Limousin, le cheptel de la race Limousine, après avoir été un fort recul au début du XX<sup>e</sup> siècle, a connu un fort développement dans les années 1960. Enfin, dans les zones de montagne, la production laitière s'est développée autour des AOP Bleu d'Auvergne, Cantal Fourme d'Ambert, Laguiole, Saint Nectaire, Salers.

La trajectoire à forte spécialisation en grandes cultures (T3 – orange) rassemble 30 départements des grands bassins céréaliers (Parisien et Sud-Ouest). Cette trajectoire a connu une forte évolution de la taille moyenne des exploitations (passant de 27 à 85 ha entre 1938 et 2010) ainsi que la plus forte augmentation de productivité du travail (passant de 12,4 à 55,6 ha/UTA entre 1938 et 2010) (figure 3). L'évolution des effectifs animaux au fil du temps est modeste pour les monogastriques (+ 8 %), voire décline légèrement pour les herbivores (– 6 %). La surface fourragère passe de 229 à 102 000 ha entre 1938 et 2010, au profit des terres arables. Le déclin de la surface fourragère a été important à deux périodes (1955-70 et 1980-88) et se stabilise depuis 2000 autour de 27 % de la SAU. Cette spécialisation grandes cultures est moins accentuée pour les départements de la périphérie des deux bassins, de sorte qu'en 2010 T3 héberge encore 24 % de la surface fourragère nationale avec des élevages viande ou lait relativement productifs.

La productivité herbivore viande et lait a augmenté de 117 et 138 % sur la période 1938-2010 (atteignant 126 kg viande et 1 736 kg lait par hectare de surface fourragère).

La trajectoire à forte régression de l'élevage (T4 – gris) rassemble 10 départements dont la spécificité est double. D'une part, un déclin de 28 % de la SAU qui passe de 2,3 à 1,6 million d'hectares et positionne T4 très en dessous de la moyenne nationale en 2010 (26 % versus 49 %). D'autre part, le déclin de 48 % de la surface fourragère, passant de 0,9 à 0,5 million d'hectares entre 1938 et 2010, ce qui s'accompagne d'une diminution de moitié de la population herbivore passant de 67 à 34 000 UGB (figure 3). Au terme de cette transformation, l'élevage devient minoritaire dans les départements de T4. Le cheptel décroît de 28 % sur la période passant de 931 à 669 000 UGB entre 1938 et 2010, de sorte que ces départements n'hébergent plus qu'une proportion mineure du cheptel national (2,5 %). De plus, la productivité animale diminue plus fortement pour le lait (616 à 444 litres de lait par hectare de surface fourragère) que pour la viande (39 à 32 kg de viande par hectare de surface fourragère).

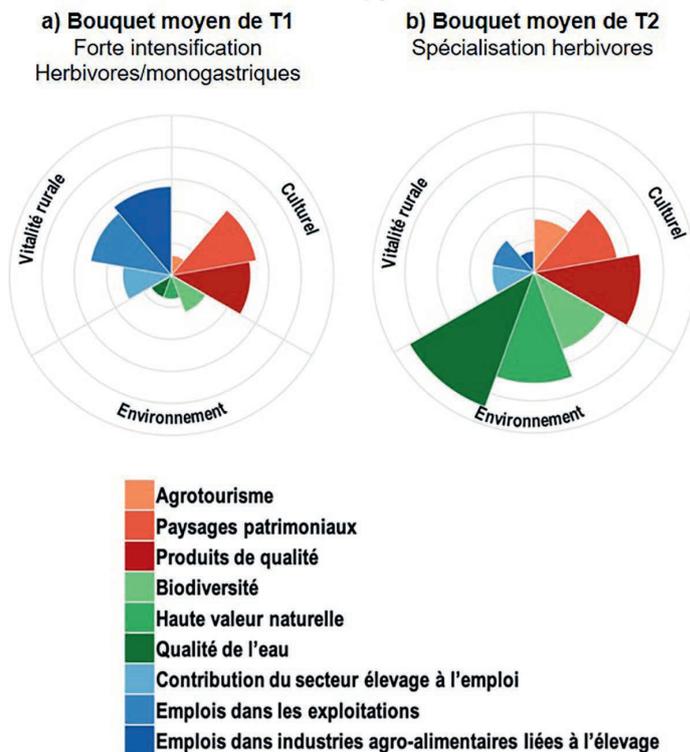
## 2. Les effets du processus d'intensification de l'élevage

Ce processus d'intensification spatialement différencié engendre des territoires d'élevage contrastés, en termes de production, productivité et densité animale, d'utilisation des sols. Il génère des niveaux contrastés de services et bouquets de services rendus par l'élevage à la société. Nous remobilisons les travaux du GIS Élevage Demain qui ont produit la première photographie instantanée des services rendus par l'élevage au niveau des départements (Ryschawy *et al.*, 2017). Cette photographie offre une quantification des contributions positives de l'élevage au sein des territoires. Ces contributions recouvrent les dimensions environnementale, culturelle et sociale de l'élevage. Les indica-

teurs développés par ces auteurs nous permettent de construire le bouquet moyen de services pour la trajectoire à forte intensification et celui de la trajectoire spécialisation herbivore (figure 4).

Le bouquet moyen de la trajectoire spécialisation herbivore (T2) concerne 27 % de la SAU nationale, 23 % de la production de protéines animales (viandes, lait et œuf). Il révèle une forte expression des services de qualité environnementale combinée à un bon niveau de services culturels mais couplée à un faible niveau de vitalité rurale. Les services de qualité environnementale sont particulièrement élevés en termes de qualité de l'eau, de haute valeur naturelle et dans une moindre mesure de biodiversité. Les services culturels sont élevés en termes de produits sous signes officiels de qualité, de paysages patrimoniaux et dans une moindre mesure d'agrotourisme. Enfin, les services de vitalité rurale sont très faibles en ce qui concerne les emplois dans les industries agroalimentaires, et légèrement plus élevés pour les emplois dans les exploitations d'élevage et pour la part des emplois totaux liés à l'élevage dans le département. Le niveau élevé de services de qualité environnementale du bouquet moyen de cette trajectoire fait écho à l'évolution de l'élevage du Massif jurassien qui combine des caractéristiques extensives (agrandissement des exploitations et production fourragère issue de la prairie permanente, interdiction de l'ensilage) et des caractéristiques intensives (amélioration de la race locale Montbéliarde et recours aux aliments concentrés). Il est intéressant de noter que l'importance des services culturels découle aussi de facteurs économiques car l'appellation d'origine a apporté un avantage important en compensant les surcoûts de la production de lait et de sa transformation par la qualité du produit final. C'est donc un effort des éleveurs et des affineurs qui va permettre de démarquer le plus possible le gruyère de Comté de l'emmental industriel produit en Bretagne grâce à une structure interprofessionnelle qui régit les règles de fabrication.

**Figure 4.** Bouquets de services rendus par l'élevage. a) Bouquet moyen de la trajectoire à forte intensification élevage ; b) Bouquet moyen de la trajectoire à spécialisation herbivore. (Source : Domingues (2017) d'après données de Ryschawy et al., 2017).



Le bouquet moyen est calculé pour l'ensemble des départements de chaque trajectoire. Bouquet moyen T1 construit à partir de 16 départements du Grand Ouest ; bouquet moyen T2 construit à partir de 32 départements du Massif central et des montagnes de l'Est et Sud-Ouest.

Le bouquet moyen de la trajectoire intensification herbivore et monogastrique concerne 25 % de la SAU nationale et 57 % de la production de protéines animales. Il révèle une forte expression des services de vitalité rurale combinée à un bon niveau de services culturels associée à un faible niveau de qualité environnementale. Les services de vitalité rurale sont particulièrement élevés en termes d'emplois créés dans les exploitations et les industries agroalimentaires. Ils restent faibles en termes de contribution aux emplois totaux car ces territoires offrent de nombreuses opportunités d'emplois en dehors du secteur agricole. Cette forte densité d'emplois liés aux filières animales résulte de facteurs historiques. La faible quantité de terre par actif a initialement orienté le processus de transformation de l'agriculture vers une intensification des surfaces. Plus tard, les effets conjoints des mécanismes de marché

et des régulations publiques ont façonné le caractère intensif de cette trajectoire. La concentration des productions due aux avantages qu'ont les exploitations à se localiser à proximité de leurs clients à l'aval et de leurs fournisseurs à l'amont a favorisé les économies d'échelle et d'agglomération (Roguet *et al.*, 2015). Ceci s'observe par exemple, au niveau de la proximité des élevages hors-sol aux ports, ou encore au niveau des courtes distances entre les producteurs de lait et les laiteries. Ces facteurs historiques permettent de comprendre les effets acquis de la trajectoire T1 en termes de vitalité rurale, à la fois pour les emplois dans les exploitations et dans l'agro-industrie. Un aspect intéressant de ce bouquet de services concerne les services culturels qui sont plutôt élevés en termes de produits et de paysages patrimoniaux, l'agrotourisme restant à un très faible niveau. Les services de qualité environnementale sont particu-

lièrement faibles en termes de qualité de l'eau, de haute valeur naturelle et de biodiversité. Malgré la mise en œuvre de subventions aux éleveurs pour la mise aux normes de leurs installations (entre 1994 et 2007), le bouquet de cette trajectoire pointe les problèmes persistants de qualité de l'eau, 24 ans après mise en place de la réglementation et du classement en zones vulnérables à la pollution des eaux par les nitrates.

Ces deux bouquets partagent comme point commun les services culturels qui sont rendus à un niveau modéré sur 52 % de la SAU nationale. Il est intéressant de noter que les services culturels peuvent être en synergie aussi bien avec des services environnementaux qu'avec des services de vitalité rurale. La synergie entre services culturels et services environnementaux souligne une stratégie gagnante entre qualité des produits et qualité de l'environnement dans les départements ayant connu une spécialisation herbivore. La synergie entre services culturels et des services de vitalité rurale révèle une coexistence entre production de masse créatrice d'emplois dans les industries agroalimentaires et la production sous signe officiel de qualité soutenant l'emploi des exploitations. Cette synergie est observée dans les départements ayant connu une forte intensification herbivores et monogastriques (T1). En revanche, l'examen conjoint des deux bouquets révèle un fort antagonisme entre qualité environnementale et emplois. Cet antagonisme est lié à un déterminant commun (concentration des animaux et des acteurs amont et aval des filières) qui agit positivement sur les indicateurs de vitalité rurale et négativement sur les indicateurs environnementaux. Les politiques publiques ont joué un rôle majeur sur ces dynamiques de concentrations et par conséquent sur la différenciation des trajectoires et de leurs bouquets de services. La concentration d'une partie de la population des herbivores en zone de montagne s'est faite entre autres grâce à la prime à la vache allaitante et aux aides pour le maintien des surfaces en herbe. À certaines périodes, le développement d'une filière a pu

être freiné avec des répercussions sur le niveau de certains services, comme dans le cas de l'imposition du quota laitier visant à réguler l'offre laitière et ralentir la concentration (Chatellier, 2013). Le développement des filières est aussi contraint par la compétitivité (Roguet *et al.*, 2015). Depuis 2000, ces auteurs rapportent pour la France, une chute de 20 % des productions de volailles accompagnée d'une décroissance de la densité dans un contexte de concurrence européenne (Belgique, Pays-Bas et Allemagne), à laquelle s'ajoute depuis le milieu des années 1990 la baisse des exportations de volailles vers le Proche et Moyen-Orient (exportations de poulet entier congelé vers l'Arabie Saoudite). Aux politiques supra-cités et aux dynamiques de marché s'ajoutent d'autres changements qui ont également joué sur la concentration des élevages. La directive « Bien-être » de 2012 a pour partie contribué à la réduction des poules pondeuses élevées en cage avec une baisse de 56 % du nombre d'élevages entre 2010 et 2013 (Roguet *et al.*, 2015). Ces changements d'amplitude considérable, liés aux transformations des attentes de la société vis-à-vis de l'élevage, suggèrent que les attentes sociétales pourraient faire émerger de nouvelles configurations des bouquets de services au sein des territoires.

### 3. Perspectives de recherche

#### ■ 3.1. Une méthodologie qui peut être appliquée à d'autres filières et à d'autres territoires

Notre étude illustre l'influence des trajectoires d'intensification sur le niveau actuel de fourniture de services rendus par l'élevage à la société sur un large gradient de conditions naturelles et socioéconomiques. Les facteurs les plus importants expliquant l'état actuel des territoires d'élevage sont ainsi identifiés. Une extension de cette approche au niveau européen permettrait de confirmer dans quelle mesure la diversité des conditions agroécologiques et socioéconomiques française est suf-

fisante et pertinente pour extrapoler notre analyse au niveau européen.

#### ■ 3.2. Mieux comprendre les synergies entre les filières végétales et animales

Nous montrons que le niveau actuel de fourniture de service résulte des niveaux d'intensification atteints bien avant 2010 et que l'intensification se manifeste par des capacités différentes des territoires à nourrir la population animale qu'ils hébergent (Jouven *et al.*, 2018). Il serait intéressant d'approfondir le lien entre ces capacités traduisant l'articulation entre végétal et animal, et les services rendus par l'élevage à la société. En d'autres termes, les territoires présentant un équilibre végétal/animal sont-ils plus performants sur la fourniture de services environnementaux et socioéconomiques ?

#### ■ 3.3. Approfondir les liens avec les autres maillons des filières animales et végétales (amont et aval)

Le niveau départemental privilégié en raison des bases de données disponibles, constitue une limite à une compréhension fine des processus de transformation des territoires et leur conséquence sur la fourniture de services. Le niveau départemental gomme de nombreuses hétérogénéités infra-département pour les services culturels et environnementaux. Des analyses conduites au niveau des petites régions agricoles permettraient d'identifier des leviers plus pertinents pour renforcer l'offre de services. Le défi concerne évidemment les bases de données ainsi que les méthodes de réduction d'échelle statistique pour obtenir de l'information à haute résolution. Conduire l'analyse à une résolution plus fine permettrait d'appréhender le secteur de l'élevage en tant que composante essentielle du système socioécologique formé sur un territoire. Les interactions entre les différentes composantes du système mais également la façon dont les acteurs des filières animales et végétales pilotent ces interactions seraient alors mieux compris en articulant local et national. Cette articulation nous

semble importante à approfondir dans un contexte de changement démographique et de régime nutritionnel.

#### ■ 3.4. Étudier le paiement pour services comme levier pour reconnaître les nombreuses contributions positives de l'élevage

Notre étude souligne que l'intensification de l'élevage a eu des conséquences très diverses sur les services, autrement dit sur les contributions positives que l'élevage fournit à la société au-delà de la production de biens alimentaires. Dans un contexte de fragilisation du secteur, le maintien des services impose de réfléchir aux instruments de politiques publiques nécessaires pour les internaliser dans l'économie de l'exploitation et plus largement dans l'économie territoriale. Approfondir l'étude d'instruments tels que les paiements pour services/ou taxation pour dys-services permettrait de comprendre à quel(s) maillon(s) de la filière (du producteur au consommateur) il serait plus efficace d'internaliser le paiement pour services. Il s'agit ici d'aller au-delà de l'idée initiale des paiements visant à encourager des modes de production plus extensifs, avec des mesures environnementales. En fonction du ou des niveaux visés dans les filières, ces paiements permettraient de rémunérer les éleveurs pour les produits et les services qu'ils fournissent à la société, notamment pour la qualité de l'eau et des sols, et pour la conservation de la biodiversité et des paysages (Dumont *et al.*, 2016). De même, il convient d'explorer les instruments ciblant le consommateur tels que la taxation des produits contribuant à la fourniture de dys-services. Ces instruments pourraient améliorer l'image de l'élevage, actuellement contesté en raison de ses multiples impacts. Des propositions récentes suggèrent de taxer les dys-services dans un système de bonus-malus (Rieu *et al.*, 2015), leur efficacité reste à quantifier. Les paiements pour services ou taxation pour dys-services sont potentiellement des outils d'orientation puissants : *i)* pour internaliser des externalités (ici environnementales) et inverser la hiérarchisa-

tion des systèmes de production en ne la limitant pas au strict coût de production ; ii) pour modifier les préférences des consommateurs et favoriser les systèmes produisant plus de services et moins de dys-services. Il conviendrait également d'analyser ces instruments et leur efficacité dans le contexte européen pour éviter de déstabiliser l'élevage national pendant la période de transition vers ces nouvelles modalités de paiements.

## Conclusion

Le processus d'intensification a joué un rôle essentiel dans la différenciation spatiale des territoires d'élevage. Il a façonné le niveau actuel de services environnementaux, culturels et de vitalité rurale des territoires d'élevage. Les deux trajectoires, fortement liées à la dynamique de l'élevage, se sont structurées selon deux processus distincts : i) une intensification monogastrique/herbivore pour le Grand Ouest et ii) une spécialisation/extensification herbivore pour le Massif central et des montagnes de l'Est et Sud-Ouest.

## Références

Agreste, 2015. Service de la Statistique et de la Prospective (SSP) du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Consulté le 13 August 2015 sur <https://stats.agriculture.gouv.fr/disar/>

Alexander P., Rounsevell M.D.A., Dislich C., Dodson J.R., Engström K., Moran D., 2015. Drivers for global agricultural land use change: the nexus of diet, population, yield and bioenergy. *Global Environ. Change*, 35, 138-147.

Allaire G., 1988. Le modèle de développement agricole des années 1960. In : *Écon. Rurale*. N° 184-186, 1988. Un siècle d'histoire française agricole. 171-181

Bonnemaire J., Raichon C., 1990. L'utilisation des ressources alimentaires : évolution historique et situation de quelques régions d'élevage bovin. In: Capillon A. (Éd). *Recherches sur les systèmes herbagers. Quelques propositions françaises. Études et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, INRA. <https://prodinra.inra.fr/record/276378>

Cavallès J., 1989. L'économie charolaise : évolution d'un système productif régional. *Cah. Écon. Sociol. Rurales*, 7-54. <https://prodinra.inra.fr/record/90141>

Cavallès J., Bonnemaire J., Raichon C., Delamarche F., 1987. Caractères régionaux de l'histoire de l'élevage en France. 1-Méthodographie et résultats

Dans le Grand Ouest, le niveau de fourniture de services se traduit par une importante vitalité rurale, liée aux emplois dérivés de l'élevage, et un faible niveau de services environnementaux, illustrés par l'emprise spatiale très limitée des zones à haute valeur naturelle et l'absence d'une qualité de l'eau conforme aux normes réglementaires. L'état actuel des services environnementaux dans le Grand Ouest illustre les limites de ce modèle d'intensification qui a abouti à un surdimensionnement du cheptel animal eu égard aux capacités du territoire (Jouven et al., 2018).

Pour le Massif central et les montagnes de l'Est et Sud-Ouest, les services rendus par l'élevage concernent les hauts niveaux de services environnementaux et culturels. Ces derniers illustrent les synergies entre qualité des produits et qualité de l'environnement. Ces synergies démontrent l'intérêt de la spécialisation herbivore couplée à un maintien des surfaces en herbe et un niveau de productivité modéré. Ces territoires d'élevage méritent d'être pris en compte dans les politiques d'aménagement du territoire car ils fournissent des

bouquets de services diversifiés et équilibrés. Ils capitalisent sur l'aptitude des herbivores à transformer des ressources non comestibles pour l'Homme en aliments à haute valeur nutritionnelle. L'activité d'élevage permet également de soutenir une économie locale basée sur la création de valeur à partir des productions, l'entretien des paysages et le développement du tourisme, la protection contre les incendies et les avalanches, le maintien des espaces ouverts.

## Remerciements

Nous remercions tout particulièrement Muriel Tichit, qui nous a aidé sans relâche et jusqu'au dernier moment, toujours à la recherche de l'excellence et des réponses face aux enjeux du monde des productions animales. Ce travail parmi de nombreux autres est le fruit de son attitude attentive, son esprit analytique et sa grande capacité à concilier des thématiques diverses. Ces atouts, en plus de ses grandes qualités humaines, animeront indubitablement nos réalisations futures.

statistiques 1938-1980. SAD. Systèmes Agraires et Développement, Versailles, France.

Chatellier V., 2013. Les effets redistributifs des décisions françaises relatives à la PAC post-2015. Séance Académie d'Agriculture de France : Future PAC et loi d'avenir agricole : enjeux et perspectives pour la France, Paris, France. <http://prodinra.inra.fr/record/220733>

Chatzimpiros P., Barles S., 2010. Nitrogen, land and water inputs in changing cattle farming systems. A historical comparison for France, 19<sup>th</sup>-21<sup>st</sup> centuries. *Sci. Total Environ.*, 408, 4644-4653.

Commission de modernisation de la production animale, 1946. Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, Présidence du Gouvernement, République Française.

Daucé P., Perrier-Cornet P., 1987. Région et développement de l'agriculture : de l'après-guerre aux années 1980. Morbihan et massif jurassien, deux modèles d'intensification à l'épreuve. *Écon. Rurale*, 180, 62-63.

Domingues J.P., 2017. Socio-ecological metabolism of livestock areas: an environmental accounting approach, Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, soutenue le 15 décembre 2017, Paris, France, 179p.

Domingues J.P., Ryschawy J., Bonaudo T., Gabrielle B., Tichit M., 2018. Unravelling the physical, technological and economic factors driving the intensification trajectories of livestock systems. *Animal*, 12, 1652-1661.

Douillet M., Girard P., 2013. Productivité agricole : des motifs d'inquiétude ? (I) Les concepts. FARM, Note n 7.

Dumont B., Dupraz P., Aubin J., Batka M., Beldame D., Boixadera J., Bousquet-Melou A., Benoit M., Bouamra-Mechemache Z., Chatellier V., Corson M., Delaby L., Delfosse C., Donnars C., Dourmad J.Y., Duru M., Edouard N., Fourat E., Frappier L., Friant-Perrot M., Gaigné C., Girard A., Guichet J.L., Haddad N., Havlik P., Hercule J., Hostiou N., Huguenin-Elie O., Klumpp K., Langlais A., Lemauiel-Lavenant S., Le Perchec S., Lepiller O., Letort E., Levert F., Martin B., Méda B., Mognard E.L., Mouginc, Ortiz C., Piet L., Pineau T., Ryschawy J., Sabatier R., Turolla S., Veissier I., Verrier E., Vollet D., van der Werf H., Wilfert A., 2016. Rôles, impacts et services issus des élevages en Europe. Synthèse de l'expertise scientifique collective INRA, France, 127p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01595470/document>

Dumont B., Ryschawy J., Duru M., Benoit M., Delaby L., Dourmad J.Y., Méda B., Vollet D., Sabatier R., 2017. Les bouquets de services, un concept clé pour raisonner l'avenir des territoires d'élevage. In : Numéro spécial,

- L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 407-422.
- Duru M., Donnars C., Rychawyj, Therond O., Dumont B., 2017. La « grange » : un cadre conceptuel pour appréhender les bouquets de services rendus par l'élevage dans les territoires. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 273-284.
- Gambino M., 2014. Les mutations des systèmes productifs français : le modèle breton, à revisiter. France : les mutations des systèmes productifs. 371-382, <http://w3.pum.univ-tlse2.fr/>
- Gerber P.J., Uwizeye A., Schulte R.P.O., Opio C.I., de Boer I.J.M., 2014. Nutrient use efficiency: a valuable approach to benchmark the sustainability of nutrient use in global livestock production? Curr. Opin. Environ. Sustainability 9, 122-130.
- Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., 2012. The challenge of food security. Science, 327, 812.
- Hercule J., Chatellier V., Piet L., Dumont B., Benoit M., Delaby L., Donnars C., Savini I., Dupraz P., 2017. Une typologie pour représenter la diversité des territoires d'élevage en Europe. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 285-302.
- Institut de l'Élevage, 2013. L'élevage d'herbivores au recensement agricole 2010. Dossier Économie de l'élevage, 440-441, 90p.
- Jouven M., Puillet L., Perrot C., Poméon T., Domingues J.P., Bonaudo T., Tichit M., 2018. Quels équilibres végétal/animal en France métropolitaine, aux échelles nationale et « petite région agricole » ? INRA Prod. Anim., 31, 353-364. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.4.2374>
- Krausmann F., Haberl H., Schulz N.B., Erb K.H., Darge E., Gaube V., 2003. Land-use change and socio-economic metabolism in Austria—Part I: driving forces of land-use change: 1950-1995. Land Use Policy 20, 1-20.
- Labasse J., 1955. Les capitaux et la région, essai sur le commerce et la circulation des capitaux dans la région lyonnaise. Éditions Armand Colin, Paris, France, 532p.
- Perrier-Cornet P., 1986. Le Massif jurassien. Les paradoxes de la croissance en montagne ; éleveurs et marchands solidaires dans un système de rente. Cah. Econ. Sociol. Rurales, 2, 61-132.
- Perrot C., Gallot S., Roguet C., 2015. Évolution de l'élevage français métropolitain au travers des recensements agricoles. Les exploitations se spécialisent moins que les territoires. Actes du colloque de la Société Française d'Économie Rurale « Structures d'exploitation et exercice de l'activité agricole : Continuités, changements ou ruptures ? » Rennes, France.
- Rieu M., Perrot C., Mann S., Marouby H., Roguet C., 2015. Policy recommendations to support mixed farming development. Policy instruments: an experience of commodification of externalities. Deliverable CANTOGETHER project. Crops and Animals TOGETHER, FP7-289328, Rapport D5.5, 39 p. + annexes.
- Roguet C., Gaigné C., Chatellier V., Cariou S., Carlier M., Chenu R., Perrot C., 2015. Spécialisation territoriale et concentration des productions animales européennes : état des lieux et facteurs explicatifs. INRA Prod. Anim., 28, 5-22.
- Ryschawy J., Tichit M., Bertrand S., Allaire G., Aubert C., Aznar O., Guinot C., Josien E., Lasseur J., Plantureux S., Tchakerian E., Disenhaus C., 2015. Comment évaluer les services rendus par l'élevage ? Une première approche méthodologique sur le cas de la France. INRA Prod. Anim., 28, 23-38.
- Ryschawy J., Disenhaus C., Bertrand S., Allaire G., Aznar O., Plantureux S., Josien E., Guinot C., Lasseur J., Perrot C., Tchakerian E., Aubert C., Tichit M., 2017. Assessing multiple goods and services derived from livestock farming on a nation-wide gradient. Animal, 11, 1861-1872.
- Shriar A.J., 2000. Agricultural intensity and its measurement in frontier regions. Agrif. Sys., 49, 301-318.
- Teillard F., Allaire G., Cahuzac E., Leger F., Maigne E., Tichit M., 2012. A novel method for mapping agricultural intensity reveals its spatial aggregation: Implications for conservation policies. Agricult., Ecosys. Environ., 149, 135-143.
- Tirel J.C., 1991. L'extensification, chance ou défi pour les exploitations agricoles. INRA Prod. Anim., 4, 5-12.
- Thornton P.K., 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biol. Sci., 365, 2853-2867.
- Vigreux M., 1970. La société d'agriculture d'Autun au XIX<sup>e</sup> siècle (thèse de 3<sup>e</sup> cycle, histoire). Dijon, 408p.
- Vollet D., Huguenin-Elie O., Martin B., Dumont B., 2017. La diversité des services rendus par les territoires d'élevage herbagers fournissant des produits de qualité dans des environnements préservés. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 333-350.

## Résumé

L'intensification de l'élevage a transformé les territoires au cours du temps. Elle a induit des effets susceptibles de persister pendant des décennies. Ils influencent le niveau actuel de fourniture de services rendus par l'élevage. Nous proposons une analyse de l'intensification de l'élevage sur le territoire français entre 1938 et 2010 et de ses conséquences sur la fourniture actuelle de services socioéconomiques et environnementaux. Deux bases de données, construites à la résolution des départements métropolitains, ont été mobilisées. La première nous sert à caractériser les trajectoires d'intensification de l'élevage sur la période 1938-2010 à partir d'indicateurs socioéconomiques, d'occupation du sol, et de productivité animale. La seconde mesure le niveau actuel de fourniture de services environnementaux, culturels, et de vitalité rurale rendus par l'élevage à la société. L'analyse du processus d'intensification débouche sur l'identification de quatre trajectoires, parmi lesquelles deux correspondent à des territoires où l'élevage joue encore un rôle majeur. La première trajectoire se distingue par une intensification prononcée des productions de monogastriques et d'herbivores qui a donné lieu à des changements majeurs en termes de productivité, de densité animale, ainsi que d'intensification de la surface fourragère. Cette trajectoire est associée à un bouquet de services combinant services de vitalité rurale et culturels. La seconde trajectoire se distingue par une spécialisation de la production d'herbivores couplée à des niveaux modérés de productivité. Cette trajectoire est associée à un bouquet de services révélant une synergie entre services environnementaux et services culturels. L'analyse des deux bouquets montre un antagonisme entre certains indicateurs de vitalité rurale et de services environnementaux, soulignant ainsi une intensification excessive de certains territoires compromettant leur capacité à fournir des bouquets diversifiés de services. Notre analyse suggère enfin que les services observés actuellement dans les territoires sont le reflet du niveau d'intensification atteint bien avant 2010.

## Abstract

### **Livestock intensification in rural areas and the provision of socio-environmental and cultural services**

*The intensification of the livestock sector has shaped France's landscape, having a lasting influence in livestock areas over time. Past intensification ultimately determines the actual level of socio-environmental and cultural services provided by livestock. We propose an analysis of the intensification of French livestock between 1938 and 2010 and its consequences on the current provision of services. We compiled two databases at the department level. With the first database we characterised the intensification trajectories over the 1938-2010 period, with socio-economic as well as land use and productivity indicators. With the second database, we measured the current level of provision of three types of services – environmental,*

*cultural and rural vitality. We identified four intensification trajectories, among which two have livestock as a major player. The first trajectory reflected the highest level of intensification of monogastrics and herbivores, translated into high productivity levels, increased stocking rates and the intensive use of fodder area. It is associated to a bundle marked by the provision of rural vitality and cultural services. The second trajectory reflected the grazing specialisation characterised by moderate levels of productivity. It is associated to a bundle marked by a synergy between environmental and cultural services. Both bundles also revealed a trade-off among some indicators of rural vitality and environmental services, highlighting the inappropriate intensification of areas that ultimately compromise the possibility of reaching diversified and balanced bundles of services. Our analysis suggests that the actual level of service provision across livestock areas reflects the intensification levels reached long before 2010.*

DOMINGUES J.P., BONAUDOT., GABRIELLE B., PERROT C., TRÉGARO Y., TICHIT M., 2019. Les effets du processus d'intensification de l'élevage dans les territoires. In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 159-170. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.25>

# Les performances économiques de l'élevage européen : de la « compétitivité coût » à la « compétitivité hors coût »

Vincent CHATELLIER<sup>1</sup>, Pierre DUPRAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UMR SMART-LERECO, INRA, 44300, Nantes, France

<sup>2</sup>UMR SMART-LERECO, INRA, 35000, Rennes, France

Courriel : [vincent.chatellier@inra.fr](mailto:vincent.chatellier@inra.fr)

■ L'élevage européen résulte d'une grande diversité de systèmes productifs aux performances économiques et environnementales hétérogènes. Si les États membres de l'Union Européenne (UE) ne bénéficient pas toujours de la meilleure compétitivité coût à l'échelle internationale, le développement de stratégies hors coût est utile pour séduire les consommateurs européens et parfois exporter vers certains pays exigeants.

## Introduction

L'élevage est une des activités les plus structurantes des territoires ruraux dans l'Union Européenne (UE). Il joue un rôle économique, territorial et environnemental important dans de très nombreuses régions agricoles (Lang *et al.*, 2015 ; Dumont *et al.*, 2016 ; Hercule *et al.*, 2017). En moyenne sur les dix dernières années, les productions animales ont contribué pour 45 % à la production agricole finale de l'UE. Le solde commercial de l'UE en productions animales (animaux et produits d'animaux) est largement positif et atteint 28 milliards d'euros en 2018. Les exportations extra-communautaires de l'UE, qui concernent surtout les productions laitière et porcine, s'élèvent à 37,1 milliards d'euros, soit 27 % des exportations agroalimentaires. Les importations sont, quant à elles, plus limitées ; elles représentent 9,2 milliards d'euros, soit 7 % des importations agroalimentaires. Les flux d'animaux et de produits animaux entre les États membres, qui sont nombreux et en

croissance, reflètent une combinaison de stratégies industrielles différenciées, en interaction avec les politiques économiques et environnementales locales ou nationales, certaines importations étant réexportées après transformation. Quelques grandes entreprises agroalimentaires européennes ont un rayonnement mondial, tandis que la grande majorité des acteurs des filières animales reste de taille modeste et ancrée dans des marchés nationaux.

Les Européens mangent en moyenne deux fois plus de protéines issues d'animaux terrestres que la moyenne mondiale. Cette forte consommation concerne presque toutes les viandes et les produits laitiers, mais moins les œufs. Comparé à l'Amérique du Nord, le régime alimentaire des Européens est plus riche en viande porcine et en produits laitiers et deux fois moins riche en viande bovine et de volailles. La consommation de produits alimentaires d'origine animale au sein de l'UE repose pour une large part sur la seule production domestique (FranceAgriMer, 2011). Une évolution de la consommation

carnée traverse tous les régimes occidentaux et se traduit par une substitution des viandes rouges par des viandes blanches (et poissons), par un poids croissant des produits transformés dans lesquels la référence à l'animal est « invisibilisée », mais aussi par la progression des sources protéiques issues de la pêche, de l'aquaculture et des végétaux. Par ailleurs, le développement des labels et des signes de qualité pour les aliments à base de produits animaux montre l'attrait de nombreux consommateurs, notamment Européens, pour les produits à valeur patrimoniale, voire gastronomiques et pour des modes de production mieux-disant en termes de qualité, même si les volumes sous signes de qualité officiels restent faibles et encore mal connus.

L'UE occupe une place importante dans le domaine des productions animales mondiales (FAO-OCDE, 2017 ; Commission européenne, 2017). Dans le secteur du lait, l'UE assure près de 20 % de la production mondiale. Elle est au premier rang des pays producteurs à proximité de l'Inde, et loin

devant les États-Unis ou la Chine. En exportant 12 % de sa collecte, elle est le premier exportateur mondial de produits laitiers (en valeur) devant la Nouvelle-Zélande et les États-Unis (Chatellier, 2016). Ses importations de produits laitiers étant historiquement très limitées (moins de 1 % de la consommation intérieure), sa balance commerciale est non seulement largement positive (18 milliards de litres de lait en 2016), mais en croissance en raison surtout du développement des importations chinoises. Dans le secteur de la viande bovine, l'UE assure 11 % de la production mondiale et occupe le troisième rang des pays producteurs derrière les États-Unis et le Brésil. Pénalisées par un prix plus élevé que la concurrence, les exportations de l'UE en viande bovine sont faibles (3 % de l'offre intérieure) en comparaison des grands fournisseurs du marché mondial que sont le Brésil, l'Inde, l'Australie et les États-Unis. Les importations européennes de viande bovine sont également limitées (environ 4 % des besoins intérieurs) et en recul depuis dix ans parallèlement à la baisse de la consommation domestique. Dans le secteur de la viande ovine, et malgré une forte baisse de la consommation individuelle, l'UE est toujours déficitaire (80 % de taux d'auto-provisionnement), avec des importations qui se font surtout en provenance de la Nouvelle-Zélande et de l'Australie. Dans le secteur porcin, l'UE réalise 20 % de la production mondiale et occupe le deuxième rang des pays producteurs derrière la Chine. Si les importations européennes de viande porcine sont pratiquement inexistantes, ses exportations, destinées d'abord à la Chine, au Japon et à la Corée du Sud, représentent près de 17 % de la production intérieure en 2016. En volaille de chair, secteur le plus dynamique en termes de consommation, l'UE produit 12 % des tonnages mondiaux et se situe au quatrième rang des pays producteurs derrière les États-Unis, le Brésil et la Chine. Bien qu'excédentaire en volume, l'UE a un solde commercial négatif en valeur, dans la mesure où les produits importés, pour une large part en provenance du Brésil et de la Thaïlande, sont plus onéreux à la tonne que les produits exportés.

Dans ce cadre, cet article est centré sur l'élevage européen et les principaux leviers de ses performances économiques. Il est structuré en deux parties : la première, qui utilise les données du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA), met en évidence la grande diversité des exploitations d'élevage au sein de l'UE. La seconde traite des leviers de la performance économique des filières animales européennes en distinguant successivement deux notions complémentaires, la « compétitivité coût » et la « compétitivité hors coût ».

## 1. Une grande diversité de performances entre les exploitations européennes d'élevage

En utilisant les données du RICA de l'exercice 2016 (Commission européenne, 2018), et en s'appuyant sur la nomenclature par orientation de production (OTEX), il est possible de rendre compte, de façon simplifiée, de la diversité des exploitations européennes spécialisées en élevage (Centre d'Études et de Prospective, 2010). Ici, seules les quatre OTEX spécialisées en élevage sont prises en considération, à savoir les OTEX n° 45 (exploitations spécialisées en production de lait), n° 48 (spécialisées en ovins-caprins), n° 49 (spécialisées en viande bovine) et n° 50 (spécialisées en granivores, principalement en porcs et volailles).

Ces quatre OTEX regroupent 1,55 million d'exploitations spécialisées en élevage, soit un tiers de l'ensemble des exploitations agricoles moyennes et grandes. Du fait de leur spécialisation productive, elles couvrent une part déterminante de l'élevage européen en regroupant 82 % des Unités de Gros Bétail (UGB) totales. Elles rassemblent 33 % des emplois agricoles (exprimés en Unité de travail Agricole – UTA), valorisent 38 % de la Superficie Agricole Utile (SAU), contribuent pour 42 % à la production agricole et reçoivent 43 % des aides directes. Le poids des exploitations spécialisées d'élevage dans l'agriculture de chaque État membre et/ou région varie de façon importante en fonction notamment des conditions du

milieu naturel (climat, sols cultivables ou non, rendements des cultures fourragères...) et des avantages avérés pour telles ou telles productions (tableau 1). En Irlande, par exemple, les exploitations spécialisées en élevage occupent une place écrasante dans l'économie agricole nationale. La situation est inverse en Italie où les productions végétales dominent et en Pologne où la polyculture-élevage est historiquement fréquente. En France, où les cultures céréalières sont développées, certaines exploitations d'élevage relèvent des OTEX en polyculture-élevage.

D'après le RICA, les cinq premiers États membres de l'UE en termes de cheptel (mesuré en UGB totales) sont, par ordre décroissant, la France (17 % de l'UE), l'Allemagne (13 %), l'Espagne (11 %), le Royaume-Uni (10 %) et l'Italie (8 %). Cette part relative tient, pour une grande part, à l'ampleur des surfaces agricoles disponibles dans chacun de ces pays. Certains autres pays comme l'Irlande sont certes moins productifs, mais largement plus spécialisés en productions animales, notamment de ruminants. Pour chaque État membre, la répartition des UGB totales en fonction des orientations de production permet de témoigner du type de spécialisation (figure 1). Ainsi, par exemple, les exploitations en granivores occupent une part conséquente du cheptel total en Espagne, au Danemark et aux Pays-Bas. Les exploitations en ovins-caprins sont quant à elles davantage représentées au Royaume-Uni et dans les pays du Sud.

Pour contextualiser la réflexion qui suit sur les leviers de la performance économique de l'élevage européen, il est utile de présenter au préalable quelques éléments essentiels sur les exploitations spécialisées. Une focalisation est faite ici sur les exploitations spécialisées en lait, en viande bovine et en granivores pour les dix États membres qui contribuent le plus aux productions animales européennes ; ces dix pays regroupant 82 % des UGB.

### ■ 1.1. Les exploitations spécialisées en lait de vache

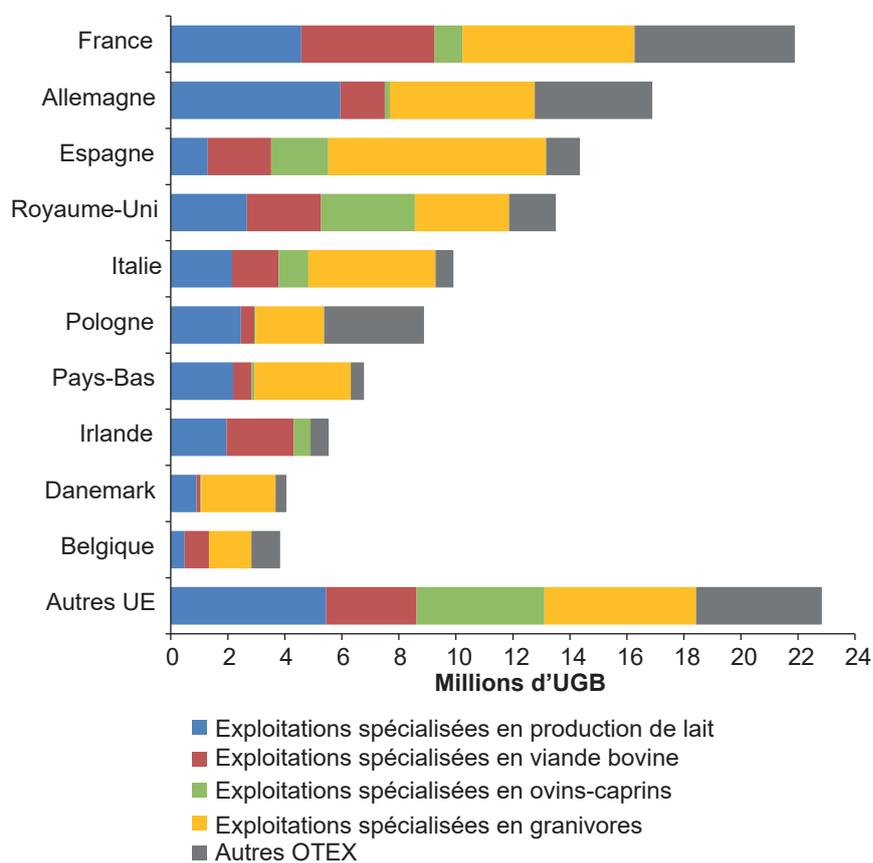
Les 629 970 exploitations spécialisées en production de lait de vache

**Tableau 1. Le poids des exploitations spécialisées en élevage dans les États membres de l'UE (%) (Source : Commission européenne – DGAGRI – RICA UE 2016 ; Traitement INRA SMART-LERECO).**

	Exploitations agricoles	Unité de travail agricole	Superficie agricole utile	Superficie fourragères	UGB totales	Production agricole	Aides directes
<b>Allemagne</b>	52 %	43 %	42 %	68 %	76 %	49 %	47 %
<b>Belgique</b>	51 %	39 %	48 %	73 %	74 %	47 %	53 %
<b>Danemark</b>	37 %	46 %	43 %	80 %	91 %	60 %	47 %
<b>Espagne</b>	24 %	22 %	30 %	77 %	92 %	36 %	30 %
<b>France</b>	37 %	31 %	39 %	72 %	74 %	35 %	47 %
<b>Irlande</b>	91 %	91 %	87 %	95 %	89 %	83 %	86 %
<b>Italie</b>	18 %	21 %	34 %	70 %	94 %	36 %	30 %
<b>Pays-Bas</b>	59 %	37 %	60 %	92 %	93 %	45 %	68 %
<b>Pologne</b>	21 %	22 %	24 %	53 %	61 %	34 %	28 %
<b>Royaume-Uni</b>	63 %	54 %	61 %	87 %	88 %	54 %	57 %
<b>UE</b>	33 %	33 %	38 %	74 %	82 %	42 %	43 %

regroupent, à l'échelle européenne, 23 % des UGB totales et réalisent 78 % des volumes de lait de vache. Les volumes résiduels résultent pour l'essentiel des exploitations diversifiées en polyculture-élevage, structures plus fréquentes en France et en Pologne que dans les pays du nord de l'UE. Ces exploitations emploient 14 % des actifs agricoles européens, détiennent 13 % de la SAU et valorisent 25 % des surfaces fourragères. Le poids des exploitations laitières spécialisées dans l'agriculture est élevé en Irlande (35 % des UGB du pays), en Allemagne (35 %) et aux Pays-Bas (32 %). Il est moins important dans les pays du Sud.

Compte tenu des différentiels importants existants en termes de taille entre les exploitations laitières européennes (Institut de l'Élevage, 2015), les 3 470 exploitations danoises produisent, par exemple, plus de lait que les 223 300 exploitations roumaines. Les exploitations laitières européennes sont majoritairement des structures familiales qui regroupent un nombre limité d'emplois (1,60 UTA en moyenne européenne). Dans les dix pays sélectionnés,

**Figure 1. La répartition des UGB (Unité de Gros Bétail) de l'UE selon les États membres et les orientations de production (OTEX) en 2016 (Source : Commission européenne – DGAGRI – RICA UE 2016 ; Traitement INRA SMART-LERECO).**


le nombre d'UTA par exploitation est, en moyenne nationale, inférieur à trois. Il dépasse rarement le seuil des cinq, à l'exception de quelques cas bien identifiés comme les structures collectives dans les pays de l'Europe de l'Est (République tchèque et Slovaquie) ; les grandes propriétés foncières avec une forte présence de salariés au Royaume-Uni ; certains Groupements Agricoles d'Exploitation en Commun (GAEC) multi-associés en France. Les emplois salariés ne représentent que 15 % de la main-d'œuvre des exploitations laitières européennes. Ce taux varie significativement entre les États membres, passant de 2 % en Pologne, à 12 % en France, 26 % en Allemagne, 41 % au Royaume-Uni et 58 % au Danemark (tableau 2).

Les exploitations spécialisées en production laitière ont, en moyenne

européenne, 33 hectares de SAU pour 48 UGB totales (dont 30 vaches laitières). Ces niveaux sont très inférieurs à ceux observés aux États-Unis (Institut de l'Élevage, 2016) ou en Nouvelle-Zélande (Perrot *et al.*, 2018), deux pays concurrents sur les marchés internationaux de produits laitiers. Ces moyennes masquent cependant des écarts très importants entre les États membres, certains parmi les derniers entrants dans l'UE, dont la Bulgarie, la Roumanie et aussi la Pologne, contribuant à un abaissement des valeurs moyennes européennes exprimées à l'exploitation ou à l'emploi. Avec en moyenne nationale 156 hectares et 165 vaches laitières, le Danemark est le pays où les structures sont les plus conséquentes, devant le Royaume-Uni et les Pays-Bas. En Allemagne et en France, les deux premiers pays européens producteurs

de lait, les structures sont de taille comparable en moyenne nationale, même si des écarts régionaux substantiels sont à souligner. Les exploitations du nord de l'Allemagne ont en effet des cheptels plus conséquents qu'en Bavière ; de même, les exploitations de Picardie sont plus productives que celles d'Auvergne. Le niveau d'intensification, mesurée ici par le volume de production laitière à l'hectare de SAU, est très élevé aux Pays-Bas, en Espagne et en Italie. Il est plus faible en France en raison de la présence des territoires herbagers de montagne et en Irlande du fait de l'importance de systèmes laitiers basés sur une valorisation de l'herbe.

Au fil des réformes successives de la Politique Agricole Commune (PAC), les exploitations laitières sont devenues plus dépendantes des aides directes. Si

**Tableau 2.** Les caractéristiques structurelles et économiques moyennes des exploitations spécialisées en production laitière en 2016 (Source : Commission européenne – DGAGRI – RICA UE 2016 ; Traitement INRA SMART-LERECO).

	DE	BE	DK	ES	FR	IE	IT	NL	PL	UK	UE
<b>Nombre d'exploitations</b>	56 450	3 950	3 470	15 740	42 400	15 640	25 350	16 810	98 910	12 510	629 970
<b>Unité de travail agricole</b>	1,96	1,77	2,88	1,94	1,85	1,63	1,84	1,80	1,75	2,74	1,60
– % UTA salariées	26 %	2 %	58 %	21 %	12 %	14 %	18 %	14 %	2 %	41 %	15 %
<b>Superficie agricole utile (ha)</b>	72	54	156	34	92	60	33	51	21	113	33
– % Surfaces fourragères	75 %	92 %	74 %	78 %	79 %	98 %	84 %	98 %	65 %	91 %	78 %
<b>UGB totales</b>	105	122	259	82	108	125	85	130	25	214	48
– Vaches laitières	63	75	165	59	60	75	55	92	16	133	30
<b>Production de lait (tonnes)</b>	469,3	566,2	1 563,2	459,6	406,7	428,0	335,7	758,0	88,2	945,4	203,5
– par UTA (tonnes)	239,4	319,9	542,8	236,9	219,8	262,6	182,5	421,1	50,4	345,0	127,2
– par ha de SAU (tonnes)	6,5	10,5	10,0	13,7	4,4	7,1	10,0	14,8	4,2	8,4	6,1
<b>Aides directes (K€)</b>	32,3	25,1	69,6	17,7	33,2	20,6	17,6	22,9	7,5	30,7	14,7
– par UTA (K€)	16,5	14,2	24,2	9,1	17,9	12,6	9,6	12,7	4,3	11,2	9,2
– par ha de SAU (€)	449	467	446	528	360	342	528	448	356	271	440
<b>Production agricole – PA (K€)</b>	218	197	768	168	184	173	209	309	32	390	93
– par UTA (K€)	111	111	267	87	99	106	114	172	18	142	58
– par ha de SAU (€)	3 020	3 670	4 920	5 010	2 000	2 880	6 250	6 050	1 500	3 450	2 800
<b>Consommation itd/PA (%)</b>	67 %	66 %	74 %	72 %	73 %	63 %	55 %	69 %	60 %	74 %	69 %
EBE/UTA familiale (K€)	54,6	45,5	135,9	36,0	39,4	51,5	63,4	59,3	11,1	55,2	25,9

le secteur laitier n'a pas été directement concerné par la réforme de 1992, un abaissement des prix garantis du beurre et de la poudre de lait est intervenu à compter de 2003. Cette baisse de prix, qui visait à rendre le secteur laitier européen plus compétitif sur les marchés internationaux, a été partiellement compensée par l'octroi d'une Aide Directe Laitière (ADL). Le montant de cette aide a été déterminé dans chaque exploitation en multipliant le volume de production de lait par un montant unitaire commun (35,50 euros par tonne à partir de 2006). Plus tard, et suite à la mise en œuvre du découplage, l'aide directe laitière a été supprimée et les paiements correspondants ont été basculés dans les aides découplées. Il en résulte que le montant des aides directes octroyées à une exploitation demeure toujours fortement corrélé à sa taille, tant en cheptel qu'en surface. Outre les aides directes accordées en contrepartie de la réforme de l'Organisation Commune de Marché (OCM) du lait et des produits laitiers, les exploitations laitières reçoivent parfois aussi d'autres aides directes liées à leurs autres activités productives (production de céréales, de viande bovine...), à leur localisation géographique (au travers de l'indemnité compensatoire de handicaps naturels) ou aux modèles productifs adoptés (agriculture biologique, mesures agroenvironnementales et climatiques...). Ainsi, en moyenne européenne (2016), les exploitations laitières reçoivent 14 700 euros d'aides directes, soit 9 200 euros par UTA, 440 euros par hectare de SAU et l'équivalent de 16 % de leur chiffre d'affaires. En raison de leur plus grande taille, les exploitations laitières danoises captent des montants beaucoup plus élevés d'aides directes (69 600 euros en moyenne nationale) que les unités françaises (33 200 euros) ou, plus encore, polonaises (7 500 euros). Quand ce montant est rapporté à l'emploi ou à l'hectare, les écarts se réduisent entre les États membres.

Au niveau des résultats économiques, la valeur annuelle de la production agricole (hors aides directes) s'élève, en moyenne européenne, à 58 000 euros par UTA et 2 800 euros par hectare de SAU. Pour les raisons examinées dans les sections suivantes (substitution entre capital et travail et intensifica-

tion), ces valeurs moyennes cachent de conséquents écarts entre les États membres. À l'hectare, la valeur de la production agricole s'élève, par exemple, à 1 500 euros en Pologne, 2 000 euros en France et 6 050 euros aux Pays-Bas. Ces écarts tiennent aussi à l'existence d'une hétérogénéité dans le prix du lait payé au producteur. Aux Pays-Bas, le prix du lait est mieux payé qu'en France et surtout qu'en Pologne en raison de la structure, de l'efficacité et de la politique des acteurs industriels (la coopérative Friesland-Campina collecte et transforme 80 % du lait néerlandais) et des excellentes performances obtenues sur les marchés internationaux ; les Pays-Bas sont ainsi les premiers exportateurs européens de produits laitiers à destination des pays tiers, devant la France.

Le montant des consommations intermédiaires (terme qui regroupe les frais en aliments du bétail, en semences et plants, en engrais, en produits phytosanitaires, en entretien des bâtiments et du matériel, en énergie et en travaux par tiers) équivaut, en moyenne européenne, à 69 % de la valeur de la production agricole. Bien que d'importants écarts existent au sein de chaque pays selon le caractère plus ou moins autonome et diversifié des exploitations, ce taux est en moyenne nationale un peu plus élevé dans les deux pays où les exploitations sont les plus grandes, comme au Danemark (74 %) et au Royaume-Uni (74 %). Si le ratio « consommations intermédiaires/production agricole » apporte une information intéressante, il convient de rester prudent dans les interprétations. Ainsi, par exemple, le prix de vente des produits agricoles peut avoir, au travers du dénominateur, une influence sur le niveau de ce ratio. Les exploitations laitières italiennes qui obtiennent une bonne valorisation de leur lait par les filières fromagères en Appellation d'Origine Protégée (AOP) ont ainsi un ratio plus faible.

L'Excédent Brut d'Exploitation (EBE)<sup>1</sup> par UTA familiale est, en moyenne, nettement plus élevé dans les pays où la

<sup>1</sup> EBE = Production agricole – Consommations intermédiaires – Fermages payés + Subventions d'exploitation – Impôts et taxes + Balance de la taxe sur la valeur ajoutée – Salaires payés.

taille des exploitations et le salariat sont plus importants. Les exploitations les plus performantes selon ce critère sont aussi les moins autonomes du point de vue de la propriété des moyens de production. En raison des niveaux élevés d'endettement dans les grandes exploitations des pays du Nord, surtout danoises, les écarts de performances économiques sont moins importants en considérant des indicateurs de revenu<sup>2</sup>.

## ■ 1.2. Les exploitations spécialisées en viande bovine

Les 378 280 exploitations européennes spécialisées en viande bovine regroupent 16 % des UGB totales de l'UE pour 7 % des emplois et 12 % de la SAU. Elles sont bien représentées en Irlande (42 % des UGB du pays) et, dans une moindre mesure, en Belgique (22 %), en France (21 %) et au Royaume-Uni (19 %). Au Danemark, aux Pays-Bas et en Allemagne, ces exploitations sont peu nombreuses. Dans ces pays où le prix du foncier est élevé, une priorité est donnée pour affecter les terres aux productions capables de générer un chiffre d'affaires à l'hectare important. À l'échelle européenne, les exploitations spécialisées en viande bovine sont hétérogènes en termes de modèles productifs dans la mesure où se retrouvent dans cette même OTEX, par exemple, des exploitations intensives de jeunes bovins localisées en plaine (exemple : la plaine du Pô en Italie) et des exploitations allaitantes extensives situées en zones herbagères de montagne (exemple : les systèmes naisseurs du Massif central en France).

<sup>2</sup> Si le Résultat Courant Avant Impôt (RCAI) est un indicateur économique souvent privilégié dans les analyses comparatives en France, il se révèle être beaucoup plus délicat de l'utiliser dans les comparaisons européennes, ce pour deux raisons principales : les latitudes laissées dans le calcul des dotations aux amortissements sont variables d'un pays à l'autre ; les modalités de financement de l'activité agricole (voire du ménage agricole pour l'acquisition du foncier) ne sont pas identiques entre les pays. Il en résulte que cet indicateur est finalement rarement utilisé dans les travaux issus du RICA européen (Commission européenne, 2016 ; Perrot et Chatellier, 2009). Au Danemark, par exemple, le RCAI par UTA familiale est, en moyenne sur dix ans, plus de dix fois inférieur à l'EBE par UTAF alors qu'en Italie le niveau de l'EBE est très proche du RCAI.

Les exploitations européennes spécialisées en viande bovine sont, là aussi, essentiellement des structures familiales qui regroupent un faible nombre d'emplois (1,33 UTA en moyenne européenne). Le salariat représente 10 % de la main-d'œuvre à l'échelle européenne, soit un des plus faibles niveaux des différentes OTEX. Dans certaines structures, l'exploitant bénéficie d'autres sources de revenus liées à sa pluriactivité. Les exploitations de ce type comptent, en moyenne européenne, 50 hectares dont 87 % de surfaces fourragères (tableau 3). Elles occupent une part importante des surfaces de prairies permanentes de certaines zones spécifiques, comme dans le Massif central où les autres alternatives agricoles sont limitées (Cerles *et al.*, 2017). Les exploitations sont plus grandes en surfaces en France (110 hectares en moyenne) et au Royaume-Uni (107 hectares) qu'en Irlande (41 hectares) et en Pologne (23 hectares). Avec 1,08 UGB par ha de SAU en moyenne européenne, ces

exploitations sont clairement extensives, surtout en comparaison d'autres pays (« *Feedlot* » aux États-Unis). Aux Pays-Bas, les exploitations de ce type se distinguent par une intensification élevée (4,71 UGB par ha de SAU) en raison de leur forte spécialisation pour la production de veaux de boucherie ou de bovins jeunes abattus entre 8 et 12 mois ; ces productions sont conduites d'une manière proche du « hors sol ».

Les exploitations spécialisées en viande bovine reçoivent, en moyenne européenne, 20 300 euros d'aides directes, soit 15 300 euros par emploi à temps plein, 407 euros par hectare de SAU et l'équivalent de 35 % de leur chiffre d'affaires. En France, le montant d'aides directes par exploitation est plus élevé (45 500 euros) en raison de la taille des cheptels (127 UGB contre 48 UGB en Irlande et seulement 16 UGB en Pologne) et de l'obtention d'aides directes au titre du deuxième pilier de la PAC (dont principalement les indemnités compensatoires de handicaps

naturels). En France et en Espagne, mais pas en Irlande, le secteur allaitant perçoit toujours des aides couplées à la tête de bétail, alors que le principe du découplage s'est progressivement imposé pour la plupart des autres productions agricoles (y compris pour les bovins mâles). L'octroi d'aides couplées à la vache allaitante ne constitue pas nécessairement un encouragement à l'amélioration des performances techniques en élevage (Veysset *et al.*, 2015), ni même un appui au développement d'une stratégie pour la filière d'aval. En France, les décisions prises au titre de la PAC 2014-2020 vont dans le sens d'une réorientation des aides directes au bénéfice des systèmes allaitants bovins et ovins, principalement ceux extensifs de type naisseur. Tout en conservant le bénéfice des aides directes couplées, ces exploitations sortent gagnantes de la redistribution budgétaire induite par l'application d'une convergence, à l'échelle nationale, du montant par hectare des aides directes découplées.

**Tableau 3.** Les caractéristiques structurelles et économiques moyennes des exploitations spécialisées en viande bovine en 2016 (Source : Commission européenne – DGAGRI – RICA UE 2016 ; Traitement INRA SMART-LERECO).

	DE	BE	DK	ES	FR	IE	IT	NL	PL	UK	UE
<b>Nombre d'exploitations</b>	20 040	7 820	2 640	35 240	36 900	49 110	30 160	5 970	29 200	21 420	378 280
<b>Unité de travail agricole</b>	1,37	1,50	0,74	1,36	1,47	1,02	1,27	1,26	1,51	1,43	1,33
– % UTA salariées	14 %	1 %	11 %	13 %	7 %	3 %	9 %	12 %	3 %	16 %	10 %
<b>Superficie agricole utile (ha)</b>	67	53	53	69	110	41	38	23	19	107	50
– % Surfaces fourragères	81 %	86 %	62 %	82 %	89 %	99 %	85 %	95 %	71 %	93 %	87 %
<b>UGB totales</b>	78	109	53	63	127	48	54	109	16	121	54
– par ha de SAU	1,16	2,06	1,00	0,92	1,15	1,16	1,44	4,71	0,85	1,14	1,08
<b>Aides directes (K€)</b>	30,6	27,8	28,8	15,8	45,5	16,7	16,7	32,6	6,9	32,1	20,3
– par UTA (K€)	22,4	18,5	38,9	11,6	31,0	16,4	13,1	25,9	4,6	22,4	15,3
– par ha de SAU (€)	458	525	541	229	412	405	444	1 405	367	301	407
<b>Production agricole – PA (K€)</b>	109,4	113,0	98,7	60,2	106,4	36,1	81,0	144,7	13,6	114,9	56,9
– par UTA (K€)	79,8	75,3	133,4	44,3	72,4	35,4	63,7	114,8	9,0	80,4	42,8
– par ha de SAU (K€)	1 640	2 140	1 860	870	960	870	2 150	6 230	720	1 080	1 140
<b>Consommation itd/PA (%)</b>	77 %	77 %	87 %	64 %	81 %	84 %	55 %	75 %	70 %	86 %	76 %
EBE/UTA familiale (K€)	34,7	29,7	46,0	27,5	38,4	19,0	40,7	48,7	6,7	30,7	23,4

La valeur annuelle de la production agricole (hors aides directes) s'élève, en moyenne européenne, à 42 800 euros par UTA et 1 140 euros par hectare de SAU. Ce dernier montant est inférieur de 60 % à celui des exploitations laitières et il est huit fois plus faible que celui des exploitations de granivores. Ainsi, en cas de concurrence entre ces différentes catégories d'exploitations pour acquérir du foncier, les exploitations spécialisées en viande bovine sont rarement en capacité de surenchérir pour l'emporter. Avec d'autres facteurs d'influence, ces écarts conduisent à ce que la production allaitante se concentre dans les bassins de production jugés moins intéressants pour les autres productions agricoles (Roguet *et al.*, 2015). En France, les exploitations sont plus grandes que la moyenne européenne, mais elles sont un peu moins productives à l'hectare (960 euros de production agricole). Cela s'explique en partie par le fait qu'une part importante (43 % en moyenne nationale) des bovins mâles issus des vaches allaitantes ne sont pas abattus sur le territoire, mais exportés vivants à destination surtout du marché italien.

Le ratio « consommations intermédiaires/production agricole » atteint 76 % en moyenne européenne pour les exploitations de ce type, soit un niveau supérieur à celui des exploitations laitières. Pour ces exploitations, l'EBE par UTA familiale est en moyenne européenne (23 400 euros) plus de trois fois inférieur à celui des unités orientées vers les productions de granivores. Il dépasse le seuil des 40 000 euros dans seulement trois des dix pays étudiés. La rentabilité est, dans de très nombreux cas, faible par rapport à l'importance du travail et des capitaux.

### ■ 1.3. Les exploitations spécialisées en granivores

À l'échelle européenne, les 128 260 exploitations spécialisées en production de granivores, c'est-à-dire pour l'essentiel en porcs et en volailles, regroupent 32 % des UGB totales de l'UE, avec seulement 4 % des emplois agricoles et 3 % de la SAU. La contribution de ces exploitations au cheptel national est forte au Danemark (64 %

des UGB du pays), en Espagne (53 %), aux Pays-Bas (49 %) et en Italie (45 %). Plus que les productions de ruminants, les productions de porcs et de volailles sont davantage concentrées géographiquement, en raison notamment du fait que ces productions n'impliquent pas de valoriser des ressources fourragères, lesquelles sont par nature assez dispersées géographiquement. Ces exploitations concentrent donc une part conséquente du cheptel sur des surfaces réduites, ce qui ne va pas sans entraîner des pressions environnementales localisées. La concentration géographique des productions porcine et avicole s'opère parfois dans des zones où les productions de ruminants sont déjà présentes (Gaigné et Letort, 2017). Dans certains bassins de production en fort développement, comme en Catalogne (Dourmad *et al.*, 2017), la production porcine résulte d'une organisation de filière où l'intégration entre les différents maillons est forte.

Les exploitations de granivores mobilisent en moyenne un peu plus d'emplois agricoles que dans les deux cas précédents (2,18 UTA en moyenne européenne), avec des moyennes nationales qui dépassent le seuil de trois UTA dans deux pays (Danemark et Royaume-Uni). La part de l'emploi salarié est également plus élevée (40 % des emplois agricoles), avec un maximum atteint dans les unités danoises (71 %). Les types de travaux à conduire dans ces structures sont sûrement davantage propices à cette forme de partage des tâches entre emplois familiaux et emplois salariés. Les exploitations de granivores regroupent, en moyenne européenne, 325 UGB pour 37 hectares de SAU, soit environ 9 UGB par ha. Les exploitations de ce type sont parfois qualifiées de « hors-sol » en ce sens qu'une part importante (parfois même l'intégralité) des aliments consommés par les animaux n'est pas produite sur l'exploitation, mais achetée sur le marché domestique (dont les céréales) et international (dont le soja). De plus, les déjections animales sont souvent valorisées en dehors de l'exploitation. L'application de ce qualificatif de « hors-sol » a cependant sûrement plus de sens aux Pays-Bas (79 UGB par hectare de SAU) qu'en France (9 UGB par hectare

de SAU) et au Danemark (5 UGB par hectare de SAU). En Espagne, le niveau moyen d'intensification (16 UGB par ha de SAU) résulte d'écarts régionaux substantiels entre les grandes structures intégrées de la Catalogne et les élevages extensifs de porcs ibériques des sierras du sud de la péninsule.

Les productions de porcs et de volailles sont peu dépendantes des aides directes, au prorata de leur chiffre d'affaires (4 % en moyenne européenne). Les aides directes perçues ne sont pas liées aux productions principales (porcs et volailles), mais elles résultent des productions associées telles que les surfaces de céréales. En moyenne européenne, les exploitations de ce type perçoivent 14 300 euros d'aides directes, soit 6 600 euros par emploi agricole et 382 euros par hectare. En raison de l'importance de la SAU dans les exploitations danoises de ce type (179 hectares), le montant d'aides directes par exploitation atteint 52 900 euros, soit dix fois plus qu'aux Pays-Bas où les surfaces sont très limitées (8 hectares). L'influence potentielle des aides directes de la PAC et de leurs modalités d'octroi sur les choix techniques est donc plutôt limitée dans les élevages de ce type ; les normes et/ou règles environnementales ont, en revanche, plus de poids sur les décisions stratégiques des éleveurs.

Au niveau des résultats économiques, la production agricole des exploitations européennes de granivores s'élève, en moyenne, à 356 700 euros, soit 163 600 euros par UTA et 9 500 euros par hectare de SAU (tableau 4). À titre d'exemple, la valeur de la production agricole dans les exploitations danoises de granivores est quatre-vingt fois plus élevée que celle des exploitations polonaises de viande bovine ; par ailleurs, la valeur de la production agricole par hectare de SAU des exploitations néerlandaises de granivores est près de quatre-vingt fois supérieure à celle des exploitations françaises orientées en viande bovine. Le montant des consommations intermédiaires représente, en moyenne européenne, 68 % de la valeur de la production agricole. En raison surtout des modèles productifs adoptés, et

**Tableau 4. Les caractéristiques structurelles et économiques moyennes des exploitations spécialisées en granivores en 2016.** (Source : Commission européenne – DGAGRI – RICA UE 2016 ; Traitement INRA SMART-LERECO).

	DE	BE	DK	ES	FR	IT	NL	PL	UK	UE
<b>Nombre d'exploitations</b>	16 880	2 510	2 870	17 500	14 720	7 410	5 110	20 170	3 820	128 260
<b>Unité de travail agricole</b>	2,12	1,54	3,75	2,09	1,92	2,44	1,97	2,19	3,78	2,18
– % UTA salariées	34 %	5 %	71 %	41 %	28 %	33 %	31 %	27 %	70 %	40 %
<b>Superficie agricole utile (ha)</b>	73	26	179	27	47	28	8	32	57	37
UGB totales	301	595	908	437	410	602	661	119	866	325
UGB totales par ha de SAU	4	23	5	16	9	21	79	4	15	9
<b>Aides directes (K€)</b>	28,2	13,7	52,9	6,3	16,0	10,1	5,7	8,7	15,0	14,3
– par UTA (K€)	13,3	8,9	14,1	3,0	8,3	4,1	2,9	4,0	4,0	6,6
– par ha de SAU (€)	388	530	296	235	342	354	675	270	262	382
<b>Production agricole – PA (K€)</b>	457,9	668,0	1 339,8	299,4	407,7	512,2	886,9	146,8	813,9	356,7
– par UTA (K€)	216,0	433,8	357,3	143,2	212,4	209,9	450,2	67,0	215,3	163,6
– par ha de SAU (€)	6 300	25 800	7 500	11 200	8 700	18 000	105 600	4 600	14 300	9 500
<b>Consommation itd / PA (%)</b>	69 %	71 %	68 %	60 %	76 %	48 %	71 %	71 %	70 %	68 %
EBE/UTA familiale (K€)	93,7	133,4	276,9	86,6	64,4	141,8	164,6	28,5	144,4	78,2

moins des écarts existants dans le coût unitaire des intrants (exemple : le prix à la tonne des aliments), ce taux est plus faible en Italie (48 %) et en Espagne (60 %) qu'en France (76 %) et aux Pays-Bas (71 %). L'EBE par UTA familiale atteint 78 200 euros en moyenne européenne. Si ce montant excède celui des exploitations de ruminants, ces structures sont aussi plus endettées ; une part de cet EBE est donc utilisée pour rembourser le capital des emprunts et payer les frais financiers liés. C'est particulièrement le cas au Danemark où la taille conséquente des élevages (908 UGB en moyenne) a nécessité, en amont, de lourds investissements.

#### ■ 1.4. Quelques perspectives sur la restructuration des exploitations d'élevage

Fort de cette analyse, au demeurant très succincte, sur la situation comparée des exploitations d'élevage entre les États membres, quelques réflexions prospectives (très partielles) portant sur la structuration des exploitations d'élevage peuvent être mises en débat.

Dans le secteur laitier, plus encore que dans d'autres orientations, la restructuration des exploitations a été particulièrement vive au cours des dernières décennies. Dans le cas français, par exemple, le nombre d'exploitations est passé de 380 000 au moment de la mise en œuvre des quotas laitiers en 1984 à 56 000 en 2018. Si le mouvement de concentration de l'activité laitière dans un nombre plus restreint d'exploitations devrait se poursuivre dans les décennies à venir, grâce notamment aux gains de productivité offerts par la robotisation de la traite, les enjeux de restructuration sont désormais plus importants (en nombre d'exploitations concernées et d'emplois) dans les pays de l'Europe de l'Est. Dans certains pays, comme en France où la régulation de l'offre s'opérait à l'échelle des départements, l'abandon des quotas laitiers devrait entraîner une certaine relocalisation de l'offre de lait dans les territoires déjà denses en production de lait. Le nombre d'exploitations sera aussi influencé par la capacité des acteurs de la filière à développer davantage les exportations. Outre les technologies,

les structures d'exploitations seront aussi influencées par l'exigence des nouvelles générations en termes de quantité de travail et de vie sociale. Le développement de formes sociétaires à plusieurs associés et le recours accru à des emplois salariés devrait prendre davantage de place. En l'absence d'une régulation publique forte, les liens entre les laiteries et les exploitations devraient aussi se renforcer, de façon à co-construire les stratégies.

Dans le secteur bovins-viande, la restructuration des exploitations est également forte, en raison des gains de productivité et, aussi, de la perte de débouchés (baisse de la consommation intérieure et difficulté à exporter de la viande bovine européenne à l'international). Les nombreuses exploitations bovines herbagères, extensives et localisées en zones défavorisées resteront, du moins en l'état actuel des prix, durablement dépendantes de la PAC et des aides directes, que celles-ci soient versées à la tête de bétail ou en contrepartie de services territoriaux ou environnementaux rendus. En effet, en

l'absence de soutiens directs ciblés, ces exploitations auraient d'autant plus de difficultés à se pérenniser et à transmettre qu'elles souffrent déjà d'une rentabilité souvent faible au regard des capitaux mobilisés. Si la pluriactivité des éleveurs et la diversification des activités ont permis le maintien d'exploitations de taille parfois modeste (exemple : 34 % des vaches allaitantes en France sont localisées dans des élevages ayant moins de 50 têtes), rien ne dit que les nouvelles générations d'éleveurs accepteront de prendre le relais de ces structures, ce dans les mêmes conditions sociales. Dans les systèmes bovins-viande intensifs (grands ateliers de jeunes bovins) ou proches parfois du hors-sol (veaux de boucherie), l'acceptabilité par la société de ces formes d'élevage ne manquera pas de faire l'objet de débats, en lien avec les préoccupations sur le bien-être animal ou l'environnement. Le vieillissement de la population des éleveurs du secteur allaitant peut aussi conduire à s'interroger sur la capacité des pays, dont la France qui regroupe un tiers du cheptel européen de vaches allaitantes, à maintenir durablement le niveau actuel de production en viande bovine, ce d'autant que la concurrence entre productions agricoles pour l'acquisition du foncier est parfois forte (surtout dans les zones de plaine labourable).

Dans le secteur porcin, où la production est très homogène, la maîtrise des paramètres techniques est souvent une condition *sine qua non* au maintien en activité des élevages. Le poids croissant des normes environnementales (Duflot et Cagnat, 2017) participe, d'une certaine façon, à la sélection des exploitations. C'est également le cas dans le secteur avicole, secteur où la diversité des modèles productifs est cependant plus grande, en raison du poids des filières qualitatives (volailles en label rouge, AOP...). La restructuration des élevages de porcs et de volailles ayant été particulièrement rapide au cours des dernières décennies, les enjeux sociaux liés aux seules exploitations (nombre d'entités et emplois) sont globalement moins cruciaux que pour les activités de ruminants. Pour les élevages porcins, où l'hétérogénéité des modèles est limitée, tant à l'échelle européenne

qu'internationalement (faible part des démarches de qualité dans la production globale, standardisation des bâtiments d'élevage, recours croissant à de la main-d'œuvre salariée...), le devenir des ateliers d'élevage est de plus en plus conditionné à l'évolution de leur acceptation au sein de la société (bien-être animal) et de leur territoire. La concentration géographique des activités est, en effet, déjà très importante (exemple : 58 % des porcs charcutiers français sont produits en Bretagne). Ainsi, la construction de nouveaux bâtiments d'élevage se heurte souvent à des oppositions sociétales fortes (Grannec et Ramonet, 2013). Dans le même esprit, le secteur des œufs connaît actuellement d'importantes évolutions, en raison du fait que les consommateurs, et derrière eux la grande distribution, vont privilégier très prochainement les œufs issus de poules élevées en plein air. Dans les productions standards de porcs et de volailles, l'augmentation de la taille des élevages va, du moins dans certaines zones, de pair avec un mouvement croissant d'intégration, comme c'est par exemple le cas de la production porcine en Catalogne. Ces mutations dans les formes d'organisation (Rieu et Roguet, 2012 ; Bouamra-Mechemache *et al.*, 2015) sont de nature à s'interroger sur la place résiduelle laissée à l'éleveur. En effet, la compétitivité de l'éleveur dépend de plus en plus de l'organisation agro-industrielle locale.

## 2. Les principaux leviers de la performance économique en productions animales

Cette deuxième partie propose une analyse portant sur les principaux leviers de la performance économique des productions animales européennes, en distinguant successivement la « compétitivité coût » et la « compétitivité hors coût ». Ici, la compétitivité fait référence à la capacité d'une entreprise (ou d'un pays) à conserver ou à augmenter ses parts de marché, ce malgré la concurrence (Latruffe, 2010). Le spectre couvert par cette analyse est plus large que celui des seules exploitations d'élevage abordé précédemment.

Il englobe, en effet, les différents maillons d'une filière, qui vont de l'exploitation aux consommateurs en passant par les entreprises de la transformation et les acteurs de la distribution.

### ■ 2.1. La compétitivité coût

La « compétitivité coût » est une notion qui désigne la capacité d'une entreprise ou d'un pays à tenir des prix plus bas que ceux de ses concurrents (Centre d'Études et de Prospective, 2012). À l'échelle internationale, les productions animales européennes sont rarement les plus compétitives sur le seul vecteur des « prix », même si certaines d'entre elles (lait et viande porcine) sont mieux positionnées que d'autres (viande bovine, viande ovine et viande de volailles). Le constat d'une moindre compétitivité coût de l'UE dans les filières animales par rapport à d'autres pays concurrents, dont ceux du Mercosur ou d'Amérique du Nord, peut s'expliquer par au moins trois facteurs : les exigences appliquées au stade de la production au travers des normes sanitaires et environnementales sont plus fortes dans l'UE ; l'utilisation d'une main-d'œuvre salariée à bas coût est moins fréquente qu'ailleurs ; le coût de l'énergie est plus élevé au sein de l'UE que chez d'autres compétiteurs.

#### a. Les substitutions entre facteurs de production

La production de biens et de services issus de l'élevage repose sur des technologies flexibles (Weiss, 2001). Des produits identiques peuvent donc être obtenus en recourant à des combinaisons de productions et de facteurs de production très variées ; ils peuvent également provenir de territoires aux caractéristiques très différentes en termes de types de sol, de relief, de climat, d'urbanisation, d'accès aux réseaux de transport, etc. Pour une production donnée, la flexibilité des technologies est d'abord utilisée pour choisir les facteurs de production les moins coûteux. Les évolutions de prix induisent des substitutions en faveur des facteurs de production dont le prix décline le plus, au détriment de ceux dont le prix augmente le plus.

Ainsi, avec l'élévation progressive du niveau de vie, le facteur de production

qui est devenu assez coûteux, du moins dans les pays développés, est le travail. Il en a résulté que la recherche-développement a été organisée pour proposer des innovations permettant de réduire, à production égale, le recours à ce facteur, principalement au travers de l'essor de la mécanisation, de la motorisation et de l'automatisation. Une des spécificités de l'agriculture européenne est l'accroissement spectaculaire de la productivité du travail, sans pour autant que cela n'induisse une modification majeure du nombre de travailleurs par exploitation, dont le caractère familial persiste majoritairement (Schmitt, 1991). Depuis le dernier élargissement de l'UE en 2004, les différentiels de coût de la main-d'œuvre entre États membres ont augmenté. Parmi tous les nouveaux entrants, la Pologne est le pays qui a le plus profité du faible coût de sa main-d'œuvre pour gagner en compétitivité. Cela est particulièrement le cas dans le secteur avicole où un quadruplement de la production a été observé en quinze ans.

Dans les pays développés, la substitution du capital au travail a souvent été accompagnée d'une accentuation de la spécialisation productive des exploitations (Huffman et Evenson, 2001). Celle-ci permet de mieux exploiter les économies de taille<sup>3</sup> en monoproduction en tirant le meilleur parti des équipements, des approvisionnements et des compétences spécifiques à cette production (Ahearn *et al.*, 2005). Les économies de coût pouvant être liées à la taille des exploitations ne s'expliquent

pas uniquement par des facteurs liés à la technologie de production. Les grandes exploitations peuvent parfois payer moins cher certains biens intermédiaires en raison de la présence de coûts de transaction et de transport et d'un plus grand pouvoir de négociation. Les fournisseurs peuvent réaliser des économies lorsqu'ils livrent un éleveur de grande taille plutôt que plusieurs petits éleveurs. Dans ce sens, certains travaux ont montré que le prix d'achat des aliments est par exemple négativement corrélé avec la taille des exploitations porcines (Duvaleix-Tréguer et Gagné, 2016).

À surface et capital hors cheptel constants, l'accroissement du troupeau entraîne une dépendance accrue de la production aux consommations intermédiaires, mais garde une forte corrélation positive avec l'EBE par UTA familiale. L'obtention de coûts unitaires de production plus faibles dans les exploitations de grande taille n'est absolument pas systématique au sein de l'UE. Outre la taille de la structure, de nombreux autres facteurs interviennent en parallèle tels que le modèle productif (plus ou moins autonome en intrants), la plus ou moins grande maîtrise technique de l'exploitant ou les choix réalisés en matière d'investissement (certaines innovations sont certes avantageuses pour améliorer la productivité du travail, mais elles ont aussi un coût initial, de mise au point et de maintenance plus élevé).

La spécialisation dans les exploitations d'élevage ne permet pas d'exploiter certaines économies de coûts associés aux complémentarités entre les productions (les « économies de gamme »). Cela concerne particulièrement les effluents d'animaux, peu ou pas utilisés par les exploitations végétales, et dont la gestion devient de plus en plus coûteuse pour les exploitations spécialisées à mesure qu'ils excèdent leur propre besoin de fertilisation (Peyraud *et al.*, 2014). En effet, la spécialisation et l'agrandissement des exploitations s'accompagnent le plus souvent d'une utilisation accrue de consommations intermédiaires par hectare, donc d'une substitution de la terre par des consommations intermédiaires par unité produite.

### b. Les économies de taille dans les industries en amont et en aval des élevages

Si des économies de taille et l'éviction du travail par la mécanisation, la motorisation et l'automatisation sont observées dans les élevages, elles sont également présentes dans les industries d'amont et d'aval. Dans l'industrie, le coût unitaire de production décline avec le niveau de production, jusqu'à une valeur optimale qui peut ne jamais être atteinte si le marché est trop étroit pour absorber le niveau de production optimal correspondant.

Les rares études disponibles sur les économies d'échelle ou de taille dans l'agroalimentaire européen placent la transformation des viandes et du lait dans les industries à économies d'échelle croissantes (McCorrison *et al.*, 2001). La part du coût du travail dans les coûts de production des firmes agroalimentaires diminue avec la taille de celles-ci, témoignant d'une plus grande productivité et d'une moindre sensibilité aux variations du coût unitaire du travail des plus grandes entreprises. Dans l'industrie des viandes, la valeur ajoutée rapportée au chiffre d'affaires est souvent faible, notamment dans les abattoirs où le degré de transformation des produits est limité, une part très importante des coûts (environ 70 %) résultant alors des achats d'animaux. Cette valeur ajoutée décline avec la taille des entreprises mesurée en emplois. La valeur ajoutée rémunérant le travail et le capital, le déclin de la part de la valeur ajoutée avec la taille montre que des économies de taille sont associées à ces deux facteurs et à leur combinaison. Elles peuvent provenir d'économies d'échelle dans la production des installations industrielles et/ou d'une plus grande productivité physique du travail grâce à une meilleure organisation ou à sa plus grande substitution par des équipements matériels. Cette régularité n'est pas observée dans l'industrie laitière. Les taux de valeur ajoutée selon la taille des entreprises sont très différents d'un pays à l'autre. Cette grande hétérogénéité reflète le poids des autres déterminants dans la construction de la valeur ajoutée et dans sa distribution au sein des filières : concurrence imparfaite et qualité des

3 Pour les économies de taille, la définition utilisée est celle rappelée par Rasmussen (2011) qui est la réduction du coût moyen en fonction du volume de production. Cette mesure est souvent confondue avec les économies d'échelle qui découle de l'accroissement plus que proportionnel de la production quand tous les facteurs de production sont accrus simultanément et se traduisent aussi par une baisse du coût moyen. À la marge, les deux notions se confondent, mais elles sont très différentes pour des changements de taille significatifs, car en général les économies de taille sont réalisées avec de fortes modifications dans les proportions des différents facteurs de production. Les exploitations agricoles offrent une bonne illustration de ce phénomène. En l'absence d'analyse de la structure des coûts de production, les deux notions sont souvent utilisées indifféremment.

produits. Enfin, l'effet positif de la productivité et de la taille des entreprises agroalimentaires sur leur capacité exportatrice a été clairement mis en évidence (Gagné et Le Mener, 2014). Il s'explique par l'existence de coûts fixes, c'est-à-dire indépendants des volumes commercialisés, pour l'accès à des marchés lointains. Les économies réalisées par l'agrandissement des entreprises proviennent également de la capacité des grandes entreprises à influencer les prix, c'est-à-dire à réduire les prix d'achat de la matière première et à imposer des prix de vente plus élevés.

### c. La concentration géographique des productions et des acteurs impliqués

La division des tâches et la dépendance des élevages spécialisés aux consommations intermédiaires, en particulier aux aliments du bétail qui sont achetés, sont en interaction forte avec la localisation géographique des élevages et des entreprises de transformation. Si l'élevage est sensible aux conditions des sols et de climat, avec un avantage certain des plaines tempérées océaniques par rapport aux montagnes ou aux climats arctique et méditerranéen, ces conditions n'expliquent qu'en partie la localisation des élevages.

La concentration ou la dispersion géographique d'un même type d'élevage dépend d'arbitrages multiples entre les coûts de transport des approvisionnements et des productions, des économies de taille dans les différents maillons de la filière et des économies d'agglomération (Arfa *et al.*, 2011). Ces arbitrages diffèrent selon les filières et les types d'élevage. Il ressort que les économies de taille réalisées dans les entreprises de première transformation, laiterie et abattoirs, vont de pair avec la proximité des élevages qui les fournissent, les distances de collecte étant prioritaires à minimiser par rapport aux coûts d'approvisionnement en matière première pour l'alimentation animale ou à ceux d'acheminement des produits issus de la première transformation (Chatellier et Gagné, 2012). Ainsi la concentration géographique des élevages laitiers et granivores permet-elle des gains en termes de coûts auxquels

s'ajoutent des économies d'agglomération de différentes natures. Il s'agit de réseaux de compétences et de services concernant notamment la santé animale, la reproduction, l'entraide, l'amélioration et l'entretien des bâtiments, mais aussi d'économies de taille et de conditions concurrentielles favorables aux éleveurs pour l'approvisionnement en aliments du bétail.

Dans de nombreuses zones géographiques de l'UE, mais également aux États-Unis (MacDonald, 2009), la réalisation des économies de taille dans la première transformation et dans les élevages s'accompagne d'une concentration géographique des productions. En France, par exemple, la concentration géographique des élevages porcins en Bretagne a été permise en dépit d'un certain éloignement des productions céréalières et des bassins de consommation. Bien que de fortes disparités régionales et nationales des régimes alimentaires persistent, le développement agro-industriel a favorisé, par la modification des rapports de prix, la substitution des viandes blanches aux viandes rouges.

### d. La structuration des filières

La coordination verticale au sein des filières offre des opportunités de stabilisation des prix et des revenus. Les contrats de long terme et les contrats d'intégration permettent d'aller dans le sens de cette mutualisation. Ils accompagnent le développement de clusters agro-industriels comme c'est par exemple le cas en Catalogne (Dourmad *et al.*, 2017). En effet, l'engagement d'investissements non récupérables dans une activité de production ou de transformation de grande capacité soumet l'investisseur au risque de sous-utiliser cette capacité si ses débouchés ou ses approvisionnements sont défaillants. Ce double lien entre producteurs et transformateurs est une puissante incitation à des accords de longue durée, qui, en retour, sont nécessaires au développement de ces clusters (Hobbs et Young, 2000). La théorie des contrats explique alors pourquoi le partenaire qui assure l'autre réalise le plus grand profit (Worley et McCluskey, 2000).

Au sein de l'UE, une multiplication des acquisitions et des fusions d'entreprises

agroalimentaires est à l'œuvre depuis de nombreuses années déjà (Rouault, 2010). Elle s'accompagne d'un renforcement de la coordination verticale, avec une plus forte implication des industriels dans les relations entre ces derniers et les éleveurs, notamment au travers des contrats (Watanabe *et al.*, 2017). En réduisant le nombre de décideurs et en limitant la concurrence entre les entreprises, le niveau de décision devient de plus en plus centralisé au niveau des industriels. Dans ce contexte, la gestion du risque des aléas liés aux variations de production peut être de moins en moins réalisée au niveau de l'exploitation agricole, mais de plus en plus au niveau des industriels de l'aval. L'incitation pour les exploitants agricoles à se diversifier pour se protéger des risques se réduit tandis qu'elle augmente chez les industriels qui prennent en charge ces risques. Par ailleurs, les industriels sont incités à réduire le nombre de fournisseurs pour minimiser les coûts de transaction et à favoriser la spécialisation des élevages pour exploiter les économies de taille. Ainsi, les industriels peuvent gérer les risques en se dotant d'un portefeuille diversifié d'activités constituées d'unités de production très spécialisées. En déplaçant la gestion du risque au niveau des industries de l'aval au détriment des élevages, l'intégration verticale peut favoriser l'émergence d'élevages spécialisés de grande taille. Cette analyse ne signifie pas, pour autant, que les éleveurs qui s'engagent dans la voie de la contractualisation avec des groupes industriels puissants ne prennent aucun risque économique. Ils deviennent en effet fortement dépendants des niveaux de prix pratiqués par ces derniers ; or, ces prix peuvent varier parfois de façon importante en fonction des conditions du marché ou des résultats techniques obtenus.

Le partage de la valeur ajoutée entre producteurs, transformateurs et distributeurs est une question fortement débattue, en particulier en France, apparemment le seul pays européen à avoir créé un observatoire des coûts et des marges. La structure pyramidale des marchés agroalimentaires, avec encore de nombreux producteurs, beaucoup moins de transformateurs et très peu de

distributeurs expose les agriculteurs, et dans certains cas les industriels, à voir leurs gains de productivité et leurs économies de taille captés par la grande distribution ou un transformateur en position de monopole/monopsonne<sup>4</sup>. La réforme de la PAC de 2013 cherche à prendre en compte cette réalité en autorisant la formation d'organisations de producteurs, réservées jusqu'alors au secteur des fruits et légumes. Ainsi, le « Paquet Lait » adopté en 2010 avait ouvert la voie en autorisant les éleveurs à négocier collectivement les clauses contractuelles de vente de lait au sein d'organisations de producteurs pour une part de marché limitée au niveau national (33 %) et européen (3,5 %). La réforme de 2013 ouvre cette possibilité à d'autres productions, dont la viande bovine et les grandes cultures. Ces organisations peuvent, dans certaines limites, déroger aux règles de la concurrence pour essayer de contrecarrer le pouvoir de marché de leurs clients, en maîtrisant et en différenciant leur offre, notamment pour les productions sous signe de qualité. De nombreuses questions se posent sur la forme que prendront ces organisations et leur différence par rapport aux coopératives et autres groupements existants (Van Herck, 2014 ; Bouamra-Mechemache et Zago, 2015).

#### e. Le rôle de la Politique Agricole Commune (PAC)

Si les aides directes de la PAC peuvent avoir une influence sur la capacité concurrentielle ou non de l'UE sur les marchés internationaux, les décisions prises dans le cadre des mesures de marché (droits de douane, contingents d'importations, encadrement des aides à l'export...) ont aussi une importance stratégique.

La réforme de la PAC de 1992 a marqué un tournant dans les modalités de financement de l'agriculture européenne et de son élevage. En entrant dans une logique qui consistait à octroyer des aides directes aux agriculteurs en com-

pensation d'une baisse des prix garantis (lesquels avaient historiquement été fixés à un niveau élevé), les décideurs européens ont accepté l'idée que le coût de la PAC deviendrait davantage supporté par les contribuables (budget de la PAC) et moins par les consommateurs (au travers du prix de marché). Ce choix politique, pris sous la contrainte des négociations de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), visait à rapprocher les prix communautaires des prix mondiaux et, ainsi, à permettre aux agriculteurs européens de devenir plus compétitifs sur les marchés extérieurs. Si cet objectif est partiellement atteint, du moins pour certaines productions agricoles, la réduction des écarts de « compétitivité - prix » entre l'UE et les pays tiers tient aussi à l'augmentation, sur longue période, des cours internationaux des matières premières agricoles.

De très nombreuses exploitations européennes d'élevage (cf. partie 1) sont aujourd'hui devenues économiquement dépendantes des aides directes. Compte tenu des décisions prises en 2014, tant à l'échelle communautaire (règlements) que nationale (application des dispositifs), il est attendu que cette situation perdurera au moins jusqu'en 2020, date des prochaines négociations budgétaires. Si les dépenses publiques allouées en faveur de l'agriculture européenne sont stabilisées depuis plusieurs années déjà, les types de soutiens budgétaires ont évolué. Ceux-ci sont désormais accordés, pour l'essentiel, sous la forme d'aides directes découplées avec pour support principal le facteur terre.

Pour le secteur laitier, les évolutions récentes de la PAC se sont manifestées, pour l'essentiel, par un abaissement des prix d'intervention du beurre et de la poudre de lait (compensé par l'octroi d'aides directes aux producteurs) et la suppression des quotas de production. Il a en résulté une hausse de la production européenne de lait (environ +13 milliards de litres entre 2013 et 2018), une forte variabilité des prix payés aux producteurs et une augmentation des exportations vers les pays tiers, notamment vers la Chine. Pour les productions bovine et ovine, les modi-

fications de la PAC sont intervenues il y a déjà bien longtemps (1992 et 1999) ; sans modifier le niveau des prix garantis, les années récentes ont surtout été l'occasion de renforcer le montant des aides directes aux producteurs par un transfert de fonds opéré au détriment d'autres productions (dont surtout les céréales). La capacité de l'UE à exporter de la viande bovine est limitée et ses importations sont en baisse en raison du recul de la consommation et de l'attachement supposé des consommateurs aux produits domestiques qui motivent les barrières non tarifaires et les pics de droits de douane imposés par l'UE sur les viandes de ruminants. Pour les productions de granivores, moins soutenues par la PAC, l'abandon des restitutions aux exportations a sûrement été l'élément le plus notable. Il fragilise les exportations européennes de viande de volailles vers les pays du Moyen-Orient où les brésiliens sont fortement présents (Chatellier *et al.*, 2015), mais n'a pas affecté le développement récent des exportations de viande porcine, stimulé par une demande chinoise soutenue.

#### ■ 2.2. La compétitivité hors coût

À l'échelle européenne, la « compétitivité hors coût » (Chevassus-Lozza et Gallezot, 1995) renvoie d'une part aux exigences de qualité, principalement sanitaire, relevant de la protection des consommateurs et s'imposant par la réglementation à tous les produits issus de l'élevage et, d'autre part, à la différenciation des produits. Cette dernière vise à s'adapter à l'hétérogénéité des préférences des consommateurs et de leurs revenus. Elle repose sur une organisation des filières s'assurant d'un contrôle, d'une traçabilité et souvent d'une certification de la qualité sur les critères différenciés tout au long de l'élaboration du produit. Des coûts supplémentaires sont nécessaires pour faire connaître et reconnaître cette qualité différenciée aux consommateurs. Ainsi, l'étiquetage, qui a pris une place centrale dans la vie des consommateurs et l'organisation des filières, se retrouve aujourd'hui au centre de préoccupations juridiques qui visent notamment à rendre compatibles les

4 Un monopsonne est un marché sur lequel un seul demandeur se trouve face à un nombre important d'offres. C'est la situation symétrique à celle du monopole dans lequel un seul offreur fait face à de nombreux demandeurs.

règles internationales du commerce, de la santé et de l'environnement. Pour permettre au consommateur de choisir, la législation a multiplié les mentions informatives obligatoires et a mis en place des dispositifs spécifiques pour encadrer l'information volontaire (Friant-Perrot, 2016). L'analyse du comportement du consommateur souligne cependant la complexité des arbitrages à réaliser, les variabilités nationales des attentes des consommateurs-citoyens, et par là même les limites de la régulation de la santé et de l'environnement par la segmentation des marchés.

#### a. La priorité donnée dans l'UE à la qualité sanitaire des produits

En raison des risques microbiologiques particuliers qu'elles présentent au regard de la santé des consommateurs, les denrées d'origine animale sont soumises à des exigences renforcées et plus formalisées que les denrées d'origine végétale. L'objectif de santé publique prime alors sur les autres considérations et les règles sanitaires s'appliquent de la même manière aux produits nationaux ou importés. À la suite des crises liées à l'épizootie d'Encéphalopathie Spongiforme Bovine (ESB), la réglementation européenne et l'exigence de traçabilité se sont renforcées (Pineau *et al.*, 2016). Ces règles sont associées à des barrières non tarifaires protégeant les éleveurs européens de certaines importations, notamment de viande bovine, et favorisant les exportations vers des pays où cette qualité n'est pas garantie, comme pour le lait infantile en Chine. Ces normes constituent alors une différenciation des produits profitables à l'UE sur les marchés internationaux (Gagné et Larue, 2016). Cependant, et également au nom de considérations sanitaires, plusieurs productions alimentaires pourtant présentes sur le marché européen sont interdites à l'exportation vers certains pays. C'est le cas des fromages au lait cru et de certaines salaisons européennes qui sont interdites aux États-Unis.

Les enjeux commerciaux autour des normes sanitaires sont donc très importants, comme le montrent les débats et les inquiétudes qui ont cours autour des négociations d'accords de

libre-échange euro-étatsuniens. C'est pourtant un domaine où les pays développés pourraient avoir un intérêt à s'entendre et à promouvoir des standards élevés vis-à-vis du reste du monde, ce dans l'intérêt de tous les consommateurs.

#### b. La différenciation des produits et des processus de production

Les stratégies de différenciation des produits animaux sont très nombreuses, aussi bien pour les produits laitiers que pour les produits carnés. Les stratégies de marques ne s'appuient que sur des normes privées, liées à un savoir-faire de l'entreprise de transformation ou de distribution. L'agriculture biologique, les indications géographiques et les appellations d'origine, ainsi que certains labels ou indications informatives ont une certification qui est garantie par l'État et qui est reconnue par l'UE.

Les attributs différenciés peuvent être très variés, touchant les localisations et techniques d'élevage, les transformations et les commercialisations. La plupart des attributs différenciés se traduisent par des qualités du produit repérables et vérifiables par le consommateur après l'achat. Dans ce cas, on parle de « biens d'expérience » (Nelson, 1974). D'autres ne le sont pas directement, comme les effets environnementaux, les qualités nutritionnelles et sanitaires fines associées à ces produits, ou même l'origine géographique dans certains cas. On parle alors de « biens de croyance » (Darby et Karni, 1973). Pour ces derniers, la traçabilité, la certification et leurs publicités sont des opérations fondamentales et coûteuses pour assurer le succès de la différenciation auprès des consommateurs.

Avec l'élévation du niveau de vie, la préférence des consommateurs pour la variété a fait bon accueil à l'accroissement de la différenciation des produits. S'y est ajouté une croissance des préférences pour l'environnement, un souci du bien-être animal et une crainte suscitée par les crises sanitaires ou les organismes génétiquement modifiés (Bouamra-Mechelache, 2016). L'explosion des marques, des labels et la combinaison de différents

types d'indications sur les produits semble aujourd'hui proche de saturer les capacités cognitives des consommateurs (Chrysochoidis, 2000). Face à ce foisonnement, plus fort dans le sud de l'Europe et le Royaume-Uni qui se distinguent par une multiplicité d'indications géographiques, certains auteurs s'alarment de l'incapacité de ces stratégies, coûteuses y compris pour les contribuables, à créer de la valeur ajoutée, notamment à l'exportation (Bureau *et al.*, 2015).

Les produits animaux issus de l'agriculture biologique, qui ont bénéficié d'une harmonisation du cahier des charges par un règlement européen en 1999, font depuis plusieurs années l'objet d'une demande accentuée de la part des consommateurs européens. En dépit de la progression incontestable des parts de marchés, le poids de l'agriculture biologique dans la production européenne issue de l'élevage demeure encore faible. En France, par exemple, l'agriculture biologique représente, en 2017, 10,1 % des effectifs de poules pondeuses, 9 % des brebis laitières, 7,7 % des chèvres, 6,1 % des brebis à viande, 5,4 % des vaches laitières, 4,5 % des vaches allaitantes, 1,4 % des poulets de chair et 1,1 % des truies (AgenceBio, 2018). La progression est plus forte dans les productions et les pays/régions où les conditions de production préexistantes sont plus proches du cahier des charges. Les filières de l'agriculture biologique présentent une grande hétérogénéité et une évolution rapide dans les segments de la transformation et de la commercialisation. Bien qu'encore associée aux nombreuses formes de vente directe, de circuits courts et d'autres signes de qualité, l'agriculture biologique est aujourd'hui marquée par la structuration de filières industrielles et le poids désormais prépondérant de la grande distribution dans la commercialisation.

Le Label Rouge, développé en France, est accessible à tous les agriculteurs. Il ne repose que sur des contraintes techniques, en termes de nutrition et d'âge des animaux ainsi que sur des tests organoleptiques. Son succès est manifeste dans la volaille de chair, avec un quart des ventes. Devenu un espace

de concurrence, les opérateurs sur ce marché n'ont cessé d'ajouter des indications d'origine géographique ou d'autres informations différenciées plus ou moins réglementées à caractère social, environnemental ou sanitaire (plein air, fermier, sans OGM).

Les stratégies de terroirs (AOP, Indication Géographique Protégée – IPG –, Spécialité Traditionnelle Garantie – STG –) sont fondées sur une typicité de certains produits provenant de conditions naturelles et/ou de savoir-faire locaux spécifiques. Les règles européennes en la matière ont été harmonisées en 1992, avec la reconnaissance et la protection des indications géographiques. Les profils nationaux découlent pour une part des appellations historiques. Les États membres de l'UE se sont efforcés depuis de faire reconnaître un grand nombre de spécialités régionales dans tous les types de produits et de recettes. Leur nombre a doublé en vingt ans. Le suivi des volumes est cependant déficient au niveau européen et il est difficile de dire s'ils ont suivi une progression aussi forte. Les cahiers des charges correspondants peuvent être limités à une recette, à un type de transformation ou à une origine des produits, ou bien prescrire un ensemble de contraintes de production, de transformation et de commercialisation et packaging. La force et la faiblesse de ces démarches résident dans les contraintes historiques et géographiques qui déterminent la typicité. La force provient de l'attachement culturel des consommateurs de proximité à ces produits. La faiblesse provient des contraintes techniques imposées et de ses surcoûts induits. Les marges de manœuvre sont donc réduites pour élargir les marchés. Ainsi, un certain nombre d'appellations restent-elles confidentielles et peinent à dégager une rente de monopole suffisante pour couvrir ces surcoûts inévitables. Les plus connues, comme le Comté, sont celles où la stratégie a conservé un noyau dur de contraintes assurant la qualité du produit et sa régularité tout en intégrant les innovations et les opportunités d'économie d'échelle, dans l'automatisation de l'affinage et un packaging adapté à la grande distribution dans cet exemple.

La reproductibilité des succès du Comté ou du Parmigiano Reggiano est incertaine. Elle suppose une adhésion des consommateurs qui ne se décrète pas et une discipline de l'interprofession qui repose aussi sur des facteurs humains (Dervillé, 2012).

En dépit de quelques réussites phares, surtout en fromages, les signes officiels d'origine géographique sont surtout efficaces dans leur pays d'origine ; les exportations hors UE sont, en effet, très faibles ; ceci rappelle que la stratégie à l'export concerne le plus souvent des produits standards. Si ces signes de qualité ont un intérêt crucial pour le maintien de l'identité culturelle des terroirs, notamment dans quelques pays (Italie, Grèce et France), leurs parts de marché sont encore limitées aux environs de 10 % pour les produits laitiers et de moins de 3 % pour les viandes. À l'exception notable de la France pour les produits laitiers, les indications d'origine se développent davantage dans les pays dont le solde commercial s'est dégradé. Cette démarche est donc surtout de nature défensive pour les productions territorialisées qui sont concurrencées par l'élargissement des marchés. Dans quelques cas, elle contribue à la définition de produits haut de gamme dont la notoriété dépasse les frontières culturelles. Cependant, les possibilités d'accroissement des productions sont limitées par l'aire géographique de référence et les contraintes techniques associées à la définition du produit. Le débat autour de la thermisation du lait pour certains fromages au lait cru illustre bien les difficultés techniques d'insertion des signes officiels de qualité et d'origine (SIQO) dans des logiques industrielles. Les succès de certaines appellations, en particulier italiennes, montrent que des coordinations verticales peuvent être conciliables avec des coordinations territoriales.

### c. La captation de la valeur ajoutée issue de la différenciation

Du point de vue des producteurs et des transformateurs, le premier arbitrage concerne le surcoût technique pour atteindre la qualité différenciée qui doit être inférieure à la différence

de consentement à payer des consommateurs ciblés (Combe et Mucchielli, 2011). Le deuxième arbitrage concerne le surcoût associé aux études de marchés, à l'établissement des normes, à leur vérification par un dispositif dédié et à leur publicité. Ces coûts comportent des coûts fixes, indépendants du volume produit, ce qui nécessite une production minimale pour être amortis.

Quand le processus de différenciation peut être maîtrisé par un seul acteur, en général un transformateur de grande taille dans une stratégie de marque, ces arbitrages sont plus faciles (Gagné et Larue, 2016). Cette démarche caractérise par exemple les innovations multiples des grandes marques sur les produits laitiers frais. En outre, le transformateur dispose alors d'un certain pouvoir de monopole vis-à-vis des distributeurs lui permettant de récupérer une plus grande part du supplément du prix. Les producteurs ne sont cependant pas nécessairement invités à en bénéficier. Dans un contexte où la transformation du bien différencié est localisée et basée sur des investissements difficilement récupérables, il n'est pas exclu qu'une organisation de producteurs de proximité puisse améliorer ce partage à leur profit, en récupérant au moins la valeur des coûts de transport d'approvisionnements plus lointain.

La coordination est plus compliquée pour les stratégies collectives, en particulier lorsqu'elles impliquent des processus de différenciation ancrés dans les exploitations. Sur ce point, il convient de bien distinguer les labels de qualité qui sont basés sur des cahiers des charges accessibles à tous et les indications géographiques et appellations d'origine réservées à des territoires bien délimités. Il existe une grande diversité de stratégies et de déterminants conduisant à tel ou tel niveau de contrainte sur les processus de production (Yu et Bouamra-Mechemache, 2016). Ces déterminants sont la flexibilité de la demande relativement à celle de l'offre, la structure de la concurrence entre les différents maillons de la filière et les caractéristiques de la technologie agricole. Ces stratégies collectives peuvent être pilotées par un acteur individuel, le plus souvent un transformateur ou

un distributeur qui commande la filière, ou par un collectif d'acteurs incluant ou non une régulation par les pouvoirs publics.

Trois conditions sont nécessaires pour qu'une contrainte productive plus forte soit bénéfique aux agriculteurs, au détriment de la marge des transformateurs : *i*) une demande rigide, où la consommation du bien différencié réagit peu à son propre prix ; *ii*) l'existence d'un pouvoir de marché du transformateur sur le marché final, lui permettant d'extraire le consentement à payer des consommateurs ; *iii*) la contrainte doit davantage affecter le coût marginal de la production agricole que ses coûts fixes. Lorsqu'ils sont partie prenante des stratégies de différenciation comme c'est le cas pour les SIQO, les pouvoirs publics n'ont donc pas seulement un rôle pour la protection des consommateurs et de l'environnement. Ils peuvent aussi influencer sur la formation et le partage de la rente monopolistique entre les différents maillons de la filière.

## Conclusion

L'UE occupe une place importante à l'échelle internationale dans le domaine des productions animales. En dépit d'un niveau élevé de consommation de protéines animales par habitant et par an, du moins par rapport à de nombreux pays en développement, l'UE parvient à dégager une balance commerciale largement positive dans ce secteur. Ce constat global ne doit pas masquer, d'une part, l'existence de situations contrastées selon les filières productives et, d'autre part, la présence d'importants flux d'échanges entre les différents États membres.

Dans le secteur du lait et des produits laitiers, le niveau des prix au sein de l'UE est devenu proche de celui des autres grands pays exportateurs (Nouvelle-Zélande et États-Unis), en raison notamment de l'application dans le cadre de la PAC d'une baisse des prix garantis compensée par l'octroi d'aides directes aux agriculteurs. Les importations de produits laitiers sur le marché européen sont très faibles (moins de 1 % de la consommation intérieure) et proviennent

surtout de la Suisse (achats de fromages de qualité) et de la Nouvelle-Zélande (achats de beurre). La très grande diversité de produits laitiers existants déjà sur le marché domestique, l'exigence des pouvoirs publics européens (exemple : interdiction de l'utilisation de l'hormone de croissance bovine recombinante), les droits de douanes et la présence de groupes industriels performants à l'échelle internationale constituent des freins au développement des importations européennes dans ce secteur. En l'absence de quotas à la production depuis 2015, l'offre laitière a progressé et les exportations européennes de produits laitiers se sont développées à destination surtout de pays asiatiques, dont la Chine où les consommateurs se sont pour partie détournés de l'offre intérieure suite au scandale du lait frelaté à la mélamine. Si l'UE est moins compétitive au niveau des coûts que la Nouvelle-Zélande pour la poudre de lait entier, l'importance de son offre intérieure et son savoir-faire technologique sont des atouts incontestables. Dans le secteur de la viande bovine, l'UE présente une balance commerciale proche de l'équilibre. Elle n'est pas compétitive au niveau des coûts par rapport aux grands exportateurs que sont le Brésil, l'Australie, l'Inde et les États-Unis. Les exportations sont donc historiquement limitées et destinées d'abord à des pays peu éloignés géographiquement et à haut niveau de pouvoir d'achat, tels que la Suisse, Israël et la Norvège ou alors à des bovins vivants vers les pays du pourtour méditerranéen. Grâce aux droits de douanes résiduels appliqués aux frontières de l'UE, à l'exigence des pouvoirs publics en matière de règles sanitaires sur les produits importés (opposition aux États-Unis sur le bœuf aux hormones, inspection et habilitation des structures exportatrices au Brésil...), à la réduction des besoins intérieurs en viande bovine et à l'intérêt renforcé de certains consommateurs pour les productions locales, les importations européennes s'inscrivent à la baisse depuis plusieurs années. Dans le secteur porcin, les importations européennes sont, et depuis longtemps, insignifiantes. En dépit d'un revers de fortune lié à l'embargo russe, et de la concurrence américaine et canadienne, les exportations européennes de viande porcine ont

progressé au cours de la période récente en raison d'une hausse des achats asiatiques (Chine, Japon et Corée du Sud). Dans le secteur de la viande de volaille, l'UE est excédentaire en volume, mais déficitaire en valeur, ce qui indique que les produits exportés sont moins chers à la tonne que les produits importés. Les importations européennes se font principalement en provenance de deux pays, le Brésil (poulets) et la Thaïlande (préparations à base de volailles), où les coûts de production sont plus avantageux. Les exportations européennes de produits de qualité, comme les poulets Label Rouge fréquents en France, sont très faibles en raison d'une demande mondiale plus sensible à un bas niveau de prix qu'aux modèles productifs adoptés.

Le positionnement concurrentiel d'une zone géographique n'est pas guidé exclusivement par le seul niveau de ses coûts de production, même si ceux-ci sont souvent déterminants dans le cas de biens standardisés. Au sein de l'UE, plusieurs facteurs contribuent à ce que le niveau des coûts de production en élevage ne soit pas toujours compétitif par rapport à ceux de pays concurrents sur les marchés internationaux : les exploitations d'élevage sont des structures familiales de taille modeste comparativement à certains pays (États-Unis, Brésil...) où les économies de taille peuvent parfois se manifester sur certains postes de charges ; le coût de la main-d'œuvre est souvent plus élevé que dans de nombreux autres pays concurrents, dont ceux de l'Amérique du sud ; le prix d'acquisition du foncier agricole atteint des niveaux records dans certains États membres (dont aux Pays-Bas, en Italie et en Irlande) ; les normes (sanitaires, environnementales, sociales...) appliquées tant à l'amont qu'à l'aval sont très souvent plus exigeantes que celles qui prévalent ailleurs, ceci limitant le potentiel productif et/ou influant négativement le niveau des coûts de production.

Dans le domaine des biens alimentaires, l'obtention de coûts de production plus élevés que la concurrence n'est pas systématiquement un handicap insurmontable pour le vendeur dans la mesure où les produits commercialisés ne sont pas toujours perçus comme

étant strictement identiques par les acheteurs/consommateurs. En effet, le consentement à payer de ces derniers peut être influencé par des considérations variées comme la provenance géographique du produit (préférence pour les productions locales, les productions de montagne...); le modèle productif sous-jacent à sa production (refus de la viande avec hormone et des produits avec OGM, préférence pour le Label Rouge ou les AOP, intérêt porté au bien-être animal...); la pression environnementale induite (préférence pour l'agriculture biologique...); le modèle social qui en résulte (préférence pour des produits issus du commerce équitable), etc. Si ces considérations ont encore peu d'importance dans de nombreux pays en développement où le pouvoir d'achat des consommateurs est faible et la part de l'alimentation dans le budget des ménages est écrasante, la situation est différente pour une part croissante de la population des pays industrialisés et émergents. Ainsi la compétitivité coût et la compétitivité hors coût ne doivent pas être opposées, mais combinées au mieux dans chaque situation. La démarcation de certains produits, typiquement les AOP, pose une limite physique à l'accroissement de leur production en raison d'un bassin de production délimité et d'un cahier des charges restreignant

le rendement. Cependant les succès observés dans ce domaine tiennent à une adaptation concertée des normes techniques garantissant les qualités valorisées par les consommateurs, tout en permettant les économies de taille aux différents échelons de la filière.

Pour éclairer davantage le volet de la compétitivité au sein de l'UE et de ses États membres, il semble nécessaire que des travaux complémentaires soient menés sur les économies de taille, les économies de gamme et les effets d'agglomération dans les filières animales, tant en amont qu'en aval. Des investigations doivent être envisagées pour notamment :

i) appréhender les implications économiques des différents modes de coordinations verticales et horizontales (intégration, contractualisation, coopératives et organisations de producteurs) en termes de création de valeur et de partage de celle-ci ;

ii) analyser l'influence des politiques publiques (fiscalité, normes et paiements sanitaires, sociaux et environnementaux) sur l'investissement, la gestion du risque et l'innovation de procédé ;

iii) discuter du rôle de la qualité des produits, du coût de sa traçabilité et de l'innovation de produit dans la perfor-

mance des entreprises européennes sur les marchés extérieurs ;

iv) comprendre l'influence des normes privées (par exemple, grande distribution) et publiques (mesures non tarifaires et signes officiels de qualités) sur la capacité des entreprises européennes à conquérir de nouveaux marchés.

Les recherches conduites autour de ces questions impliquent de faire progresser les méthodologies existantes et de disposer de données statistiques fines. Or, à la lumière de certains débats qui ont lieu sur les travaux issus de l'observatoire des prix et des marges des produits alimentaires, force est de constater que l'accès à des données pertinentes de l'aval n'est pas toujours simple.

## Remerciements

Ce travail, qui s'inscrit dans le cadre du projet COMPANI (COMPétitivité des filières ANImales françaises) coordonné par Stéphane Turolla (INRA, UMR SMART-LERECO), a bénéficié de l'appui financier du Ministère en charge de l'Agriculture. Nous remercions Carl Gagné (INRA, UMR SMART-LERECO) pour la relecture constructive d'une première version de ce texte.

## Références

- AgenceBio, 2018. L'agriculture biologique, un accélérateur économique, à la résonance sociale et sociétale. Rapport, 44p. [http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/agencebio-dossierdepressechiffres-juin2018-bat\\_31.05.2018.pdf](http://www.agencebio.org/sites/default/files/upload/agencebio-dossierdepressechiffres-juin2018-bat_31.05.2018.pdf)
- Ahearn M.C., Yee J., Korb P., 2005. Effects of differing farm policies on farm structure and dynamics. *Am. J. Agricult. Econ.*, 87, 1182-1189.
- Arfa N.B., Daniel K., Rodriguez C., Shonkwiler S.J., 2011. Spatial structure of agricultural production in France: the role of the Common Agricultural Policy. *Disaggregated Impacts of CAP Reforms*, 285p.
- Bouamra-Mechemache Z., 2016. Contribution des filières animales à la valeur ajoutée. In : Dumont *et al.*, 2016. Rapport de l'expertise scientifique collective INRA « Rôles impacts et services issus des élevages en Europe », 666-691.
- Bouamra-Mechemache Z., Zago A., 2015. Introduction: collective action in agriculture. *Eur. Rev. Agricult. Econ.*, 42, 707-711.
- Bouamra-Mechemache Z., Duvaléix-Tréguer S., Ridier A., 2015. Contrats et modes de coordination en agriculture. *Econ. Rurale*, 345, 7-28.
- Bureau J.C., Fontagné L., Jean S., 2015. L'agriculture française à l'heure des choix. Les notes du Conseil d'Analyse Économique (CAE), 27, 12p. <http://www.cae-eco.fr/IMG/pdf/cae-note027v2.pdf>
- Centre d'Études et de Prospective, 2010. Le Réseau d'Information Comptable Agricole. *Analyse*, 23, 4p.
- Centre d'Études et de Prospective, 2012. La compétitivité des filières agroalimentaires : une notion relative aux déterminants multiples. *Analyse*, 42, 4p.
- Cerles A., Lherm M., Poux X., Agabriel J., 2017. Étude prospective des filières viande de ruminants du Massif central à l'horizon 2050. In : Élevage Bovin allaitant. Agabriel J., Renand G., Baumont R. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 30, 179-196.
- Chévasus-Lozza E., Gallezot J., 1995. La compétitivité hors-prix dans les échanges de produits agricoles et agroalimentaires français sur le marché communautaire. *Économie et prévision*, 117, 143-154.
- Chatellier V., 2016. Le commerce international, européen et français des produits laitiers : évolutions tendancielles et dynamiques concurrentielles. *INRA Prod. Anim.*, 29, 143-162.
- Chatellier V., Gagné C., 2012. Les logiques économiques de la spécialisation productive du territoire agricole français. *Innov. Agron.*, 22, 185-203.
- Chatellier V., Magdelaine P., Trégaro Y., 2015. La compétitivité de la filière volaille de chair française : entre doutes et espoirs. *INRA Prod. Anim.*, 28, 411-428.
- Chrysochoidis G., 2000. Repercussions of consumer confusion for late introduced differentiated products. *Eur. J. Marketing*, 34, 705-722.
- Combe E., Mucchielli J.L., 2011. La compétitivité par la qualité. Rapport de la fondation de l'innovation politique, 39p. <http://www.fondapol.org/wp-content/uploads/2011/10/La-competitivite-par-la-qualite.pdf>

- Commission européenne, 2016. Dairy farms report based on 2013 FADN data. Report, 214p. [http://ec.europa.eu/agriculture/rica/pdf/Dairy\\_report\\_2015.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/rica/pdf/Dairy_report_2015.pdf)
- Commission européenne, 2017. EU agricultural outlook for the EU agricultural markets and income 2017-2030. Report, december, 90p. [https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/markets-and-prices/medium-term-outlook/2017/2017-fullrep\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/markets-and-prices/medium-term-outlook/2017/2017-fullrep_en.pdf)
- Commission européenne, 2018. Guide méthodologique du RICA. Rapport, 126p. [http://ec.europa.eu/agriculture/rica/pdf/site\\_fr.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/rica/pdf/site_fr.pdf)
- Darby M.R., Karni E., 1973. Free competition and the optimal amount of fraud. *J. Law Econ.*, 16, 67-88.
- Dervillé M., 2012. Territorialisation du secteur laitier et régimes de concurrence, le cas des montagnes françaises et leur adaptation à l'après-quota. Thèse en Sciences Économiques et Sociales, AgroParisTech, Paris, France, 560p.
- Dourmad J., Delaby L., Boixadera J.L., Ortis C., Méda B., Gaigné C., Dumont B., 2017. Diversité des services rendus par les territoires à forte densité d'élevages : trois cas d'étude en Europe. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Ed). *INRA Prod. Anim.*, 30, 303-320.
- Duflot B., Cagnat E., 2017. Les réglementations pour la protection de l'environnement dans quelques pays de l'UE : évolutions récentes. *Journ. Rech. Porcine*, 49, 271-276.
- Dumont B., Dupraz P., Aubin J., Benoit M., Bouamra-Mechemache Z., Chatellier V., Delaby L., Delfosse C., Dourmad J.Y., Duru M., Frappier L., Friant-Perrot M., Gaigné C., Girard A., Guichet J.L., Havlik P., Hostiou N., Huguenin-Elie O., Klumpp K., Langlais A., Lemauiel-Lavenant S., Le Perchec S., Lepiller O., Méda B., Ryschawy J., Sabatier R., Veissier I., Verrier E., Vollet D., Savini I., Hercule J., Donnars C., 2016. Rapport de l'expertise scientifique collective INRA « Rôles impacts et services issus des élevages en Europe », 1042p.
- Duvaleix-Tréguer S., Gaigné C., 2016. On the nature and magnitude of cost economies in hog production. *Agricult. Econ.*, 47, 465-476.
- FAO-OCDE, 2017. Perspectives agricoles 2017-2026. Rapport annuel, 153p. <http://www.fao.org/3/a-i7465f.pdf>
- FranceAgriMer, 2011. La consommation mondiale de viande : état des lieux, dynamique et défis. Les synthèses, n° 5, 8p. <http://www.franceagrimer.fr/content/download/7015/40697/file/Conso-2011.pdf>
- Friant-Perrot M., 2016. Enjeux juridiques de la consommation de produits animaux. In : Dumont *et al.*, 2016. Rapport de l'expertise scientifique collective INRA « Rôles impacts et services issus des élevages en Europe », 572-598.
- Gaigné C., Larue B., 2016. Quality standards, industry structure, and welfare in a global economy. *Am. J. Agricult. Econ.*, 98, 1432-1449.
- Gaigné C., Le Mener L., 2014. Agricultural prices, selection, and the evolution of the food industry. *Am. J. Agricult. Econ.*, 96, 884-902.
- Gaigné C., Letort E., 2017. Co-localisation des différentes productions animales en Europe : l'exception française ? *INRA Prod. Anim.*, 30, 219-228.
- Grannec M.L., Ramonet Y., 2013. Déterminants sociaux et enjeux des conflits liés aux projets d'élevages porcins en Bretagne. Notes de la Chambre régionale d'Agriculture de Bretagne, 12p. [http://www.capbio-bretagne.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/21805/\\$File/conflits-synth%C3%A8se.pdf](http://www.capbio-bretagne.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/21805/$File/conflits-synth%C3%A8se.pdf)
- Hercule J., Chatellier V., Piet L., Dumont B., Benoit M., Delaby L., Donnars C., Savini I., Dupraz P., 2017. Une typologie pour représenter la diversité des territoires d'élevage en Europe. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Ed). *INRA Prod. Anim.*, 30, 5-22.
- Hobbs J.E., Young L.M., 2000. Closer vertical co-ordination in agri-food supply chains: a conceptual framework and some preliminary evidence. *Supply Chain Management: An Int. J.*, 5, 131-143.
- Huffman W.E., Evenson R.E., 2001. Structural and productivity change in US agriculture 1950-1982. *Agricult. Econ.*, 24, 127-147.
- Institut de l'Élevage, 2015. Lait en Europe du Nord : de grands écarts entre pays, mais pas de gagnant sur toutes les lignes. Dossier Économie de l'Élevage, 460, 56p.
- Institut de l'Élevage, 2016. États-Unis : une filière laitière solide et de plus en plus conquérante. Dossier Économie de l'Élevage, 472, 36p.
- Lang A., Perrot C., Dupraz P., Tregaro Y., Rosner M., 2015. Les emplois liés à l'élevage français. Rapport du GIS Élevage demain, 444p.
- Latruffe L., 2010. Competitiveness, productivity and efficiency in the agricultural and agri-food sectors. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers*, n° 30, 69p. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5km91nkdtd6d6-en.pdf>
- MacDonald J.M., 2009. The transformation of U.S. livestock agriculture: scale, efficiency, and risks. *Economic Research Service, Economic information bulletin*, 43, 40p. [https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/44292/10992\\_eib43.pdf](https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/44292/10992_eib43.pdf)
- McCorriston S., Morgan C.W., Rayner A.J., 2001. Price transmission: the interaction between market power and returns to scale. *Eur. Rev. Agricult. Econ.*, 28, 143-159.
- Nelson P., 1974. Advertising as information. *J. Political Econ.*, 81, 729-54.
- Perrot C., Chatellier V., Gouin D.M., Richard M., You G., 2018. Le secteur laitier français est-il compétitif face à la concurrence européenne et mondiale. *Econ. Rurale*, 364, 109-127.
- Perrot C., Chatellier V., 2009. Évolution structurelle et économique des exploitations laitières du nord de l'Union européenne de 1990 à 2005 : des trajectoires contrastées. *Fourrages*, 197, 25-46.
- Peyraud J.L., Cellier P., Donnars C., Vertes F., Aarts F., Béline F., Bockstaller C., Bourblanc M., Delaby L., Dourmad J.Y., Dupraz P., Durand P., Faverdin P., Fiorelli J.L., Gaigné C., Girard A., Guillaume F., Kuikman P., Langlais A., Le Goffe P., Le Perchec S., Lescoat P., Morvan T., Nicourt C., Parnaudeau V., Rechauchère O., Rochette P., Veysset P., 2014. Réduire les pertes d'azote dans l'élevage. Éditions Quae, 168p.
- Pineau T., Haddad N., Mouglin C., Bousquet-Melou A., 2016. La santé animale. In : Dumont *et al.*, 2016. Rapport de l'expertise scientifique collective INRA « Rôles impacts et services issus des élevages en Europe », 424-481.
- Rasmussen S., 2011. Economies of Scale and Size. In: *Production Economics. Springer Texts in Business and Economics*. Springer, Berlin, Heidelberg, 111-120.
- Rieu M., Roguet C., 2012. Tendances de l'élevage porcin dans l'UE : un modèle en pleine mutation. *Journ. Rech. Porcine*, 44, 219-228.
- Roguet C., Gaigné C., Chatellier V., Cariou S., Carlier M., Chenut R., Daniel K., Perrot C., 2015. Spécialisation territoriale et concentration des productions animales européennes. *INRA Prod. Anim.*, 28, 5-22.
- Rouault P., 2010. Analyse comparée de la compétitivité des industries agroalimentaires françaises par rapport à leurs concurrentes européennes. Rapport du Délégué interministériel aux industries agroalimentaires, 147p. [agriculture.gouv.fr/telecharger/56746](http://agriculture.gouv.fr/telecharger/56746)
- Van Herck K., 2014. Assessing efficiencies generated by agricultural producer organizations. *European Commission, DG Competition*, 36p. [http://ec.europa.eu/competition/publications/agricultural\\_producers\\_organisations\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/competition/publications/agricultural_producers_organisations_en.pdf)
- Veysset P., Lherm M., Roulenc M., Troquier C., Bébin D., 2015. Analyse diachronique de l'efficacité technique des systèmes de production bovin viande. *Écon. Rurale*, 349-350, 149-169.
- Watanabe K., Lourenzani A.E., Bankuti S., 2017. Contract farming, a strange type of contract: more than obligation 'to give'. In: *It's a jungle out there the strange animals of economic organization in agri-food value chains*. Wageningen Academic Publishers, pp. 249-265.
- Weiss C.R., 2001. On flexibility. *J. Econ. Behav. Organization*, 46, 347-356.
- Worley T., McCluskey J.J., 2000. Production contracts as a means of vertical coordination with application to the wheat industry. *J. Food Distribution Res.*, 31, 215-224.
- Yu J.Y., Bouamra-Mechemache Z., 2016. Production standards, competition and vertical relationship. *Eur. Rev. Agricult. Econ.*, 43, 79-111.

## Résumé

L'Union Européenne (UE) occupe, et depuis longtemps, une place importante dans les activités d'élevage à l'échelle internationale, tant en termes de production que de participation aux échanges. En dépit d'un puissant mouvement de restructuration, imputable surtout aux gains de productivité des facteurs, l'élevage européen rassemble des exploitations agricoles encore très hétérogènes en termes de combinaisons productives, de taille, de structuration sociale, d'intensification et de performances économiques. Pour en rendre compte, et partant des données du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA), une analyse de la diversité des situations structurelles et économiques est conduite pour les exploitations spécialisées dans les productions de lait, de viande bovine et de granivores (porcs et volailles), ce pour les dix États membres de l'UE les plus productifs en productions animales. Cette étape est un préalable nécessaire à la réflexion qui s'engage ensuite sur les principaux leviers de la performance économique des productions animales européennes. Deux types de leviers sont alors distingués. Le premier concerne la « compétitivité coût ». Il aborde successivement les substitutions entre facteurs de production, les économies d'échelle, la concentration géographique des productions, la structuration des filières et l'influence des politiques agricoles. Le second concerne la « compétitivité hors coût ». Il traite de la qualité sanitaire des productions animales, de la différenciation des produits et des processus de production et des conditions de la captation de la valeur induite par les producteurs.

## Abstract

### ***The economic performance of European livestock farming: From the “cost competitiveness” to the “non-cost competitiveness”***

*The European Union (EU) has, since a long time, an important role in the international livestock industry chains, both in terms of production and trade. In spite of a strong restructuring movement, mainly due to factor productivity gains, European livestock brings together farms that are still very heterogeneous in terms of productive combinations, size, social structuring, intensification and economic performance. To report on it, and based on data issued from the Farm Accountancy Data Network (FADN), an analysis of the diversity of structural and economic situations is conducted for farms specializing in the production of milk, beef and pigs/poultry, for the ten most productive EU Member States in animal production. This stage is a prerequisite for reflection, which begins after on the main levers of the economic performance of European animal productions. Two types of levers are then distinguished. The first concerns “cost competitiveness”. It successively discusses the substitutions between factors of production, the economies of scale, the geographical concentration of production, the structuring of sectors and the influence of agricultural policies. The second concerns “non-cost competitiveness”. It deals with the sanitary quality of animal productions, the differentiation of products and production processes, and the conditions for the capturing of added value induced by producers.*

CHATELLIER V., DUPRAZ P., 2019. Les performances économiques de l'élevage européen : de la « compétitivité coût » à la « compétitivité hors coût ». In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 171-188.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2479>

# Élevage et territoires : quelles interactions et quelles questions ?

INRA Prod. Anim.,  
2019, 32 (2), 189-204

Jacques LASSEUR<sup>1</sup>, Thierry BONAUDO<sup>2</sup>, Jean-Philippe CHOISIS<sup>1</sup>, Marie HOUDART<sup>3</sup>, Martine NAPOLÉONE<sup>1</sup>, Muriel TICHIT<sup>2</sup>, Benoît DEDIEU<sup>4</sup>

<sup>1</sup>SELMET, Université Montpellier, INRA, Montpellier SupAgro, CIRAD, 34000, Montpellier, France

<sup>2</sup>UMR SAD-APT, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75000, Paris, France

<sup>3</sup>IRSTEA-UMR Territoires, Aubière, cedex, France

<sup>4</sup>INRA, Sciences pour l'Action et le Développement, Theix, Saint-Genès-Champanelle, 63122, France

Courriel : jacques.lasseur@inra.fr

■ Les activités d'élevage sont régulièrement remises en question pour leurs impacts environnementaux mais la demande mondiale en augmentation régulière nécessiterait de poursuivre le développement des productions animales. En quoi mieux intégrer les dimensions territoriales des activités d'élevage contribuerait-il à redéfinir les formes futures d'un élevage durable ?

## Introduction

Les activités d'élevage sont régulièrement remises en question en regard des grands équilibres écologiques de la planète (émissions de Gaz à Effet de Serre, dégradations des terres...) (Steinfeld *et al.*, 2006). La production de biens animaux est ainsi associée au changement climatique, au changement d'usage des sols, à la perte de biodiversité et à la pollution de l'air et de l'eau (Alkemade *et al.*, 2013 ; Garnett, 2017). Dans le même temps, il s'agit aussi de satisfaire une demande mondiale en augmentation régulière qui nécessiterait de poursuivre le développement des productions animales (HLPE, 2016). Quelles seront les formes à venir d'un élevage durable ?

Le débat est alimenté par des réflexions réalisées à l'échelle planétaire (HPL, 2016) ou continentale (ATF, 2016), autour de modèles tels que celui de l'agroécologie ou de l'intensification durable (Gill *et al.*, 2018).

Certaines recherches construisent des argumentaires basés sur des critères d'efficacité, sur la remise en cause des modalités d'usage de telle ou telle ressource ou *via* l'évaluation multicritères (Lairez *et al.*, 2017). D'autres établissent des hiérarchies entre modèles de production (industriel, à l'herbe) ou espèces animales (Godfray *et al.*, 2018). Les analyses et les explorations des leviers d'amélioration de l'efficacité sont conduites en considérant des systèmes de production qui peuvent être rattachés à des espaces aux caractéristiques propres (potentialités ou handicaps, liens à l'amont et à l'aval ; part de l'herbe) et densité d'animaux (Hercule *et al.*, 2017). Ainsi à l'échelle planétaire, on pourra étudier les voies d'amélioration des systèmes herbagers intensifs localisés dans des bassins tropicaux ou à l'échelle nationale questionner le devenir des systèmes herbagers du Massif central (Cerles *et al.*, 2017) ou l'efficacité des politiques de soutien de l'élevage en zones défavorisées via les ICHN (Indemnités compensatoires de handicaps naturels) (Hanus *et al.*, 2018).

Pour interroger ce futur de l'élevage, Godard et Hubert (2002) ainsi que Zahn *et al.* (2015) nous invitent à dépasser les questions de durabilité « interne » des modèles agricoles et à nous intéresser aussi à la durabilité « étendue » à l'échelle territoriale. Pour ces auteurs, ce qui est en jeu du point de vue de la durabilité interne concerne la capacité du système considéré à se maintenir en conservant ses capacités productives, en renouvelant les ressources dont il dépend et en répondant aux enjeux économiques et de filières. L'espace d'inscription de ces systèmes de production combine un ensemble d'éléments relatifs aux milieux et climats, à ces ressources, à ces filières et aux politiques s'appuyant sur des zonages (handicap, montagne, eau). La durabilité étendue porte, elle, sur la capacité de l'activité considérée à contribuer à « la durabilité territoriale » qui implique la relation à d'autres porteurs d'enjeux et la capacité de l'activité à intégrer les intérêts propres de l'ensemble des porteurs d'enjeux (y compris agricoles). Cet élargissement de point de vue suppose de considérer

les diverses dimensions (sociales, écologiques, paysagères, identitaires...) impliquées dans les débats et projets collectifs locaux portant ou jouant sur la contribution de l'activité à la durabilité du territoire. Ainsi, les perspectives de l'activité d'élevage seraient, au-delà des dynamiques propres au secteur et des spécificités de milieux, dépendantes de la capacité à organiser des interactions avec d'autres acteurs qui font « communauté » à l'échelle territoriale, interactions qui soient porteuses de nouvelles ressources pour son développement.

Sans négliger les recherches portant sur les conditions d'une durabilité « interne » des systèmes de production dans les espaces ruraux, recherches portées notamment par les zootechniciens et les économistes, c'est cette deuxième acception, de la durabilité « étendue », des interactions entre élevage et territoire mettant en jeu les acteurs hétérogènes concernés par l'élevage et son devenir, qui fait l'objet de cet article. Pour expliciter les façons dont ces interactions sont traitées par les chercheurs, nous nous appuyons sur différents projets financés notamment le projet MOUVE (Les interactions Élevage et Territoire dans la mise en mouvement de l'intensification écologique, Dedieu *et al.*, 2010) et les dispositifs d'animation-formation inter-organismes tels que l'École Chercheur Élevage et Territoire (Étienne, 2014) et le séminaire permanent « Élevage et développement durable des territoires »<sup>1</sup>. L'ensemble de ces dispositifs ont mobilisé des chercheurs de disciplines différentes, zootechniciens des systèmes d'élevage, agronomes, géographes, écologues et sociologues et ont mobilisés des données issues de régions variées en France et à l'étranger. Dans un premier temps, nous spécifierons ce que traiter des interactions entre élevage et territoire signifie lorsqu'il s'agit de rendre compte de l'idée de durabilité « élargie ». Puis nous présenterons quatre illustrations de défis actuels de la recherche sur les interactions élevage et territoire et discuterons dans une

troisième partie ce que ces approches amènent de perspectives de recherche sur l'élevage.

## 1. Interactions « Élevage et Territoire » : de quoi parle-t-on ?

Le territoire est une notion du langage commun. C'est aussi un concept et un objet de recherche pour plusieurs disciplines de sciences humaines et techniques. Nous précisons dans un premier temps de quelle définition du territoire nous nous rapprochons en tant que partie prenante de recherches pluridisciplinaires aux contours définis plus haut. Puis nous listerons les grandes questions qui jalonnent le domaine de recherche des « interactions élevage-territoire » tel que nous l'avons défini en relation avec la notion de durabilité « étendue ». Enfin, nous évoquerons la question plus spécifique de la contribution des acteurs de l'élevage à la gouvernance territoriale.

### ■ 1.1. Le territoire : définition et positionnement

La notion de territoire fait l'objet d'une littérature très abondante dans différentes disciplines : c'est un objet central pour la géographie et essentiel pour l'économie et les sciences de gestion. L'agronomie des territoires est une déclinaison plus récente (Benoit *et al.*, 2009). La zootechnie des systèmes d'élevage s'est emparée de l'objet, depuis les années 1990, avec les travaux sur les indications géographiques et ce qu'elles portent d'interactions avec des lieux, des pratiques et des savoirs faire d'un territoire de projet collectif dans les produits. Plus récemment, l'interaction entre élevage et territoire a donné lieu à d'autres développements considérant les impacts de l'activité d'élevage sur l'espace (Dedieu *et al.*, 2010 ; Balent *et al.*, 2015) ou introduisant les points de vue des acteurs du territoire sur cette activité (Dupré *et al.*, 2015).

La définition que nous retenons de territoire identifie une « étendue terrestre utilisée et aménagée par des sociétés humaines » (Brunet *et al.*, 1992). Il relie

de façon centrale un milieu, des activités et des acteurs (Manoli *et al.*, 2011). Le territoire est envisagé dans cet article à l'échelle locale, c'est-à-dire en lien *i)* avec des systèmes d'interconnexions et d'interconnaissances entre acteurs, avec des valeurs et des savoirs portés dans l'action collective, *ii)* avec des milieux supports de services écosystémiques, et *iii)* avec des acteurs concernés par la contribution de l'élevage au développement durable. Son contour peut être celui d'une entité administrative et politique (par exemple l'aire d'une communauté de communes, d'un Parc Naturel Régional) ou celui d'un ou de projets portés par des acteurs (l'aire d'une appellation d'origine, l'espace d'un projet de développement local, ou encore le bassin de collecte d'un opérateur coopératif).

Le concept de territoire est particulièrement mobilisé, depuis plusieurs décennies, pour analyser les activités productives en regard des enjeux de développement local. Il l'est, dans un premier temps, en alternative aux instruments de marché comme moteur du développement lorsque le territoire est identifié comme « un milieu d'innovation » (Lamara, 2009). Les acteurs concernés au sein d'un espace donné peuvent impulser des dynamiques de développement spécifiques en valorisant des ressources territoriales latentes (Pecqueur, 2006). Ainsi, les paniers de biens et des services (Dissart *et al.*, 2014) déconnectent les produits locaux de productions standard vis-à-vis desquels ces acteurs ne disposent pas d'avantages concurrentiels particuliers. Ces démarches permettent de mettre en exergue certains services spécifiques (paysage ouvert, identité) liés aux modes de production. Plus récemment, les évolutions sociétales renforçant l'hétérogénéité des acteurs (en particulier en milieu rural) et la volonté d'implication des populations mues par une aspiration à la « participation citoyenne », couplées à la multiplication des échelons de mise en œuvre des actions publiques, renforcent l'enjeu d'analyser les activités et leurs transformations en lien aux dispositifs de gouvernance territoriale. Cette dernière se définit comme un processus impliquant les populations, et mouvements les représentant, à l'élaboration de décisions, prises dans une imbrica-

1 <https://umr-selmet.cirad.fr/seminaires/seminaire-permanent-elevage-et-territoires>

tion de niveaux du très local au global (Guiomar, 2011 ; Torre, 2011 ; Rey-Valette *et al.*, 2014). Ces auteurs soulignent ainsi les enjeux de réappropriation locale des questions agricoles, soit dans le cadre du développement des circuits courts de produits alimentaires, soit en lien à des objectifs de réaffirmation de l'identité locale, souvent centrée sur l'activité agricole, mené par de nombreuses collectivités territoriales.

L'évaluation des dynamiques territoriales des activités en regard de leurs contributions à des processus de développement inclusif est un enjeu croissant pour l'analyse des actions publiques. Notamment pour l'UE dont les enjeux de cohésion sociale et territoriale ont été réaffirmés dans les accords de Lisbonne, en 2009. Dans le domaine scientifique, cinq dimensions sont proposées par Sanchez-Zamorra *et al.* (2014) pour évaluer ces dynamiques territoriales : économiques (accès aux ressources, compétitivité, emploi...), sociales (sentiment d'appartenance à un collectif, inclusion et gestion de la diversité), environnementales (gestion durable des écosystèmes et des ressources), institutionnelles (capacité à promouvoir l'agrément entre acteurs et la coopération), enfin la capacité du territoire à promouvoir un développement équilibré. Caron *et al.* (2018) soulignent le rôle crucial des approches territoriales pour redéfinir des politiques de développement permettant d'implémenter des systèmes alimentaires durables. La prise en compte des enjeux de territoire élargit ainsi considérablement, en référence à des approches sectorielles, les éléments à considérer pour tracer les futurs des activités d'élevage. Trois prérequis sont ainsi pointés par ces auteurs pour impulser ces politiques : l'adoption de nouvelles métriques d'observation des activités, une meilleure mise en relation du local et du global et enfin le développement d'approches territoriales pour conforter l'émergence d'innovation dans les pratiques.

## ■ 1.2. Interactions élevage – territoire : quelles questions ?

Sur la base de ces trois domaines d'investigation, pointés par Caron *et*

*al.* (2018), pour penser le futur des activités agricoles impliquant des dimensions territoriales, nous avons décliné plusieurs axes de recherche nécessaires au meilleur traitement des relations élevage et territoire. Nous résumons ici leur expression générale.

### a. Mobiliser de nouvelles métriques pour mesurer les impacts des activités d'élevage à l'échelle des paysages ou des espaces continus en vue d'alimenter le débat entre acteurs

Il s'agit là de mieux identifier et caractériser, sur un territoire considéré comme un espace support d'activités, les impacts des activités d'élevage, seules ou en association, pour rendre compte de fonctionnalités socioécologiques qui dépassent la seule production de biens alimentaires et associer ces évaluations à des dispositifs permettant d'organiser des interactions sociales et contribuer à l'émergence de projets collectifs (Barnaud *et al.*, 2018). Les contributions positives restent difficiles à quantifier. Elles n'ont pas de valeur marchande et sont généralement négligées par les décideurs et mal appréhendées par les citoyens. La caractérisation des services et de bouquets de services rendus par l'élevage est alors une voie d'analyse des activités qui peut permettre un état des lieux plus fourni de ce à quoi contribue l'élevage mais aussi l'expression et la concrétisation de projets concertés visant à faire évoluer les bouquets.

L'évaluation du degré de couplage entre l'activité d'élevage et d'autres activités est un autre enjeu de la caractérisation des interactions auxquelles est associé l'élevage pour analyser sa contribution au bouclage des cycles bio-géo-chimiques. Nous proposerons deux illustrations des défis scientifiques actuels dans la partie suivante. D'une façon générale, les acteurs sont souvent peu présents dans la construction des métriques et la caractérisation des bouquets ou des flux. Mais les démarches d'accompagnement de projets de gestion concertées multi acteurs y ont de plus en plus recours. Les métriques peuvent être spatialement explicites, ce qui permet d'explorer des composantes

écologiques spécifiques (biodiversité, dynamiques paysagère) (Shereen *et al.*, 2015) ou plus distancées du fait de la nature des données à l'échelle Petite Région Agricole (Ryschawy *et al.*, 2017).

### b. Analyser la diversité et la dynamique des activités d'élevage et les complémentarités entre modèles d'élevage et alimentaires pour relier local et global

Dès que l'on se situe à l'échelle territoriale, la diversité des systèmes d'élevage est patente. Entre globalisation et territorialisation, cette diversité est en partie imputable à la complexité des facteurs influençant les dynamiques d'élevage, depuis la demande des consommateurs jusqu'aux politiques publiques et lois du marché, en passant par les conditions naturelles de production, et enfin par les dynamiques foncières et l'effet des autres opportunités d'emploi de la main-d'œuvre familiale que la spécialisation vers l'agriculture. Mais ce qui fait diversité, ce que l'on va retenir comme critères de différenciation est variable selon les études. Il peut s'agir d'analyser les mécanismes de différenciation des systèmes de production sur des ensembles territoriaux permettant aux acteurs (agricoles et non agricoles) de disposer d'une vision élaborée de la diversité en lieu et place d'une approche par le système le plus fréquent ou celui qui domine (espace, poids économique brut). Ces analyses portent sur les dimensions structurelles (y compris la pluriactivité), productives, économiques et d'insertion dans des dynamiques locales et de filières. Elles permettent d'accéder à une mise en perspectives de ce qui a marqué les différenciations entre systèmes d'élevage dans les territoires en s'intéressant, dans le cadre de diagnostics agraires, à la transformation des systèmes de production sur le temps long, tout en s'appuyant sur une analyse fine des faits techniques (Cochet *et al.*, 2007).

Une autre voie d'analyse vise à rendre compte des interactions entre local et global en analysant les dynamiques des systèmes agri-alimentaires à l'échelle de bassins. Les questions portent alors sur ce que produisent la diversité et la

coexistence de ces systèmes (ou des modèles qui en rendent compte), à l'échelle du territoire. L'analyse peut être conduite pour rendre compte de l'ensemble des interactions entre systèmes techniques et diversité des ressources mobilisées dans l'espace, notamment celles qui se révèlent socialement sensibles ou porteuses d'enjeux environnementaux. Elle peut également s'intéresser aux circuits de transformation – distribution et interroger ainsi les modèles de systèmes alimentaires et la façon dont ils contribuent à l'approvisionnement local. Un enjeu fort de ces travaux consiste en la mise en œuvre d'analyses comparatives de processus de développement permettant de dépasser le caractère éminemment situé des observations réalisées sur des études de cas locales. Nous proposons une illustration de ces recherches dans la partie suivante.

**c. S'appuyer sur les interactions entre acteurs des territoires pour favoriser l'émergence d'innovations dans les activités d'élevage renforçant la durabilité territoriale**

Il s'agit d'analyser les activités d'élevage et leurs inscriptions dans les dynamiques locales pour renforcer les convergences aux attentes des acteurs. Celles-ci sont souvent exposées par des acteurs locaux par opposition à des dynamiques des activités mues par des déterminants économiques globaux qui s'imposeraient sous l'effet de la mondialisation des échanges. Face à une fragmentation de la profession agricole dans les sociétés occidentales et un affaiblissement général des communautés rurales vis-à-vis des décisions portant sur le devenir des espaces ruraux, la capacité des agriculteurs à nouer des alliances locales et à inscrire leurs pratiques, leurs produits animaux et les impacts de ces pratiques, dans une dynamique associant un large panel d'acteurs, est un gage de durabilité de l'activité. Le processus de mise en œuvre de ces politiques territoriales et les instances de gouvernance qu'il instaure apparaissent ainsi comme des lieux où s'inventent de nouvelles formes d'agriculture et les modalités d'interactions entre les acteurs agricoles et le reste de la société.

L'inscription du territoire dans l'élevage et dans ses produits a porté depuis plusieurs décennies des recherches contribuant à ces interactions avec les acteurs des territoires. Les plus anciennes renvoient à ce que les signes de qualité véhiculent de terroirs, savoirs faire et ressources spécifiques ou ce que les populations animales locales expriment d'aptitudes en lien très direct avec le milieu, les agroécosystèmes et les pratiques d'élevage, incluant la mobilité (Lauvie *et al.*, 2015 ; Casabianca et Millet, 2018). Ces travaux se poursuivent aujourd'hui notamment sur le plan des tensions et enjeux d'adaptation des cahiers des charges des signes de qualité avec le changement global, les dynamiques (souvent d'agrandissement) des exploitations et les innovations que souhaitent mobiliser les agriculteurs (robot, monotraite...). Ils se renouvellent avec le développement des systèmes alimentaires urbains et les spécifications que les acteurs des territoires urbains (collectivités territoriales, groupes de consommateurs) adressent aux agriculteurs et éleveurs sur ce qui fait « production locale », à proximité et en relation avec les centres urbains (Delfosse *et al.*, 2017). En retour ces produits spécifiques, ces races ancrées dans les territoires sont de forts marqueurs identitaires au service du développement local. Ils contribuent aux paniers de biens et services qui supportent les dynamiques économiques notamment en lien avec le tourisme (Angeon et Vollet, 2008).

**■ 1.3. L'implication des acteurs de l'élevage dans des dispositifs de gouvernance territoriale**

Au-delà de ces produits, les attentes des acteurs des territoires envers les activités qui s'y déroulent (l'élevage en ce qui concerne notre propos) sont de plus en plus invoquées dans l'action publique. Le territoire émerge ainsi depuis quelques décennies comme lieu de redéfinition de l'action publique, en lien à l'affaiblissement de modes de coordinations plus hiérarchiques. Il devient un espace de gestion concertée ou apparaissent de nouveaux acteurs. La gouvernance territoriale s'impose alors comme un vecteur de

développement des territoires en alternative à des interventions publiques « top down » souvent délégitimées dans leur promotion de chemins du développement pour le futur (Torre, 2018). Elle repose sur un processus de confrontation de points de vue contrastés et de légitimation, conduisant à la définition de nouvelles formes d'activités (Caron, 2017). Analyser et modéliser ces dynamiques non prédéterminées de transition vers des formes de développement durable des territoires repose sur deux familles d'approches systémiques multi-échelles, l'une se référant au champ sociotechnique, analysant les modalités d'émergence des innovations en privilégiant l'analyse des interactions entre société et techniques, tandis que l'autre se réfère au champ socio écologique, privilégiant les interactions entre dynamique des activités humaines, des écosystèmes et des ressources (Ollivier *et al.*, 2018).

L'identification *i)* de la diversité des perceptions des institutions et acteurs locaux vis-à-vis de l'activité, *ii)* des controverses et débats que suscitent ses évolutions devient alors un enjeu fort. Les cadres organisationnels et lieux d'échanges permettant aux agriculteurs de mener un travail de légitimation des pratiques pour peser dans ces débats, font souvent défaut (Compagnone *et al.*, 2015). Des questions portent sur l'élaboration des cadres conceptuels et méthodologies permettant de favoriser l'explicitation des points de vue, la conception de dispositifs favorisant la gestion concertée entre acteurs hétérogènes. Cette gestion concertée peut aussi bien concerner *i)* les « trade offs » entre activités de production et enjeux environnementaux en associant des acteurs agriculteurs, des ONG ou des collectivités (Parcs Naturels) (Lasseur *et al.*, 2010), *ii)* la gestion territoriale de la santé animale (Relun *et al.*, 2015) en associant différents types d'acteurs (éleveurs, chasseurs, vétérinaires, médecins...) et de représentations spatiales ou la formulation de patrons paysagers pour rendre compte de la progression de maladies et progresser dans une épidémiologie-surveillance plus participative, *iii)* les conditions de mise en œuvre de politiques impliquant l'élevage à l'échelle territoriale (Lasseur et Dupré, 2017).

L'autre versant des questions traitées concerne le développement de méthodologies d'accompagnement des acteurs. La mise en œuvre de modélisations dédiées (Étienne, 2012) ou de jeux sérieux, par exemple le « jeu de territoire » (Lardon, 2013) ont permis de grandes avancées dans ce volet de recherches tout comme les renouvellements conceptuels (systèmes socio-écologiques, sociotechniques, socio-patho-systèmes) permettant de reconnecter espace, diversité des modèles d'activités d'élevage et des acteurs dans la conception et la mise en œuvre de projets territoriaux.

## 2. Les défis scientifiques actuels

Nous proposons d'illustrer quelques défis actuels de recherches en référence à ces grandes familles de questions traitant des interactions entre élevage et territoire. Le premier défi a trait à la façon d'aborder les services produits par l'élevage. Le deuxième explore comment l'écologie territoriale est susceptible d'aider au raisonnement de territoires plus autonomes, en partant des modélisations de flux de matières à cette échelle et des leviers d'activités par les différents acteurs. Le troisième défi porte sur l'émergence d'une pensée de la complémentarité entre modèles agri-alimentaires et de ce qu'elle implique en termes d'action publique et d'organisation visant à la maintenir. Enfin le quatrième défi concerne les modalités de redéfinition des activités d'élevage qu'impose l'idée de coévolution entre les attentes des acteurs des territoires et les dynamiques des systèmes.

### ■ 2.1. Caractériser les bouquets de services rendus par l'élevage

L'élevage européen est sous le feu des projecteurs tant dans la littérature scientifique que dans les médias. Les impacts de l'élevage sont en réalité plus complexes à appréhender. Une abondante littérature, notamment avec le rapport de la FAO « *Livestock Long Shadow* » (Gerber *et al.*, 2013) et

le développement des ACV (Analyse de Cycle de Vie), s'est intéressée aux impacts négatifs de l'élevage sur l'environnement et le changement climatique. Un corpus récent mais croissant de littérature scientifique, mais aussi issu des différentes filières d'élevage, cherche à mettre en lumière les nombreuses contributions positives que l'activité d'élevage fournit aux acteurs des territoires, et plus largement à la société de façon à accéder à une vision équilibrée des services (positifs) et impacts (négatifs) de l'élevage dans les territoires. Les propositions de synthèse se développent comme celles de la « grange » (Duru *et al.*, 2017), cadre d'appréhension des bouquets de services et impacts utilisés dans le cadre de démarches d'accompagnement de transitions territoriales de l'élevage (Bergez *et al.*, 2018).

Nous détaillerons ici plus spécifiquement ce qui a trait à l'estimation des contributions positives de l'élevage. Ces contributions vont bien au-delà de la simple production de biens alimentaires et recouvrent les trois piliers de la durabilité. Les ruminants conduits en système herbager convertissent des biomasses non utilisables pour l'alimentation humaine en produits à haute valeur nutritionnelle. Ils contribuent à la fourniture de services écosystémiques et de biens publics hautement appréciés par les citoyens. Ils jouent un rôle essentiel dans la préservation de paysages patrimoniaux, et de la biodiversité des milieux agricoles, dans la prévention des inondations et des feux et aussi à la vitalité rurale (Rodríguez-Ortega *et al.*, 2014). Ces nombreuses contributions positives restent difficiles à quantifier. Elles n'ont pas de valeur marchande et sont généralement négligées par les décideurs et mal appréhendées par les citoyens.

Appréhender ces contributions de l'élevage demande un travail interdisciplinaire articulant des connaissances en zootechnie, économie, écologie et sciences humaines et sociales. Rendre visible ces contributions pour *in fine* les quantifier nécessite d'articuler deux approches assez différentes : celle des services écosystémiques et celles des services environnementaux

(Ryschawy *et al.*, 2015). Les services écosystémiques sont définis comme « *les avantages que les Hommes retirent, directement ou indirectement, du fonctionnement des écosystèmes* » (Costanza *et al.*, 1997). Plus récemment, de Groot *et al.* (2010) élargissent cette définition pour considérer les services écosystémiques comme « *les contributions directes et indirectes des écosystèmes au bien-être humain* ». Les services environnementaux recouvrent une réalité différente car ils sont rendus par des agents économiques ce qui implique une relation d'intentionnalité entre un commanditaire et un prestataire ou bien entre un fournisseur et un usager ou bénéficiaire (Aznar, 2014). Les services environnementaux se focalisent sur les composantes environnementales telles que l'eau, l'air et la biodiversité. Dans la mesure où les Hommes retirent aussi des biens alimentaires et symboliques des écosystèmes, les services écosystémiques relèvent d'un champ plus vaste qui embarque également des services d'approvisionnement, des services culturels, des services de régulation et de soutien. Il n'existe pas à ce jour de terminologie pour évoquer conjointement ces deux catégories de services ; la notion de biens et services socio-éco-environnementaux a été proposée dans Ryschawy *et al.* (2017). Le terme de « contributions positives » englobe ces deux types de services tout en étant suffisamment simple et compréhensible par des acteurs non académiques.

Appréhender le fonctionnement d'un territoire rural en cherchant à *explicitement et mesurer les contributions positives* rendues par les activités d'élevage, c'est faire l'hypothèse que l'activité d'élevage est essentielle au bon fonctionnement des territoires ruraux. En mesurant la fourniture de contributions jusqu'alors peu visibles, on apporte des arguments pour le maintien de l'élevage et la reconnaissance de ses multiples fonctions au-delà de la production de biens alimentaires. Explicitement ces contributions demande en premier lieu de les définir (*i.e.* énoncer verbalement) car on ne peut mesurer que ce qui est clairement défini. Se pose alors la question de quels sont les acteurs qui définissent les contributions rendues

par l'activité d'élevage aux acteurs du territoire et plus largement à la société. Deux approches prédominent actuellement dans la littérature : une approche « externe » ancrée sur l'expertise d'individus n'appartenant pas au territoire et une approche « interne » ancrée sur les perceptions, connaissances et croyances des acteurs des territoires.

L'approche *externe* est celle mise en œuvre lors de la première étude française sur les services rendus par l'élevage (Ryschawy *et al.*, 2015 ; Ryschawy *et al.*, 2017). L'explicitation verbale des services rendus par l'élevage au sein des territoires a été réalisée par une douzaine d'experts de l'élevage. L'originalité de ce groupe d'experts est son caractère interdisciplinaire et interprofessionnel. Ainsi chercheurs zootechniciens, agronomes, sociologues, économistes et représentants professionnels des filières d'élevage (CNIEL, Interbev, ITAVI, IDELE, IFIP) définissent une liste de services à quantifier en confrontant leur expertise. Cette liste, appliquée à l'échelle de chaque département du territoire métropolitain, guide le choix d'indicateurs et la disponibilité des données conditionne la possibilité de quantifier ou pas les indicateurs de services. Cette batterie d'indicateurs apporte une évaluation *ex-post* des bouquets de services qui montrent les similarités ou dissimilarités des départements en termes de type de service présent et de niveau de fourniture. Mais pour juger, comparer ces bouquets il faut un critère également externe. La multifonctionnalité du bouquet est souvent le critère privilégié. On considère alors qu'un territoire durable est un territoire qui fournit à haut niveau le plus grand nombre de services.

L'approche *interne* met l'accent sur la demande sociale des acteurs. Elle pose comme postulat que la demande sociale diffère en raison d'intérêts divergents des acteurs, de leur motivation, de leur expérience et de leur connaissance des systèmes d'élevage. Dans cette approche la liste des services émerge des choix des acteurs. Différentes études académiques ou de terrain utilisent des méthodes d'évaluation socio-culturelles (Martín-López *et al.*, 2012) pour expliciter les services à

partir des préférences des acteurs. Un premier type concerne les méthodes dites consultatives qui capturent les perceptions et les préférences *individuelles* (enquêtes individuelles, entretien approfondi). Au niveau du territoire, les méthodes délibératives sont particulièrement adaptées en raison de leur dimension collective : focus group, questionnaire Delphi, évaluation participative, etc. Une revue de ces méthodes est proposée par Christie *et al.* (2012). *In fine* ces méthodes rendent visibles les arbitrages et les compromis entre contributions, liés à leur interdépendances. Cette mise en visibilité des interdépendances entre différents types de services écosystémiques, par exemple, peut aider les acteurs à développer leur réflexivité et à construire un point de vue « partagé » sur ce qu'un territoire d'élevage peut offrir comme services à la société.

## ■ 2.2. L'écologie territoriale : analyser le bouclage des cycles et le couplage agriculture-élevage pour améliorer l'efficacité des activités

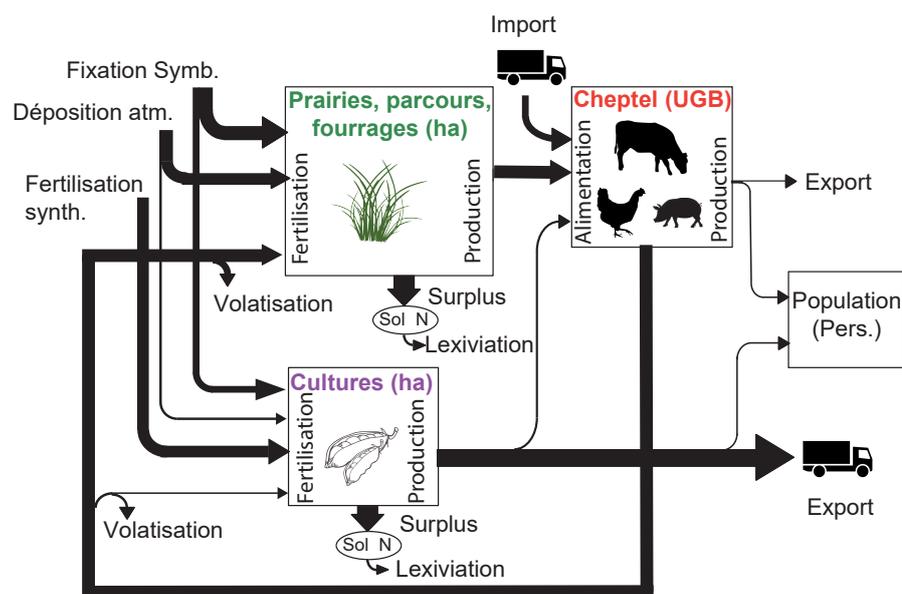
L'Écologie Territoriale (ET) est un champ de recherche né d'une réflexion sur la nécessité du bouclage des cycles de matières et d'énergie pour améliorer les performances environnementales et économiques des systèmes anthropiques. L'ambition de l'ET est de mieux comprendre et piloter les interactions entre société et environnement dans la perspective d'une transition agro-écologique abordée sous l'angle du bouclage des cycles biogéochimiques (Buclet, 2015). En quantifiant l'exploitation des ressources, la production de biens et de déchets, cette approche permet d'évaluer simultanément l'efficacité productive et environnementale d'un territoire considéré comme un système composé d'acteurs et de flux de matières (figure 1).

La finalité des approches d'ET est d'identifier des leviers d'action technique (de substitution, de réutilisation, de bouclage de cycle...) et les modes de partenariat entre acteurs territoriaux (Erkman, 2001) permettant une plus grande autonomie du système,

l'autonomie étant considérée comme un gage de durabilité. L'ET recouvre deux volets, d'une part, l'analyse du métabolisme territorial, c'est à dire le recensement des flux et stocks de matières et d'énergie qui permettent à un territoire de fonctionner et, d'autre part, l'analyse de la gouvernance de ces flux, leur inscription spatiale et socioéconomique (normes, réseaux d'acteurs...). Les dimensions matérielles, sociales et économiques sont prises en charge par une approche interdisciplinaire qui combine sciences de la terre et de la vie (écologie, bio-géochimie, agronomie...) et sciences humaines et sociales (gestion, économie, géographie...).

Ainsi des premiers travaux sur les cycles d'azote, de phosphore et de potassium liés à l'élevage ont été réalisés à différentes échelles d'organisation (communes, petites régions agricoles, départements et pays) en France, en Europe mais aussi au Brésil (Mignolet *et al.*, 2001 ; Bonaudo *et al.*, 2017 ; Dourmad *et al.*, 2017). La figure 1 montre les principaux flux calculés. Des analyses de flux de l'élevage français montrent une forte intensification de l'élevage combinée à une bonne autonomie en fourrage et un déficit en concentrés principalement en tourteaux (Dourmad *et al.*, 2017 ; Domingues *et al.*, 2018). À l'échelle des petites régions agricoles ces travaux montrent de fortes hétérogénéités des productions animales et des autonomies alimentaires suggérant des échanges nationaux et internationaux importants donc une ouverture des cycles de nutriments (Dourmad *et al.*, 2017). Au Brésil, l'étude des flux de N, P, K de l'industrie de l'élevage entre 1993 et 2013, montre une production en hausse accompagnée d'une utilisation accrue d'intrants (près de 4 % par an). Une internationalisation des flux, avec une augmentation absolue et relative des importations et des exportations, a aussi été mise en évidence. Entre 1993 et 2013, les importations de N, P et K sont passées, respectivement de 6 à 16 %, de 25 à 45 % et de 25 à 37 % du total des intrants. Les exportations de N, P et K ont suivi la même évolution avec une augmentation respective de 12 à 22 %, de 6 à 17 % et de 6 à 11 % de la production nationale (Gameiro *et al.*, 2018).

**Figure 1.** Représentation des flux de matière mobilisés par l'élevage (Méthodologie GRAFS – Generic Representation of Agro-Food Systems, d'après Billen et al., 2014).



Des travaux sur l'analyse du couplage agriculture-élevage et la coexistence de différents modèles agricoles mobilisent aussi l'écologie territoriale au travers de l'analyse de flux de matières et de leur gouvernance (Moraine et al., 2014 ; Moraine et al., 2016 ; Madelrieux et al., 2017).

### ■ 2.3 Les modèles de développement dans les territoires : de la spécialisation à la coexistence

Les systèmes techniques, les ressources mobilisées (races, aliments...), ou encore le fonctionnement de l'industrie et les stratégies de ses opérateurs sont autant de dimensions conditionnant la structuration des activités d'élevage dans un territoire (Delfosse, 2007 ; Ricard, 2010). Afin de rendre compte de la façon dont les processus territoriaux et les mécanismes liés à la globalisation affectent, conjointement, les bassins de production, nous utiliserons, comme modèle, la production laitière. En effet, les processus de développement du secteur laitier peuvent être orientés vers des enjeux agro-industriels puissants d'envergure internationale, ou, *a contrario*, être portés par des acteurs locaux inscrivant leurs activités dans une perspective de développement local. Ces

dynamiques sectorielles et territoriales, globales et locales des activités laitières se côtoient à l'échelle d'un territoire. Le devenir de ces activités peut influencer celui du territoire. Pour étudier ces processus, nous avons mobilisé la notion de modèle de développement, vu comme l'ensemble des interrelations entre les systèmes d'élevage, le marché, le territoire et les normes de production. Après avoir comparé l'évolution, sur le temps long, d'une dizaine de bassins laitiers à travers le monde (Napoléone et al., 2015), nous avons mis en évidence trois situations archétypiques quant au modèle de développement (Napoléone et Boutonnet, 2015).

Une première situation archétypique correspond à la permanence d'une dynamique de globalisation tout au long de l'histoire du territoire laitier : un produit générique (poudre ou lait sans référence au territoire), élaboré dans le cadre de systèmes d'élevage intensifs inscrits dans un système agro-industriel, distribué à des échelles de plus en plus larges (région, puis pays, puis continent). Le modèle en place est issu d'une dynamique top-down où les pouvoirs publics et l'agro-industrie imposent les normes en place. Un cas particulièrement illustratif de cette situation est celui du bassin de Salto, en Uruguay, depuis le début

du XX<sup>e</sup> siècle (Correa et al., 2015). Les conditions territoriales matérielles ont permis le développement du bassin laitier : vastes étendues herbagères favorables à l'intensification des pratiques et situation du bassin au carrefour d'autres pays ayant favorisé les possibilités d'exportation du lait en poudre. Dans ces conditions territoriales favorables, les politiques publiques nationales ont impulsé le modèle de production intensive en étant à l'origine d'une demande en produit exportable et ont fait émerger une organisation spécifique du conseil soutenant son développement.

En France, la région Poitou-Charentes pour la production caprine, ou encore la Bretagne pour le lait de vache, ont connu, dans la seconde partie du XX<sup>e</sup> siècle, un développement s'inscrivant dans la même logique d'intensification, de concentration et de spécialisation de l'agriculture et de l'agro-industrie. Dans ces situations, le développement est orienté vers la mise en adéquation d'un type d'offre (produits standard, commodité) pour fournir un tel marché (circuits longs nationaux et export vers pays émergents). Ce diagnostic est opéré par des décideurs, à l'échelle nationale, qui mettent en œuvre les mesures incitatives pour orienter le développement de l'activité de la production à la distribution, voire à la consommation.

La deuxième situation archétypique correspond à la permanence d'une dynamique de territorialisation : un produit qui valorise les spécificités du territoire de production et les acteurs investis dans l'activité laitière, et vendu à l'intérieur du bassin laitier pour satisfaire la demande intra-bassin. Le développement du bassin laitier se fait dans ce cas dans une dynamique bottom-up, reposant sur les normes, valeurs et savoir-faire des éleveurs, qui s'inscrivent dans une culture alimentaire locale, partagée entre les producteurs, les transformateurs, les consommateurs. Cette culture commune renforce chemin faisant l'ancrage territorial des activités. Le cas brésilien du bassin de Brasil Novo illustre cette situation (Carvalho et Pocard, 2015). Depuis les années 1970, de nombreuses ressources territoriales y ont été activées pour la mise en place de ce modèle : savoir-faire et

culture alimentaire d'éleveurs venus de régions voisines mettant en place des systèmes techniques rustiques, un marché urbain local captif, une ressource fourragère riche et abondante, des moyens de transport précaires pour la collecte ayant favorisé la vente directe ou la fabrication de fromages artisanaux. Dans cette situation, les politiques publiques ont soutenu cette dynamique d'ancrage par la mise en place de standards de transformation et de production ainsi que des normes de qualité. Le modèle de développement AOP français se rapproche de cet archétype, avec une valence forte du côté des savoir-faire (de production, de transformation) issues de traditions locales, une valorisation forte, identitaire, des produits dans le territoire de production mais également d'autres lieux de consommation.

La troisième situation archétypique correspond à la coexistence des deux dynamiques précédemment évoquées (globalisation et territorialisation) et des formes de développement qui leur sont associées. Cette coexistence peut prendre la forme d'une coprésence des deux modèles sur une période donnée répartis spatialement, de la présence successive de l'un puis de l'autre modèle, ou encore de la présence de modèles hybridant ces deux dynamiques. Le développement de la production laitière dans trois bassins français (les Quatres Montagnes, dans le Vercors ; le Pélardon dans les Cévennes Méridionales, le Livradois-Forez en Auvergne) est particulièrement illustratif de ces dynamiques (Houdart *et al.*, 2015 ; Madelrieux et Alavoine-Mornas, 2015 ; Napoléone et Boutonnet, 2015). Dans ces situations, en complément des ressources extraterritoriales (financements européens par exemple), une grande diversité de ressources territoriales a été mobilisée par les acteurs des territoires et des filières, de façon spécifique en fonction de l'orientation du modèle de développement. Ainsi, l'enclavement du territoire et la présence d'une forte culture fromagère locale ont contribué au maintien du savoir-faire en lien avec la persistance d'une demande de produits traditionnels en zone. Avec l'évolution actuelle des formes de consommation, les critères

de proximité et de localité gagnent du terrain et facilitent l'écoulement de ces produits au-delà des consommateurs locaux ; certaines parties de ces territoires ont été plus favorables à l'intensification des systèmes de production, à la construction d'infrastructures permettant le développement industriel pour la transformation de produits destinés aux circuits longs. On assiste alors à une diversité des normes de productions, les unes implicitement partagées entre producteurs et consommateurs dans le cadre de circuits courts ou valorisant les indications géographiques, les autres construites à une échelle plus large dans le cadre des politiques nationales et internationales sur des produits plus standardisés. Ces situations de coexistence semblent particulièrement favorisées par différentes formes d'action collective et de gouvernance locale qui peuvent se mettre en place. Les territoires, présentent des attributs et des ressources (sociales, matérielles, organisationnelles) ayant favorisé la diversité des modèles de développement. La diversité des formes de demande a contribué au développement d'une diversité de modèles. Notons enfin que les valeurs accordées, par la société (des producteurs aux consommateurs), aux modèles évoluent dans le temps et impactent le développement des territoires.

Finalement, tout modèle de développement d'un bassin de production (ici laitier) articule à la fois des attributs spécifiques des territoires de production, des filières et des systèmes d'élevage. Aucun modèle n'est évidemment géographiquement prédéterminé et plusieurs composantes majeures rendent compte des capacités d'un bassin de production à aller dans une direction ou une autre : la demande alimentaire, entre une demande en produits génériques destinés à l'exportation ou aux circuits longs nationaux et celle de produits qui renvoient à une proximité avec le consommateur (proximité géographique dans le cas d'une demande intra-bassin ou proximité cognitive pour des ventes hors bassin qui n'excluent pas les circuits longs de distribution) ; la capacité des acteurs des filières, des territoires et des pouvoirs publics à l'échelle nationale à soutenir

l'un ou l'autre de ces modèles, ou à maintenir leur coexistence sur un territoire. Le grand changement de ces dernières années est le sens que donnent les acteurs locaux à l'ancrage territorial de leurs activités avec la montée en puissance du rôle prescripteur de certains urbains et, de plus en plus, des collectivités territoriales. Il est moins question de savoir-faire ancrés dans les systèmes agraires que de proximité (de distance aux centres urbains, mais aussi de contact avec les producteurs) et de modèles agroécologiques ou biologiques visant le respect de l'environnement, du bien-être animal et le recours à un minimum d'intrants dommageables à la santé humaine. En France, les plans d'alimentation territoriaux se développent, donnant d'autres orientations aux formes de développement que celles sous-tendues par le secteur. Toutefois nous ne pourrions supposer le remplacement pur et simple d'un modèle sectoriel par un modèle territorialisé impulsé par la demande urbaine. Une diversité de forme de demandes existe et existera sans doute. La diversité des agricultures et des circuits de distribution sont des leviers pour répondre à la diversité des demandes, ce qui nécessite des dispositifs de gouvernance croisant des approches sectorielles et territoriales. Il n'y a pas de recette universelle. Nos travaux soulignent l'intérêt de reconnaître et mettre en valeur la diversité des ressources locales, dans un schéma de développement cohérent. Cette orientation nécessite la mise en place de moyens de suivi, d'analyses chemin faisant permettant de réguler la diversité de formes de développement garantissant dans le temps leur évolution harmonieuse.

## ■ 2.4 Analyser la diversité des activités d'élevage et leur dynamique au prisme des interactions entre les acteurs du territoire

Les remises en cause des activités d'élevage sont de plus en plus souvent abordées dans des travaux de recherche et par des institutions de développement en considérant des controverses et des attentes envers ces activités (Delanoue *et al.*, 2015). Si on peut clairement identifier les mises

en questions adressées aux échelles englobantes et aux échelles locales, la notion « d'attente des acteurs des territoires » tend à réifier un processus incertain, dynamique et aux configurations « situées ». En effet, les modalités de mise en débat et de redéfinition des activités à ces échelles reposent sur des alliances et accords temporaires n'écartant pas la subjectivité, s'appuyant sur des connaissances partielles et fragmentaires imparfaitement partagées entre des acteurs qui mobilisent souvent comme cadre de référence la multifonctionnalité de l'activité agricole, « fruit de constructions sociales multiples et complexes » à cette échelle (Barnaud et Couix, 2017). Les espaces ruraux et les transformations des activités d'élevage sont peu fréquemment abordés sous cet angle (Eychenne, 2012 ; Grison *et al.*, 2015).

Dans le cadre du projet ANR « mouve », nous avons conduit un ensemble de travaux visant à analyser les enjeux et modalités de redéfinition des activités d'élevage sous l'effet de politiques territoriales dans des territoires d'élevage contrastés. Nous mettons ici en regard les principaux résultats publiés concernant deux terrains français : Vercors (Dobremez *et al.*, 2015) et Haut Verdon (Lasseur et Dupré, 2017). Très globalement dans ces situations concernant essentiellement l'élevage de ruminants, les problématiques impliquant l'élevage dans les politiques territoriales concernent explicitement l'usage du territoire, la conduite du pâturage et l'intensification fourragère en lien à des dimensions plus implicites d'installation et d'inclusion sociale. Nous analysons ici les points de vue d'acteurs locaux sur l'élevage entre convergences et points en débat ainsi que les remises en causes et les transformations de l'activité. Nous discutons ensuite des dispositifs dans lesquels s'expriment les acteurs et ceux qu'il conviendrait de mettre en place pour conforter le futur de l'élevage dans le cadre des politiques territoriales.

Les points de vue des acteurs des territoires se distinguent souvent nettement de ceux des acteurs sectoriels. Ainsi, les enquêtes conduites auprès d'acteurs non agricoles et agricoles sur

le territoire du Parc Naturel Régional du Vercors (Dobremez *et al.*, 2015) montrent une grande diversité de points de vue sur ce que devrait être l'élevage dans le territoire du parc. D'une part, des visions sectorielles opposent *i)* une vision de l'élevage considéré avant tout comme une activité économique qui doit faire vivre les agriculteurs et qui *de facto*, en montagne, est positive pour l'environnement et les paysages à *ii)* une vision considérant que cette agriculture ne se différencie pas fondamentalement de l'agriculture de plaine et qu'elle doit être encadrée pour ne pas permettre la dégradation de la nature. D'autre part, dans une analyse plus portée par des dimensions territoriales se distinguent *i)* une vision considérant l'élevage comme le moteur du développement économique et culturel du territoire et *ii)* une vision le considérant comme devant accompagner le vrai moteur économique du développement qu'est le tourisme. Ces quatre idéaux types traduisent bien les oppositions entre des visions d'acteurs du secteur agricole, une vision portée par des acteurs de l'environnement (prônant le contrôle d'une activité humaine *de facto* destructrice de nature) et enfin, des visions plus intégrées qui posent l'élevage comme pilier direct du développement territorial voire comme inféodée à une activité touristique pour laquelle l'élevage est un vecteur d'image et d'identité du territoire. Enfin, la plupart des acteurs décrivent l'élevage comme une activité indifférenciée qui ne reflète pas la diversité des systèmes présents. Ces divergences de vision et l'absence de représentation d'une diversité des formes d'activité d'élevage illustrent bien, d'une part, la nécessité de formalisation plus poussée des formes de l'activité et, d'autre part, d'espaces de confrontation de points de vues des acteurs. Elles soulignent toute l'importance pour les acteurs de l'élevage d'être présents dans les arènes où se tiennent ces débats. Les arbitrages réalisés entre des options de contrôle de l'activité vs libéralisme économique, d'une part et d'autre part, activité vectrice de développement territorial vs simple vecteur d'image identitaire « inerte » se traduisent, à terme, en modalités d'actions de soutien à l'activité très différentes.

Ces visions de l'activité sont évolutives, vectrices de remises en causes et de transformations futures. Ainsi, les perceptions des activités d'élevage par les acteurs du territoire du Verdon (Alpes de Haute Provence), sur la base d'enquêtes réalisées en 2012, font percevoir des clivages proches de ceux observés dans le Vercors (Dupré *et al.*, 2017 ; Lasseur et Dupré, 2017). Toutefois les oppositions entre conduite de l'activité et protection de l'environnement ainsi que vis-à-vis d'une subordination de l'activité d'élevage à l'activité touristique ne se sont pas exprimées de manière tranchée. Ceci est essentiellement dû aux orientations très pastorales de l'activité définies en convergence avec les acteurs de l'environnement et gestionnaires territoriaux dès les années 1990 (Garde *et al.*, 2014), laissant quelquefois penser que la mutation multifonctionnelle de cet élevage était opérée et la reconnaissance sociale acquise. Ces convergences de vues ont alors elles-mêmes contribué à reconfigurer les systèmes pour aller vers une production renforcée de services environnementaux en particulier autour des enjeux de biodiversité et de maintien des milieux ouverts. Le développement récent de la population de loups a remis en cause ces visions convergentes. D'une part, en remettant en cause l'idée initialement partagée que la forme d'activité d'élevage mise en œuvre était « bonne pour l'environnement » alors qu'elle se révélerait, pour certains, incapable de composer avec une espèce emblématique de biodiversité sauvage. D'autre part, l'idée que cet élevage confortait *de facto* l'évolution de l'économie locale vers la production d'un espace dédié au tourisme vert et aux activités de pleine nature est sévèrement reconsidérée. La mise en place de mesures de protection des troupeaux et la présence massive de chiens de protection déclenche des conflits d'usage et une opposition frontale entre les deux activités. L'élevage n'est alors plus seulement le support inerte de l'identité territoriale qui pouvait être perçu par certains mais aussi une activité qui doit s'assurer du maintien de ses capacités productives en s'adaptant aux évolutions de ses conditions d'exercice. Ces dernières conduisent à une remise en cause d'un consensus

local et à un travail de redéfinition des interactions aux acteurs locaux voire de redéfinition des formes futures des activités d'élevage.

Les capacités à intégrer les intérêts d'un ensemble de porteurs d'enjeux et à défendre ses propres intérêts nécessitent donc des lieux d'articulation entre les acteurs locaux et les acteurs de l'élevage présents, dans leur diversité, pour accompagner l'émergence d'alternatives permettant d'assurer renouvellement de l'activité et sa contribution au renforcement de la durabilité territoriale. Les lieux et conditions de redéfinition de l'agriculture périurbaine dans le cadre de politiques territoriales sont l'objet de travaux nombreux (Jarrige *et al.*, 2006 ; Guiomar, 2011 ; Ruault et Vitry, 2017). Ces auteurs insistent, d'une part, sur la faible participation des agriculteurs aux processus d'interaction dans les arènes locales liées aux politiques publiques de gouvernance et planification territoriale. D'autre part, ils soulignent le caractère très fragmentaire de la connaissance des acteurs du territoire des activités agricoles et la prééminence d'images de ce que devrait être l'agriculture au détriment de préoccupations sur les conditions de la pérennité de l'activité. Enfin, ils pointent la faible vision d'une diversité des formes d'exercice de l'activité agricole peu relayée par les acteurs agricoles et vectrice au sein de la profession de divergences de points de vue sur ce qu'il convient de faire pour la conforter.

Des recherches conduites en Amazonie brésilienne (Cialdella *et al.*, 2015), et en pampa uruguayenne (Sabourin *et al.*, 2015), où les enjeux de coupler développement de l'activité et modèles de développement inclusifs à l'échelle des territoires s'expriment fortement, illustrent la nécessité de renforcer de tel dispositifs concernant l'élevage et les conditions de ses redéfinitions en milieu rural. Ainsi, en Amazonie, les remises en cause de l'élevage de bovin et de ses interactions avec les espaces forestiers conduit à la recherche d'alternatives aux formes d'élevage pionniers en place. La faiblesse des lieux permettant l'articulation entre les acteurs locaux et la diversité des types d'éleveurs présents sur le territoire

handicape l'émergence d'alternatives permettant de concilier gestion des questions environnementales et l'affirmation d'un secteur d'activité d'élevage permettant l'inclusion sociale et la lutte contre la pauvreté (Cialdella *et al.*, 2015). En effet les alternatives émergentes largement promues par les éleveurs les plus capitalistes sont basées sur de fortes capacités d'investissement pour relocaliser l'élevage et promouvoir une intensification fourragère selon une stratégie de « *land sparing* » et promouvant l'exclusion sociale de petits producteurs. En Uruguay, la mise en œuvre de politiques de décentralisation remettant en question une politique de développement agricole très sectorielle basée sur l'agro-industrie et l'exportation est analysée par Sabourin *et al.* (2015). Cette analyse met en évidence la forte opposition entre modèles agricoles familiaux et industriels ainsi que la nécessité de mettre en place des espaces d'échanges entre acteurs territoriaux et éleveurs permettant d'éviter l'isolement des éleveurs familiaux, leur enfermement dans une logique identitaire et de résistance, perçus par une frange des acteurs locaux comme les défenseurs d'un modèle archaïque qui se voit ainsi privé de pistes d'avenir.

### 3. Les recherches sur les interactions élevage-territoire, quelques perspectives

S'appuyer sur des échelles intermédiaires entre l'exploitation agricole et le système terre permet de produire des argumentaires sur les activités d'élevage et accompagner les transformations de l'activité dans une perspective de conforter sa contribution à la durabilité territoriale. Ces approches s'accompagnent d'un élargissement du spectre des acteurs, des modalités de formalisation des connaissances, des critères d'analyse et des dispositifs observés dans le cours des recherches en regard de ce qui est usuellement pratiqué lorsqu'on se centre sur des enjeux agronomiques ou de filière. L'incidence de ce déplacement sur les formes de connaissances scientifiques produites et les modalités d'accompagnement

des transformations de l'activité nous semble deux enjeux particuliers pour les recherches futures.

#### ■ 3.1. Le territoire : un nouvel horizon de pluridisciplinarité entre zootechnie et sciences sociales

Les références au « territoire » reposent sur l'identification d'une nouvelle échelle d'évaluation ou de mesure d'impact des activités (le paysage, l'espace par différence avec les échelles plus usuelles en sciences biotechniques – comme le système de culture à l'échelle parcellaire ou système d'élevage à l'échelle du troupeau). Les dimensions territoriales sont dictées par des objets largement initiés et pilotés par la recherche. Les questions portent alors sur la caractérisation des activités et de leurs impacts à différentes échelles spatiales que ce soit sur les émissions de GES, la consommation d'énergies fossiles, l'érosion de la biodiversité, dimensions considérées séparément ou combinées au travers d'analyses multicritères. De tels travaux contribuent à la décision publique au travers de l'élaboration de normes contribuant à fixer les modalités des activités en réponse à des problèmes souvent définis en amont de ces recherches.

Le territoire constitue un espace sur lequel un ensemble d'acteurs, dont ceux de l'élevage, définissent les modalités des activités humaines (les ressources sur lesquelles elles s'appuient et les modalités de leur gouvernance). Ces travaux se spécifient d'autant plus qu'ils considèrent l'élaboration de projets à l'échelle de territoires et que les activités des acteurs de l'élevage y sont référées. Les conditions de la convergence entre ces dimensions collectives et transsectorielles et la contribution des activités et acteurs de l'élevage aux « attentes » qui s'expriment dans ces projets sont centrales. Ces recherches sont résolument situées. Elles composent avec la subjectivité des acteurs des territoires et visent à caractériser diversité et transformations des formes d'activités en regard d'attentes multiformes et dynamiques. Elles concourent à la gouvernance territoriale en contribuant, à

différentes échelles, tant à la définition des problèmes à traiter pour l'action publique que des solutions, dans un processus dynamique visant à favoriser la coévolution entre attendus sociétaux et formes des activités, dimension fondamentale de sa durabilité.

Les recherches conduites sur le territoire sont ainsi en tension sur un gradient tiré, d'une part, vers des mesures d'objectivation de l'impact des activités humaines dans un contexte de changement global et, d'autre part, vers une compréhension, intégrant toute la subjectivité des acteurs de ce sur quoi l'élevage est attendu à l'avenir. Ces deux types de recherche coexistent dans le département de recherches Sad de l'INRA, un enjeu pour l'avenir est d'en conforter les conditions de renforcement mutuel pour contribuer avec les acteurs concernés à penser l'avenir de l'élevage dans les territoires.

Un domaine relativement peu exploré par la recherche et pourtant présent dans les débats d'acteurs est celui des interactions entre élevage, travail et territoire. Le terme travail étant assez large (emploi, organisation, conditions de travail, attractivité...), nous nous appuyons ici sur la synthèse proposée par Servière *et al.* (2018) pour décliner plusieurs pistes de travail. La première porte sur « les réseaux professionnels, associatifs, familiaux ou de voisinage dans lesquels les agriculteurs trouvent une reconnaissance sociale et professionnelle ». Dufour *et al.* (2016), interrogent leurs propres conditions de travail et les normes de ce qui fait un travail vivable. Mais dans lesquelles ils trouvent également des ressources pour leur activité notamment pour développer des actions collectives qui renouvèlent les formes de travail en commun (Lucas *et al.*, 2014) ou qui tissent de nouveaux rapports entre producteurs et consommateurs autour des produits locaux et des façons de produire qui conviennent. La deuxième renvoie aux caractéristiques des bassins d'emploi et leur impact sur les combinaisons d'activités des ménages et la nature des collectifs de travail (agriculteur seul permanent, le conjoint travaillant à l'extérieur ; opportunité d'embauche de salariés d'origine

locale). L'adaptation à l'échelle de territoires de la démarche de quantification des emplois directs et indirects liés à l'élevage, testée à l'échelle nationale (Lang *et al.*, 2015) serait une autre contribution objectivant l'importance du secteur dans l'emploi local et les perspectives selon le développement de tel ou tel modèle d'élevage. Tous les modèles n'ont en effet pas le même impact sur l'emploi : l'accroissement de la productivité du travail permis par l'agrandissement des exploitations que l'on observe depuis plusieurs décennies est associé à une perte régulière de la main d'œuvre. De même, tous les modèles agricoles ne requièrent pas les mêmes compétences et savoir-faire (managériaux, technologiques, de rapport à la nature et aux animaux). Enfin, les dynamiques territoriales touchent les questions de reprise et d'installation d'une part et de cessations anticipées, d'autre part, notamment au travers des questions de politiques foncières tant urbaines que rurales (Barrière, 2015), d'infrastructures mais aussi d'opportunités de reconversion professionnelle.

### ■ 3.2 Accompagner les transitions territoriales : un nouveau défi scientifique

Si le territoire est une entité abordée du point de vue de la conception de nouveaux projets concertés, un nouveau courant de recherche s'intéresse aux « transitions territoriales » c'est à dire aux cadres théoriques et aux outillages qui permettent d'accompagner les acteurs d'un territoire dans un processus de changement radical quant à la conduite de l'activité d'élevage et vis-à-vis des fonctions que doivent assumer l'activité d'élevage pour le développement territorial (qu'il s'agisse de l'environnement, de l'alimentation, de l'identité locale ou du développement économique). Ce changement radical est nourri de contributions à l'échelle de l'exploitation agricole (Coquil *et al.*, 2018), des filières (Magrini *et al.*, 2016) et des systèmes d'innovation (Touzard *et al.*, 2014). Ces travaux montrent que les processus de changement ne sont pas linéaires, qu'ils sont marqués par une relative incertitude sur l'effet des actions et que le travail de reconstruction de nouvelles normes d'action qui

rassurent les acteurs sur leur capacité de coordination et de gouvernance est sensible. Les transitions territoriales, par exemple vers l'agroécologie, présentent des spécificités en termes d'acteurs concernés (agriculteurs, filières, collectivités territoriales, ONG environnementales et/ou porteuses d'innovations alimentaires), de prise en compte de la diversité des systèmes et des rapports à l'espace (proximité, distance). Soulignons quelques recherches récentes sur les options de gouvernance de l'intégration des activités cultures et élevage qui mettent en avant l'intérêt de la gouvernance polycentrique (Moraine *et al.*, 2017), la redéfinition du lien entre diversification des productions agricoles et alimentation locale dans le cadre de « *living labs* » ouverts à des acteurs de la société civile (Coquil *et al.*, 2018). De nouvelles propositions conceptuelles émergent pour la conception de ce que pourrait être une transition agroécologique à l'échelle d'un territoire, visant l'accroissement de la diversité et de la connectivité entre éléments du système et des services produits par les écosystèmes (Duru *et al.*, 2015) avec des propositions d'outillage et d'accompagnement du processus. Ces propositions portent notamment sur la définition collective de la problématique, le choix des partenaires de terrains et des acteurs participants, et la préservation de marges d'adaptation du dispositif chemin faisant (Audouin *et al.*, 2018). Dans certains territoires, la transition agroécologique amène les chercheurs à explorer plus finement la contribution de systèmes ou de modèles agricoles ou alimentaires « négligés » voire considérés comme peu porteurs d'avenir par le monde socio-technique dominant, comme les formes très diversifiées et intégrées d'agriculture et d'élevage des petites exploitations familiales aux Antilles. Il s'agit alors de leur donner une visibilité et un rôle dans un processus de changement territorial qui ne saurait reposer uniquement sur la transformation (même vertueuse) d'un modèle dominant.

Ces enjeux à mieux inscrire les activités agricoles et d'élevage dans des territoires de projet, pose aussi des questions en termes de dispositifs

d'action publique et de leur évaluation. Ainsi, la politique agricole commune constitue un soutien très structurant des activités d'élevage et de leurs dynamiques. Dans le cadre des mesures de développement rural, du second pilier de la PAC, les dispositifs Leader sont explicitement orientés vers le soutien d'initiatives territoriales, donc non sectorielles, de nature à conforter l'émergence d'actions insérées dans des projets de territoires. Ces dispositifs auxquels ne sont réservés que 5 % de l'enveloppe du second pilier sont très marginaux en termes de montants distribués en regard de dispositifs tels l'Indemnité Compensatoire de Handicap Naturel, qui pour les régions concernées est massivement orienté vers un soutien à l'élevage. Ces dispositifs Leader dans leur configuration actuelle restent limités quant à leurs capacités à enrôler une large gamme d'acteurs. Ils mériteraient d'évoluer pour soutenir plus efficacement des projets de développement local (Chevallier et Dedeire, 2014). Ils constituent toutefois un des rares supports d'incitations financières intégrant spécifiquement les activités agricoles qui soit explicitement dédié à favoriser l'inclusion des activités aux territoires dans lesquelles elles s'inscrivent. Ce dispositif touche toutefois moins les agriculteurs, peu présents, que d'autres acteurs économiques du monde rural (Berriet-Sollicet et Trouvé, 2013). On peut penser que les déséquilibres financiers entre des dispositifs sectoriels, tel l'ICHN, relativement « conservateurs » en visant le maintien de l'activité, soient dissuasifs de l'investissement d'acteurs agricoles dans des dispositifs transectoriels, tels ceux qu'impulsent les programmes Leader. En effet si l'élevage est clairement perçu à l'échelle de nombreux territoires pour son importance culturelle et comme vecteur d'identité, les débats peuvent être vifs sur les perspectives d'évolution de l'activité et les différentes formes que celle-ci pourrait (ou devrait ?) revêtir pour mieux s'inscrire dans un développement durable et inclusif des territoires. Pour

conforter les activités d'élevage dans leurs contributions au développement durable des territoires, un intérêt accru devrait être porté à l'évaluation des soutiens publics dans leur caractère incitatif à l'inscription des éleveurs dans des dispositifs de gouvernance territoriale promouvant l'innovation.

## Conclusion

Le développement de l'élevage peut être pensé en référence aux enjeux planétaires (environnement, demande alimentaire) et à la nécessité de renouveler nos modèles de production y compris en y ajoutant, dans les sociétés occidentales, la question du bien-être animal. Notre proposition est de compléter la réflexion en mettant à jour ce qui relie l'élevage et les territoires, au-delà de l'idée que ce qui se décline de ces modèles en Amazonie ou en Mongolie, mais aussi en Bretagne et dans les Alpes ne sera pas identique. La notion de territoire, autour du triptyque espace, acteurs et activités, mais aussi comme objet de l'action publique et comme porteur d'actions collectives permet d'aborder d'autres dimensions du futur de l'élevage. Certaines sont désormais bien étayées comme l'estimation des services écosystémiques rendus par l'activité (Dumont *et al.*, 2017) ou l'incorporation de composantes du territoire dans des signes de qualité différenciés (Marie-Vivien *et al.*, 2017).

Mais parler du territoire suppose d'envisager la co-construction du futur de l'élevage portée par la confrontation ou la coordination d'acteurs hétérogènes, de la sphère agricole, des filières mais également de la société civile et des collectivités territoriales qui expriment ce que serait pour eux une durabilité élargie de l'élevage, congruente avec les enjeux de développement territorial. C'est aussi intégrer ce qui fait diversité et dynamiques des systèmes d'élevage ou des modèles qui en rendent compte que ce soit des modèles techniques,

des modèles précisant le lien à l'aval (transformation distribution, consommation, ou type de circuits) ou des modèles reliant les dimensions techniques, structurelles et de conception du métier (Ploeg Van der, 1994 ; Lémeury, 2003). Penser le territoire, c'est renoncer à considérer une exploitation moyenne, un modèle dominant (qu'on le soutienne ou l'abhorre) pour s'intéresser aussi aux modèles alternatifs à leur localisation, aux ressources qu'ils mobilisent et aux propriétés que confère, ou non, la coexistence des différents modèles à l'échelle globale.

Ainsi « penser global, agir local » nécessite d'associer, aux grands enjeux mondiaux, la reformulation de ceux-ci dans un espace donné en considérant un système d'acteurs développant dans son territoire une pensée « autonome » de la durabilité. Ceci implique aussi que les acteurs locaux, au-delà de ceux des filières, contribuent à la définition des trajectoires de développement de l'élevage qui iraient dans le sens de la durabilité des territoires. Il y a donc des enjeux à intégrer, dans l'approche du changement, ce que peuvent apporter des processus de gestion concertée entre acteurs agricoles, de filière et acteurs non agricoles explorant les synergies et dépassant les « *trade-off* » (Cramer *et al.*, 2017). Le territoire est une échelle d'action publique qui prend de plus en plus d'importance, c'est également une échelle d'action collective et d'approche des transitions (Geels, 2002) entre acteurs du secteur de l'élevage et avec d'autres catégories d'acteurs qui semble de plus en plus pertinente à considérer.

## Remerciements

Une partie des résultats présentés dans cet article sont issus du projet Mouve qui a reçu le soutien de l'ANR (Mouve : ANR-2010-STRA-005-01). Merci aux départements SAD de l'INRA et ES du CIRAD pour le soutien au séminaire permanent « élevage et territoire ».

## Références

- Alkemade R., Reid R.S., van den Berg M., de Leeuw J., Jeuken M., 2013. Assessing the impacts of livestock production on biodiversity in rangeland ecosystems. *PNAS*, 110, 20900-20905. <https://doi.org/10.1073/pnas.1011013108>
- Angeon V., Vollet D., 2008. Spécificités des produits et développement territorial. L'exemple paradoxal du panier de biens en émergence de l'aubrac. *Revue Écon. Régionale Urbaine*, 4, 591-615.
- ATF, 2016. A strategic research and innovation agenda for a sustainable livestock sector in Europe. [http://animaltaskforce.eu/Portals/0/2nd%20White%20Paper/ATF-2nd%20whitepaper\\_final.pdf](http://animaltaskforce.eu/Portals/0/2nd%20White%20Paper/ATF-2nd%20whitepaper_final.pdf)
- Audouin E., Bergez J.E., Therond O., 2018. Participatory methodology for designing an agroecological transition at local level. In: *Agroecological transitions: from theory to practice in local participatory design*. Bergez J.E., Audouin E., Therond O. (Eds). Springer, 289p.
- Aznar O., 2014. Agriculture de service : quelques éléments d'analyse économique. *Pour*, 221, 79-86
- Balent G., Dobremez L., Dedieu B., Tourrand J.F., 2015. Prairies, services écosystémiques et intensification écologique : Les apports du projet Mouve. *Fourrages*, 221, 1-2.
- Barnaud C., Couix N., 2017. La multifonctionnalité de l'élevage de montagne : un construit social, une diversité de regards, des négociations territoriales. La montagne, territoire d'innovation, Jan 2017, Grenoble, France, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01443460>
- Barnaud C., Corbera E., Muradian R., Salliou N., Sirami C., Vialatte A., Choisis J.P., Dendoncker N., Mathevet R., Moreau C., Reyes-García V., Boada M., Deconchat M., Cibien C., Garnier S., Maneja R., Antona M., 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: a conceptual framework. *Ecol. Soc.*, 23, 15.
- Barrière O., 2015. Patrimonialisation de la pâture : entre marginalisation et valeur universelle. In: Dupré L., Lasseur J., Pocard-Chappuis R. (Eds). *Pâturages. Techniques et cultures*, 63, 182-201.
- Benoit M., Rizzo D., Marraccini E., Moonen A.C., Galli M., Lardon S., Rapey H., Thenail C., Bonari E., 2009. Landscape agronomy: a new field for addressing agricultural landscape dynamics. *Landscape Ecol.*, 27, 1385-1394.
- Berriet-Sollicec M., Trouvé A., 2013. Développement des territoires de projet. Quels enjeux pour les politiques rurales ? *Écon. Rurale.*, 335, 7-19.
- Bonaudo T., Billen G., Garnier J., Barataud F., Bognon S., Dupré D., Marty P., 2017. Analyser une transition agro-alimentaire par les flux d'azote : Aussois un cas d'étude du découplage progressif de la production et de la consommation. *Revue Écon. Régionale Urbaine*, 5, 967-990.
- Buclet N., 2015. Essai d'écologie territoriale : L'exemple d'Aussois en Savoie, Collection CNRS Alpha, CNRS Éditions, Paris, France, 13-45.
- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992. *Les Mots de la géographie*. Paris : Reclus-La Documentation française, 518p.
- Caron P., 2017. Entre promesse et risque, l'usage du mot territoire dans la pensée du développement agricole. In : *Des territoires vivants pour transformer le monde*. Wassemar T., Caron P., Papazian V., Valette E., d'Eeckenbrugge G. (Eds). Quae Éditions, Paris, France, 15-22.
- Caron P., Ferrero y de Loma-Orsorio G., Nabarro D., Hainzelin E., Guillou M., Andersen I., Arnold T., Astralaga M., Beukeboom M., Bickersteth S., Bwalya M., Caballero P., Bruce M., Campbell, Ntiokam Divine, Fan S., Frick M., Friis A., Gallagher M., Halkin J.P., Hanson C., Lasbennes F., Ribera T., Rockstrom J., Schuepbach M., Steer A., Tutwiler A., Verburg G., 2018. Food systems for sustainable development: proposals for a profound four-part transformation. *Agron. Sustainable Dev.*, 38, 41. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0519-1>
- Carvalho S., Pocard R., 2015. Bassin laitier de Brasil Novo (Brésil). L'émergence d'un bassin laitier localisé sur un front pionnier. In : Napoléone M., Corniaux C., Leclerc B. (Eds). *Voies lactées. Dynamique des bassins laitiers entre globalisation et territorialisation*. Cardère Éditeur, Villeneuve les Avignon, France, 185-205.
- Casabianca F., Millet M., 2018. La ressource génétique locale sous tensions : Trajectoires d'évolution des races ovines laitières Corse et Pyrénéennes, entre modèles d'élevage et valorisation collective des fromages de terroir. *Géocarrefour*. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.12137>
- Cerles A., Lherm M., Poux X., Agabriel J., 2017. Étude prospective des filières viande de ruminants du Massif central à l'horizon 2050. In : *Élevage bovin allaitant*. Agabriel J., Renand G., Baumont R. (Eds). *Dossier, INRA Prod. Anim.*, 30, 179-196. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.2.2243>
- Cochet H., Devienne S., Dufumier M., 2007. L'agriculture comparée, une discipline de synthèse ? *Écon. Rurale*, 297-298. <http://economierurale.revues.org/2043> ; DOI : 10.4000/economierurale.2043
- Compagnone C., Hubert B., Lasseur J., Le guen R., Mathieu A., 2015. Connaissances et systèmes de pensée des agriculteurs : l'actualité de l'approche de Jean-Pierre Darré. Colloque « Sens des pratiques et dynamique des collectifs en agriculture. L'actualité des travaux de Jean-Pierre Darré. MSH Dijon, France, 9p.
- Coquil X., Dedieu B., Beguin P., 2018. Professional transitions towards sustainable farming systems: The development of farmers' professional worlds 2018. *Work*, 57, 325-337. <https://doi.org/10.3233/WOR-172565>
- Correa P., Abdeletche P., Piedrabuena L., Bartaburu D., 2015. L'expansion d'un bassin laitier basé sur le développement de l'agroindustrie et de l'exportation. In : Napoléone M., Corniaux C., Leclerc B. (Eds). *Voies lactées. Dynamique des bassins laitiers entre globalisation et territorialisations*, Montpellier. Cardère Éditeur, Villeneuve les Avignon, France, 240p, 39-65. <https://doi.org/10.15454/1.447773668766975E12>
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Naeem S., Limburg K., Paruelo J., O'Neill R.V., Raskin R., Sutton P., van den Belt M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Chevallier P., Dedeire M., 2014. Application du programme leader selon les principes de base du développement local. *Écon. Rurale.*, 9-25. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4382>
- Christie M., Fazey I., Cooper R., Hyde T., Kenter J.O., 2012. An evaluation of monetary and non-monetary techniques for assessing the importance of biodiversity and ecosystem services to people in countries with developing economies. *Ecol. Econ.*, 83, 67-78.
- Cialdella N., Carvalho S., Vaz V., Thales M., Pocard-Chappuis R., Tourrand J.F., 2015. Do political changes aimed at reducing Amazonian deforestation contribute to ecological intensification? *Cah. Agricult.*, 24, 246-254.
- Cramer W., Egea E., Fischer J., Lux A., Salles J.M., Settele J., Tichit M., 2017. Biodiversity and food security: from trade-offs to synergies. *Reg. Environ. Change*, 17, 1257-1259.
- Dedieu B., Gibon A., Ickowicz A., Tourrand J.F., 2010. Transformations des élevages extensifs et des territoires ruraux. *Cah. Agricult.*, 19, 81-83.
- Delanoue E., Dockès A.C., Roguet C., Magdelaine P., 2015. Points de vue et attentes des acteurs de la société envers l'élevage. Un regard sur les principales controverses. *Renc. Rech. Rum.*, 22.171-178.
- Delfosse C., 2007, *La France fromagère (1850-1990)*. La boutique de l'histoire Édition. 271p.
- Delfosse C., Dumont B., Hostiou N., 2017. Des services contrastés rendus par l'élevage dans les espaces urbains et périurbains européens. In : Numéro spécial, *L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts*. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 395-406.
- Dissart J.C., Mollard A., Vollet D., 2014. Valorisation des aménités et développement territorial, le cas des PNR. <https://journals.openedition.org/vertigo/15286>
- Dobremez L., Chazoule C., Loucougaray G., Pauthenet Y., Nettier B., Lavorel S., Madelrieux S., Doré A., Fleury P., 2015. Débats et controverses sur l'intensification fourragère dans le Vercors. Quelles pratiques, quelles conceptions en jeu ? *Fourrages*, 221, 33-45.
- Domingues J.P., Ryschawy J., Bonaudo T., Gabrielle B., Tichit M., 2018. Unravelling the physical, technological, and economic factors driving the intensification trajectories of livestock systems. *Animal*, 12, 1652-1661.
- Dourmad J.Y., Delaby L., Boixadera J.L., Ortis C., Méda B., Gaigné C., Dumont B., 2017. Diversité des services rendus par les territoires à forte densité d'élevages, trois cas d'étude en Europe. In : Numéro spécial,

- L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 303-320.
- Dufour A., Alavoine-Mornas F., Godet J., Madelrieux S., 2016. Diversité des cheminements en agriculture biologique : le sens du métier en question ? *Innov. Agron.*, 51, 19-28.
- Dumont B., Dupraz P., Ryschawy J., Donnars C., 2017 L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. *Avant-Propos. INRA Prod. Anim.*, 30, 271-272. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.4.2256>
- Dupré L., Lasseur J., Pocard-Chappuis R., 2015. Faire pâturer, faire société durablement. Éleveurs et élevages entre inscription territoriale et changements globaux. *Techniques et culture*, 63, 202-231.
- Dupré L., Lasseur J., Sicard J., 2017. Production sociale de l'herbe et inscription territoriale des éleveurs ovins pastoraux des Alpes du sud. *Espaces Soc.*, 170, 157-172.
- Duru M., Therond O., Fares M., 2015. Designing agro-ecological transitions; a review. *Agron. Sustainable Dev.*, 35, 1237-1257.
- Duru M., Donnars C., Ryschawy J., Therond O., Dumont B., 2017. La grange : un cadre conceptuel pour appréhender les bouquets de services rendus par l'élevage dans les territoires. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 273-284. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.4.2259>
- Étienne M., 2012. La modélisation d'accompagnement : une forme particulière de géoprospective. *L'espace géographique* 41, 128-137. <https://doi.org/10.3917/eq.412.0128>
- Étienne M., 2014. Élevage et territoire. Concepts, Méthodes, Outils. Forma Science, FPN, INRA, Paris, France. 279p.
- Eychenne C., 2012. Quelles incursions du territoire dans l'évolution d'une politique sectorielle ? discours et représentations autour de l'agriculture de montagne. *Sud-Ouest européen*. 34, 9-20. <http://journals.openedition.org/soe/85>
- Erkman S., 2001. L'écologie industrielle, une stratégie de développement. *Le Débat*, 113, 106-121. <https://doi.org/10.3917/deba.113.0106>
- Gameiro A.H., Bonaudo T., Tichit M., 2018. Trends of substance flow accounts in the Brazilian livestock agro-industrial system: a proposal to assess sustainability indicators related to the use of nitrogen, phosphorus, and potassium through a dynamic model. *Reg. Environ. Change*. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1451-2>
- Garde L., Dimanche M., Lasseur J., 2014. Permanence et mutations de l'élevage pastoral dans les Alpes du Sud. *Revue de géographie Alpine*. <https://doi.org/10.4000/rga.2405102>
- Garnett T., 2017. Livestock and climate change. In the meat crisis. Developing more sustainable and ethical production and consumption D'Silva J., Webster J. (Eds), London, 390p, 31-52.
- Geels F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary configuration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Res. Policy*, 31, 1257-1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Gerber P., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Dijkman J., Falucci A., Tempio G., 2013. Tackling climate change through livestock - a global assessment of emission and mitigation opportunities. FAO. Rome, Italy. 116p.
- Gill M., Gibson J.P., Lee M.R., 2018. Livestock production evolving to contribute to sustainable societies. *Animal*, 12, 1696-1698.
- Godard O., Hubert H., 2002. Le développement durable et la recherche scientifique à l'INRA. Rapport intermédiaire de mission, INRA Éditions, Paris, France, 58p.
- Godfray H.C.J., Aveyard P., Garnett T., Hall J.W., Key T.J., Lorimer J., Pierrehumbert R.T., Scarborough P., Springmann M., Jebb S.A., 2018. Meat consumption, health and the environment. *Science*, 361, 243. <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
- Grisson J.B., Ménadier L., Ricard D., Rieutort L., 2015 Le pastoralisme dans les montagnes cantaliennes entre enjeux fonciers et ressources territoriales : l'exemple de la haute vallée du Mars. *Histoire Soc. Rurales*. 44, 81-110.
- de Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willemen L., 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecol. Complexity*, 7, 260-274.
- Guiomar X., 2011. Les collectivités locales à la recherche d'une agriculture de proximité. *Pour*, 209-210, 169-183. <https://doi.org/10.3917/pour.209.0169>
- Hanus A., Kervarec F., Strosser P., Saint Pierre C., Hanus G., 2018. Évaluation des paramètres de l'ICHN : principaux résultats et spécificités territoriales, Notes et Études Écon., 43-75. [https://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/74314/1/nese43-2\\_2018.pdf](https://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/74314/1/nese43-2_2018.pdf)
- Hercule J., Chatellier V., Piet L., Dumont B., Benoit M., Delaby L., Donnars C., Savini I., Dupraz P., 2017. Une typologie pour représenter la diversité des territoires d'élevage en Europe. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Ed). INRA Prod. Anim., 30, 285-302.
- HLPE, 2016. Sustainable Agricultural Development for food security and nutrition: what roles for livestock. <http://www.fao.org/3/a-i5795e.pdf>
- Houdart M., Baritoux V., Cournot S., 2015. Bassin laitier du Livradois-Foréz (France). Dés-ancrage/ré-ancrage de la production laitière dans le territoire : quelle influence des acteurs de l'aval ? In : Napoléone M., Corniaux C., Leclerc B. (Eds). Voies Lactées, Cardère Éditeur, Villeneuve les Avignon, France, 76-97.
- Jarrige F., Thion P., Nougarets B., 2006. La prise en compte de l'agriculture dans les nouveaux projets de territoires urbains. Exemple d'une recherche en partenariat avec la Communauté d'Agglomération de Montpellier. *Revue Écon. Régionale Urbaine*, 393-414. <https://doi.org/10.3917/reru.063.0393>
- Lairez J., Feschet P., Botreau R., Bockstaller C., Fortun-Lamothe L., Bouvarel I., Aubin J., 2017. L'évaluation multicritère des systèmes d'élevage pour accompagner leurs évolutions : démarches, enjeux et questions soulevées. *INRA Prod. Anim.*, 30, 255-268.
- Lamara H., 2009. Les deux piliers de la construction territoriale : coordination des acteurs et ressources territoriales. *Développement durable et territoires*. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.8208>
- Lang A., Dupraz P., Tregaro Y., Rosner P.M., Perrot C., 2015. Les emplois directs et indirects liés à l'élevage français. Rapport d'étude GIS Élevages demain. [https://www.sfer.asso.fr/source/jrss2015/jrss2015\\_lang.pdf](https://www.sfer.asso.fr/source/jrss2015/jrss2015_lang.pdf)
- Lardon S., 2013. Le « jeu de territoire », un outil de coordination des acteurs locaux. *Fascade*, 38, 4p.
- Lasseur J., Bataille J.F., Beylier B., Étienne M., Legeard J.P., Luccioni J., 2010. Modélisation des relations entre dynamiques des territoires et des systèmes d'élevage dans le massif du Lubéron. *Cah. Agricult.*, 19, 90-96.
- Lasseur J., Dupré L., 2017. Entre production d'agneaux, incitations environnementale et inscription dans le local. *Pour*, 231, 157-166.
- Lauvie A., Paoli J.C., Moulin C.H., 2015. Managing local breeds: a dynamic connected to livestock farming systems that concerns different levels of organization. *Anim. Genet. Resources*, 56, 119-125. <https://doi.org/10.1017/S2078633614000502>
- Lémery B., 2003. Les agriculteurs dans la fabrique d'une nouvelle agriculture. *Sociologie du travail*. 45, 9-25.
- Lucas V., Gasselien P., Thomas F., Vaquié P.F., 2014. Coopération agricole de production : quand l'activité agricole se distribue entre exploitation et action collective de proximité. In : Gasselien P., Choisis J.P., Petit S., Purseigle F. (Eds), EDP Sciences, France, 201-222.
- Madelrieux S., Alavoine-Mornas F., 2015. Bassin laitier des « quatre montagnes » (France) : influences extérieures, réactions des acteurs locaux et réinvention de la tradition. In : Napoléone M., Corniaux C., Leclerc B. (Eds). Voies Lactées. Cardère Éditeur, Villeneuve les Avignon, France, 111-141.
- Madelrieux S., Buclet N., Lescoat P., Moraine M., 2017. Écologie et économie des interactions entre filières agricoles et territoire : quels concepts et cadre d'analyse ? *Cah. Agricult.*, 26, 24001.
- Manoli C., Ickowicz A., Josien E., Dedieu B., 2011. Comment caractériser les relations entre élevage et territoire ? une revue de la diversité des approches existant dans la littérature. *Renc. Rech. Rum.*, 18, 361-367.
- Magrini M.B., Cholez C., Anton M., Walrand S., 2016. Why are grain-legumes rarely present in cropping

systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecol. Econom.*, 126, 152-162.

Marie-Vivien D., Bérard L., Boutonnet J.P., Casabianca F., 2017. Are French geographical indications losing their soul? *World Dev.*, 98, 25-34.

Martín-López B., Iniesta-Arandia I., García-Llorente M., Palomo I., Casado-Arzuaga I., García Del Amo D., Gómez-Baggethun E., Oteros-Rozas E., Palacios-Agundez I., Willaarts B., González J.A., Santos-Martín F., Onaindia M., López-Santiago C., Montes C., 2012. Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. *PLOS ONE* 7, e38970

Mignolet C., Benoît M., Bornerand C., 2001. Différenciation du bassin de la Seine selon les dynamiques des systèmes de production agricoles depuis les années 70. *Cah. Agricult.*, 10, 377-387.

Moraine M., Duru M., Nicholas P., Leterme P., Therond O., 2014. Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. *Animal*, 8, 1204-1217.

Moraine M., Grimaldi J., Murgue C., Duru M., Therond O., 2016. Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level. *Agricult. Sys.*, 147, 87-97.

Moraine M., Duru M., Therond O., 2017. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels. *Renewable Agricult. Food Sys.*, 32, 43-56.

Napoléone M., Corniaux C., Leclerc B. (Eds), 2015, Voies lactées. Dynamique des bassins laitiers entre globalisation et territorialisation. Cardère Éditeur, Villeneuve les Avignon, France, 307p.

Napoléone M., Boutonnet J.P., 2015. Entre local et global : quelles reconfigurations à l'œuvre dans les bassins laitiers ? In : Napoléone M., Corniaux C., Leclerc B. (Eds). Voies Lactées. Dynamique des bassins laitiers entre globalisation et territorialisation. Cardère Éditeur, Villeneuve les Avignon, France, 249-277.

Ollivier G., Magda D., Mazé A., Plumecocq G., Lamine C., 2018. Agroecological transitions: what can sustainability frameworks teach us ? An ontological

and empirical analysis. *Ecol. Soc.*, 23, 5. <https://doi.org/10.5751/ES-09952-230205>

Pecqueur B., 2006. Le tournant territorial de l'économie globale. *Espaces Soc.*, 124-125, 17-32.

Ploeg Van der J.D., 1994. Styles of farming: an introductory note on concepts and methodology. In: Endogenous regional development in Europe, de Haan H.J., van der Ploeg J.D. (Eds). <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/359337>

Relun A., Charrier F., Trabucco B., Maestrini O., 2015. Multivariate analysis of traditional pig management practices and their potential impact on the spread of infectious diseases in Corsica. *Preventive Vet. Med.*, 121, 246-256.

Valette H., Chia E., Mathé S., Michel L., Nougaredes B., Soulard C.T., Maurel P., Jarrige F., Barbe E., Guiheneuf P.Y., 2014. Comment analyser la gouvernance territoriale ? Mise à l'épreuve d'une grille de lecture, *Géographie, Écon., Soc.*, 16, 1, 66-89.

Ricard D., 2010. Les reconfigurations récentes des filières laitières en France et en Europe. Ouvrage collectif coordonné par D Ricard. Presses Universitaires Blaise Pascal, Collection CERAMAC, 456p.

Ryschawy J., Tichit M., Bertrand S., Allaire G., Plantureux S., Aznar O., Perrot C., Guinot C., Josien E., Lasseur J., Aubert C., Tchakerian E., Disenhaus C., 2015. Comment évaluer les services rendus par l'élevage ? Une première approche méthodologique sur le cas de la France. *INRA Prod. Anim.* 28, 23-38.

Ryschawy J., Disenhaus C., Bertrand S., Allaire G., Aznar O., Plantureux S., Josien E., Guinot C., Lasseur J., Perrot C., Tchakerian E., Aubert C., Tichit M., 2017. Assessing multiple goods and services derived from livestock farming on a nation-wide gradient. *Animal*, 11, 1861-1872.

Rodríguez-Ortega T., Oteros-Rozas E., Ripoll-Bosch R., Tichit M., Martín-López B., Bernués A., 2014. Applying the ecosystem services framework to pasture-based livestock farming systems in Europe. *Animal*, 8, 1361-1372.

Ruault C., Vitry C., 2017. Articuler dynamiques agricoles et action publique locale en péri-urbain : quelles

dimensions en jeu ? *Revue Écon. Régionale Urbaine*, 3, 483-510. <https://doi.org/10.3917/reru.173.0483>

Sabourin E., de Torres Álvarez M.F., Arbeletche P., Massardier G., Courdin V., Tourrand J.F., Morales Grosskopf H., 2015., Politiques publiques et élevage en Uruguay : premiers effets des mesures environnementales et de développement territorial, 15, Éditions Vertigo, Montréal, Québec. <https://doi.org/10.4000/vertigo.16125>

Sanchez-Zamorra P., Gallardo-corbos R., Cena-delgado F., 2014. Rural areas face the economic crisis: analysing the determinants of successful territorial dynamics. *J. Rural Studies*, 35, 11-25.

Shereen D., Lefebvre J., Ladet S., Balent G., Brame A., Bray F., Capitaine M., Gibon A., Lasseur J., Lasseur R., Dobremez L., 2015. Co-évolution des paysages et des activités agricoles dans différents territoires d'élevage des montagnes française : entre intensification et déprise agricole. *Fourrages*, 222, 103-113.

Servière G., Chauvat S., Hostiou N., Cournot S., 2018. Le travail en élevage et ses mutations. *Renc. Rech. Rum.*, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01961393>

Steinfeld H., Gerger P., Wasenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C., 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

Touzard J.M., Faure G., Temple L., Triomphe B., 2014. Systèmes d'innovation et communautés de connaissances dans le secteur agricole et agroalimentaire. *Innovations*, 43, 13-38

Torre A., 2011. Les processus de gouvernance territoriale. L'apport des proximités. *Pour*, 2, 114-122. <https://doi.org/10.3917/pour.209.0114>

Torre A., 2018. Développement territorial et relations de proximité. *Revue Écon. Régionale Urbaine*. 5-6, 1043-1075

Zahn F., Ugaglia A., Boureau H., Derdlingshofer B., 2015. Agriculture et exploitations agricoles durables : état de l'art et propositions de définitions revisitées à l'aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture. *Innov. Agron.*, 46, 105-125.

## Résumé

Les leviers susceptibles de conforter la durabilité de l'élevage concernent *i)* la capacité du système considéré à se maintenir en conservant ses capacités productives et en renouvelant les ressources dont il dépend, en répondant aux enjeux économiques et de filières : l'efficacité est alors au centre des évaluations ; *ii)* la capacité de l'activité d'élevage à intégrer au-delà de ses intérêts propres celle d'un ensemble des porteurs d'enjeux qui l'environnent : les interactions à l'échelle des territoires sont alors au centre des analyses. À partir de l'analyse transversale de travaux associant l'agronomie – zootechnie, la géographie et la sociologie sur des terrains français et étrangers nous identifions trois dimensions particulières pour les recherches concernant les interactions entre élevage et territoire : *i)* la mesure des impacts des activités sur des espaces continus, *ii)* l'analyse de la diversité des activités permettant de relier « local et global », et *iii)* l'étude des interactions entre acteurs d'un territoire pour favoriser l'émergence d'innovations renforçant la durabilité territoriale. Quatre études de cas illustrent ces défis actuels de la recherche sur les interactions entre élevage et territoire en ce que ces approches amènent aux débats sur le futur des recherches sur l'élevage. Les recherches conduites sur le territoire sont en tension sur un gradient tiré d'une part, vers des mesures d'objectivation de l'impact des activités humaines dans un contexte de changement global et, d'autre part, vers une compréhension, intégrant toute la subjectivité des acteurs de ce sur quoi l'élevage est attendu à l'avenir. Il ne s'agit pas pour nous d'opposer ces orientations de recherche, mais de faire jouer leurs complémentarités en les situant dans un nouveau courant de recherche qui s'intéresse aux « transitions territoriales », c'est à dire aux cadres théoriques et aux outillages qui permettent d'accompagner les acteurs d'un territoire dans un processus de changement.

## Abstract

---

### **Livestock and territory: which interactions and what questions?**

*Levers to consolidate sustainability deal with the following abilities: i) for the system to maintain its productive abilities and renew its related resources while responding to expectations from the economic sector: efficiency is thus the question; ii) for the activity to cope, beyond its own interests, with those concerns of other stakeholders surrounding it: at that time, interaction at the territory scale becomes central. By analyzing pluridisciplinary research performed in France and abroad, we have identified three main dimensions dealing with livestock and the territory: measuring the impact of livestock farming on landscape, analyzing diversity and dynamics of activities to connect local and global and, studying the interactions among actors at the territory scale to foster innovation that will strengthen territorial sustainability. Four case studies highlight challenges for research on relationships between livestock farming and territories. These studies are split on a gradient between the abilities to deliver objective measures for the impact of human activities and a comprehensive approach, including the subjectivities of actors which is critical for livestock farming in the future. The main stake is to be able to bridge these two research perspectives and to include them in a "territorial transition" research perspective that deals with theoretical frameworks and operating devices that accompany local actors in a changing process.*

LASSEUR J., BONAUDOT., CHOISIS J.-P., HOUDART M., NAPOLÉONE M., TICHIT M., DEDIEU B., 2019. Élevage et territoires : quelles interactions et quelles questions ? In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 189-204.  
<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2504>

# Les productions animales dans la bioéconomie

INRA Prod. Anim.,  
2019, 32 (2), 205-220

Jean-Yves DOURMAD<sup>1</sup>, Thomas GUILBAUD<sup>2</sup>, Muriel TICHIT<sup>1,3</sup>, Thierry BONAUDO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PEGASE, INRA, AGROCAMPUS OUEST, 35590, Saint-Gilles, France

<sup>2</sup>CEREOPA, 75231, Paris, France

<sup>3</sup>SADAPT, INRA, AGROPARISTECH, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France

Courriel : jean-yves.dourmad@inra.fr

■ Le développement d'une économie fondée sur l'utilisation de biomasse issue de la photosynthèse, ou bioéconomie, permettrait de répondre aux enjeux de sécurité alimentaire, de changement climatique et de préservation des ressources naturelles. L'élevage comme élément transformateur et producteur de bioressources est un important moteur de la bioéconomie.

## 1. Introduction

### ■ 1.1. La bioéconomie, une réalité ancienne, des enjeux nouveaux

La bioéconomie est la dénomination récente d'une économie fondée sur l'utilisation de biomasse issue de la photosynthèse, plutôt que sur celle des ressources fossiles (Colonna, 2013). En ce sens, il ne s'agit pas vraiment d'une nouveauté puisque jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle la survie de l'humanité a essentiellement reposé sur les produits naturels, forestiers, agricoles et aquatiques, pour l'alimentation humaine et la production de matériaux (Abel et Blanc, 2017). Toutefois, le développement actuel de la bioéconomie se fait dans un contexte complètement différent avec, d'une part, une population mondiale qui a été multipliée par cinq depuis 1850, une utilisation exacerbée des ressources de la planète, accompagné d'atteintes à la biodiversité et au climat et, d'autre part, le développement de biotechnologies innovantes (chimie de l'amidon, synthèse microbienne d'acides aminés, de protéines, d'enzymes...) qui offrent des perspectives nouvelles.

Le Rapport Interministériel (2016) « Une stratégie bioéconomie pour la France » définit la bioéconomie comme « l'ensemble des activités liées à la production de bioressources et leur utilisation ou leur transformation pour répondre de façon durable aux besoins alimentaires et à une partie des besoins en énergie et en matériaux de la société, tout en préservant les ressources naturelles et en garantissant la production de services environnementaux de bonne qualité ». Cette définition est très voisine de celle donnée par la Commission Européenne (CE, 2012 ; CE, 2018) et par le Comité allemand de la bioéconomie (GBC, 2015), lequel englobe dans sa définition aussi bien la bioéconomie qualifiée de « traditionnelle » comme l'agriculture, la forêt, la pêche et l'aquaculture, que les bioindustries de transformation et de service comme l'agroalimentaire, le papier, le textile, la construction, la chimie et la pharmacie. Cette vision globale inclut dans son champ de réflexion et d'action le bouclage des cycles d'énergie et de matières, et pour l'attribut de bioéconomie circulaire est souvent utilisé. Il existe aussi des définitions plus restrictives, qui limitent la bioéconomie au développement de biotechnologies

visant à valoriser les bioressources (ou biomasses) pour la production d'énergie, de molécules et bioproduits à haute valeur ajoutée, ou de matériaux (Langeveld *et al.*, 2012). Ces définitions correspondent souvent à une approche plus linéaire de la bioéconomie.

La bioéconomie, dans son acception globale, permet selon la FAO (Dubois et Gomez San Juan, 2016), d'envisager une approche intégrée des enjeux de la sécurité alimentaire, de changement climatique et de préservation des ressources naturelles et de la biodiversité, dans une perspective de développement économique durable. Dans cette vision large l'agriculture et l'élevage ont toute leur place dans la bioéconomie comme élément transformateur de bioressources et producteur de biens et services (encadré 1).

### ■ 1.2. La bioéconomie, l'économie circulaire et, l'écologie industrielle et territoriale

La bioéconomie partage de nombreux points avec l'économie circulaire et l'écologie industrielle qui proposent une nouvelle vision des rapports entre l'ensemble

**Encadré 1. Quelques définitions.**

Les bioressources — ou biomasses — constituent le « substrat » de la bioéconomie. On y inclut l'ensemble des matières d'origine biologique (à l'exclusion de celles d'origine fossile). Les végétaux terrestres, les algues, les animaux terrestres ou aquatiques, les micro-organismes, les bio-déchets produisent et constituent des bioressources. Les bioressources sont directement ou indirectement issues de la photosynthèse et sont renouvelables.

La bioéconomie dans son acception la plus large englobe l'ensemble des activités liées à la production, à l'utilisation et à la transformation de bioressources. Ces activités permettent de répondre de façon durable aux besoins alimentaires et à une partie des besoins en matériaux et en énergie de la société. Elle contribue également à lui fournir des services écosystémiques.

Les produits biosourcés sont définis comme étant entièrement ou partiellement issus de bioressources. On peut aussi les qualifier de bioproduits.

des êtres vivants, les techniques, et la biosphère. L'économie circulaire se développe dans les années 1970, en particulier avec la publication du rapport « *The Limits to Growth* » (Meadows *et al.*, 1972). Elle se définit comme un système économique d'échanges et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits, vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus. Pour cela, l'économie circulaire promeut un approvisionnement durable en ressources, une consommation responsable, une gestion des déchets favorisant leur recyclage et, le cas échéant, leur valorisation énergétique. Dans cette logique de progrès, le rapport de l'Animal Task Force (2016) souligne les nombreux atouts et le rôle à jouer par l'élevage.

L'écologie industrielle est née d'une réflexion sur la nécessité d'un bouclage des cycles pour améliorer les performances économiques et environnementales des systèmes anthropiques. À la différence d'autres domaines de recherche, son point de départ est une métaphore qui associe les systèmes industriels et les écosystèmes natu-

rels (Ehrenfeld, 2004). Elle s'inscrit dans le concept d'économie circulaire. En France, on parle d'Écologie Industrielle et Territoriale (EIT) pour analyser les interactions sur les territoires entre les sociétés industrielles et la biosphère (Barles, 2010 ; Madelrieux *et al.*, 2017 ; Bonaudo *et al.*, 2017). L'ambition de l'EIT est de mieux comprendre et piloter les interactions entre société et environnement en étudiant les flux de matières et d'énergie mobilisés par les systèmes anthropiques comme les villes, les industries ou les territoires et les modes de gouvernance de ces flux. L'EIT vise à découpler la croissance économique de celle de l'utilisation des ressources en favorisant au niveau territorial le bouclage des flux de matière et d'énergie. Les leviers actionnés peuvent consister en une réorganisation des activités humaines et l'émergence de nouvelles formes de coopération entre acteurs sur les territoires ; ils renvoient également à une optimisation des processus et à la mobilisation de technologies, afin d'économiser les ressources et de diminuer les pollutions par exemple dans les systèmes d'élevage ayant un faible lien au sol (Dumont *et al.*, 2013 ; Thomas *et al.*, 2014). Ce concept, appliqué à l'agriculture, mobilise à la fois des processus industriels (via les technologies) et des processus biologiques, marquant ainsi sa spécificité.

Abel et Blanc (2017) suggèrent que le développement d'une bioéconomie durable implique qu'elle adopte les principes de l'économie circulaire et que l'agriculture, qu'ils considèrent comme l'un des éléments clés d'une bioéconomie durable, adopte les principes de l'agroécologie. C'est un aspect qui est également souligné dans la dernière version de document décrivant la stratégie bioéconomique de l'Union Européenne (EC, 2018).

Dans le reste de cette publication nous considérerons que le terme bioéconomie se réfère à cette vision circulaire de la bioéconomie.

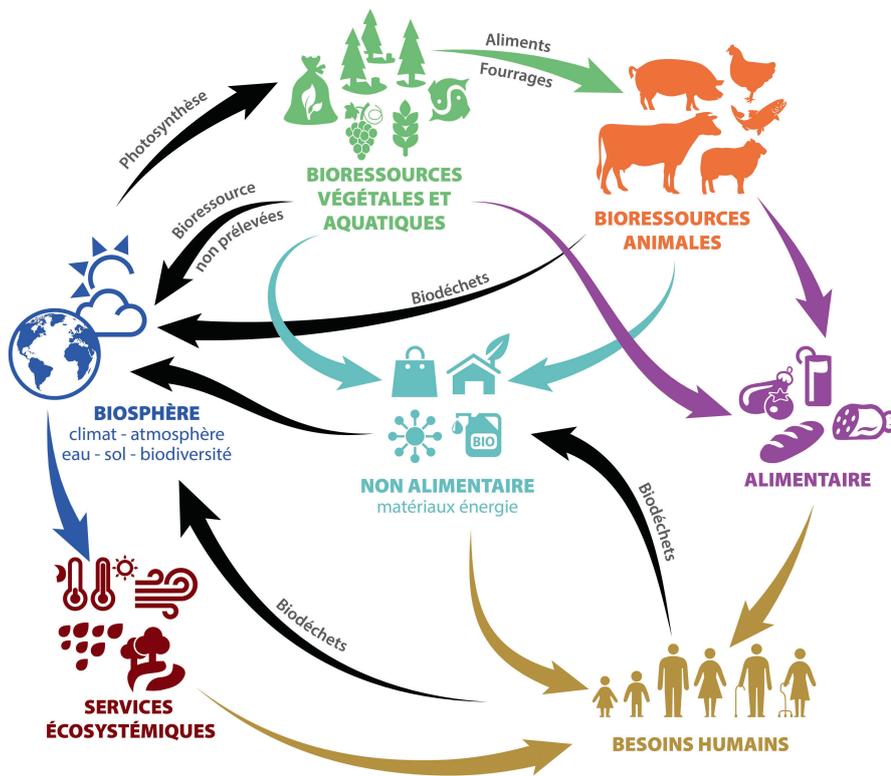
### ■ 1.3. La bioéconomie et l'élevage

Les travaux scientifiques relatifs à la bioéconomie se réfèrent assez peu aux productions animales. Dans une analyse

bibliométrique récente, D'Amato *et al.* (2017) identifient sur la période 1990-2016, 464 publications avec la terminologie « *Bioeconomy* », dont plus des trois quarts sont postérieures à 2010, indiquant qu'il s'agit bien d'un concept récent. Ces publications sont essentiellement le fait de revues scientifiques spécialisées dans les biotechnologies, l'utilisation de la biomasse, la production d'énergie, l'économie et l'évaluation environnementale. Aucune revue du domaine des sciences animales ne figure dans les 25 revues les plus utilisées pour ces publications. De mêmes, parmi les 30 mots-clés les plus cités dans ces publications aucun ne fait référence aux productions animales. Cette situation peut paraître surprenante dans la mesure où les systèmes d'élevage sont, à l'échelle de la planète, parmi les principaux utilisateurs de biomasse et les principaux utilisateurs des surfaces agricoles (cultures, pâturages, parcours), et qu'ils contribuent largement à la fertilisation des sols et aux apports alimentaires de l'Homme (Steinfeld *et al.*, 2006). En fait la référence à l'élevage dans les publications relatives à la bioéconomie concerne principalement l'utilisation des effluents d'élevage pour la production d'énergie par méthanisation.

De la même manière, les schémas de représentation de la bioéconomie font toujours référence aux bioressources végétales et rarement aux bioressources animales. Ceci ne permet donc pas de représenter finement les interactions entre ces différents bioressources, alors que l'élevage est un moteur majeur des flux de biomasse au sein des territoires. Sur la base du schéma figurant dans le rapport interministériel « Une stratégie bioéconomie pour la France » (2016) nous proposons une modification pour mieux prendre en compte les productions animales dans la bioéconomie (figure 1). Sur ce schéma figurent séparément les bioressources végétales et animales et leurs interrelations, ce qui permet de représenter leurs contributions respectives à la couverture des besoins humains, alimentaires et non alimentaires. Les flux de « déchets » d'origine animale, végétale ou autres sont également représentés, avec leur contribution possible à la couverture de

**Figure 1.** Schéma de la bioéconomie avec représentation de l'élevage (adapté du rapport « Une stratégie bioéconomie pour la France, enjeux et vision », 2016).



besoins humains et au final leur retour vers la biosphère, principalement le sol. En plus des flux de biomasse figurent également différents compartiments de la biosphère dont l'« état » est susceptible d'être amélioré ou dégradé selon la nature et l'importance des flux qu'ils reçoivent. L'état de la « biosphère » conditionne aussi la nature et l'importance des services écosystémiques qui peuvent être rendus à la société.

Dans la suite de cet article nous allons décrire plus précisément les flux de biomasses associés aux activités d'élevage et leurs contributions à la couverture des besoins humains. Ceci permettra d'explorer les défis et les opportunités d'une meilleure intégration de l'élevage dans la bioéconomie. En effet, l'élevage par son utilisation des sols, ses consommations de Matières Premières Végétales (MPV) et ses déjections est un facteur majeur d'équilibre ou de perturbation des cycles biogéochimiques, des services écosystémiques et de la biodiversité. Il a un rôle majeur dans l'utilisation, la transformation et la fourniture de bioressources.

Plus spécifiquement, nous abordons l'amélioration de l'efficacité productive en favorisant la fermeture des cycles de nutriments, la valorisation de MPV non consommable par l'Homme, le recyclage de coproduits, et la valorisation des effluents. Pour organiser les synergies territoriales entre bioressources végétale et animale il est en effet nécessaire de mieux connaître la nature et l'importance des flux de bioressources mobilisés et générés par l'élevage, leur variation spatiale et temporelle à différent niveau d'organisation (de l'animal au territoire national).

## 2. L'élevage et l'utilisation de surface agricole

Selon Steinfeld *et al.* (2006), le cheptel mondial utilise directement ou indirectement 70 % des terres agricoles. Le cheptel français utilise directement (pâturages et fourrages) ou indirectement (concentrés) environ 55 % de la SAU, avec 12,5 M ha de prairies (3,2 M ha de prairies temporaires et 9,3 M ha

de prairies permanentes), 1,5 M ha de fourrages issus de plantes annuelles et 1,5 M ha de céréales (Agreste, 2018). Toutefois l'estimation précise des surfaces mobilisées est difficile car elle nécessite de prendre également en compte la contribution des coproduits utilisés en alimentation animale et des matières premières végétales importées. Ceci pose la question de l'allocation des surfaces utilisées pour une même culture qui produit différents coproduits. Par exemple, le tournesol produira de l'huile destinée à la consommation humaine ou à la production de carburant et des tourteaux destinés à l'alimentation animale. Cette comptabilité est réalisée dans les approches d'analyse de cycle de vie qui permettent de calculer l'occupation de surface agricole associée aux différents produits animaux. En combinant ces valeurs avec les statistiques de production on peut alors estimer l'occupation de la SAU associée aux différentes filières animales en France. L'utilisation totale de surface calculée de cette manière (52 % de la SAU) est voisine de la valeur de 55 % rapportée ci-dessus (Agreste, 2018). Les productions bovines contribuent ainsi directement et indirectement à 82,4 % de l'occupation de surface par les productions animales, dont 43,2 % pour la production de viande issue du troupeau allaitant, 13,3 % pour la production de viande issue du troupeau laitier, 23,7 % pour la production de lait et 2,2 % pour la production de veaux de boucherie. Les productions d'agneau, de porc, de volailles et d'œufs contribuent à respectivement 3,7, 5,6, 6,1 et 1,9 % de l'occupation de surface par les animaux (d'après Agribalysse, ADEME, 2014).

Billen *et al.* (2014) estiment que plus de 70 % des matières azotées des cultures agricoles mondiales sont destinées à l'alimentation animale ; pourcentage qui atteint 80 % pour l'Europe selon Sutton *et al.* (2011). Cette consommation d'azote pour les productions animales est à l'origine d'importants échanges internationaux. Même si l'élevage valorise en grande partie des ressources non consommables par l'Homme comme les pâturages, les fourrages conservés, les coproduits ou sous-produits, il peut aussi rentrer en concurrence avec l'alimentation humaine.

La forte contribution des ruminants à l'occupation de surfaces est principalement liée à l'utilisation des prairies qui représentent à l'échelle nationale environ 45 % de la SAU. À l'échelle des parcelles les prairies sont le support d'une biodiversité floristique et faunistique qui peut être favorisée par des conduites spécifiques de fauche et de pâturage (Dumont *et al.*, 2016). Les prairies augmentent également la diversité des paysages agricoles et de ce fait influencent positivement la biodiversité à l'échelle des territoires (Dumont *et al.*, 2016). Plus généralement, les systèmes d'élevage contribuent également à accroître la diversité des assolements dans les exploitations et dans certaines régions à préserver le bocage (Dourmad *et al.*, 2017). Les prairies contribuent aussi à l'atténuation du changement climatique par la fixation de carbone. En Europe la séquestration de carbone des prairies permanentes est estimée à 500 à 1 200 kg C/ha/an (Soussana et Lüscher, 2007 ; Dollé *et al.*, 2013).

### 3. Les flux de bioressources associés ou générés par l'élevage

Dans les exploitations de poly-culture-élevage les nutriments s'insèrent dans des cycles qui associent les pôles végétal et animal (figure 2 ; Petersen *et al.*, 2007 ; Bonaudo *et al.*, 2014). Les échanges entre ces deux pôles sont assurés par l'utilisation de cultures, de pâturages et de parcours pour l'alimentation des animaux et le

recyclage de leurs déjections comme fertilisants. Les aliments et les déjections peuvent être stockés avant d'être utilisés ou directement prélevés et épandus par les animaux au pâturage. L'élevage joue un rôle important dans le maintien de la fertilité des terres agricoles, surtout en l'absence de fertilisation minérale, l'apport de matières organiques issues de l'élevage étant alors le principal fertilisant. Les déjections sont la deuxième source d'azote en France avec 1,82 Tg N/an (1 Tg =  $10^{12}$  g = 1 million de tonnes) juste derrière les 2,11 Tg N/an d'engrais (Peyraud *et al.*, 2012). Cet azote est essentiel au maintien de la fertilité des sols mais il est aussi à l'origine de pollutions diffuses.

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la spécialisation des exploitations et des territoires a conduit à la dissociation progressive des pôles végétal et animal. Les éleveurs font désormais appel à des intrants, principalement des aliments concentrés, mais aussi des médicaments, des engrais, des produits phytosanitaires et de l'énergie. Le corollaire de cette spécialisation est un excédent et une mauvaise valorisation des effluents dans les exploitations et territoires d'élevage et l'appauvrissement en matière organique des sols des exploitations et territoires céréaliers. La régionalisation des productions rend plus difficile les échanges d'effluents entre exploitations, alors que le développement de l'industrie de l'alimentation animale organise le transport des céréales, des oléo-protéagineux et des coproduits agroalimentaires sur de longues distances. Ce constat est particulièrement avéré pour les élevages

de monogastriques, les élevages de ruminants restant plus liés au sol par la production de fourrages et le pâturage, ce qui favorise une meilleure valorisation des effluents.

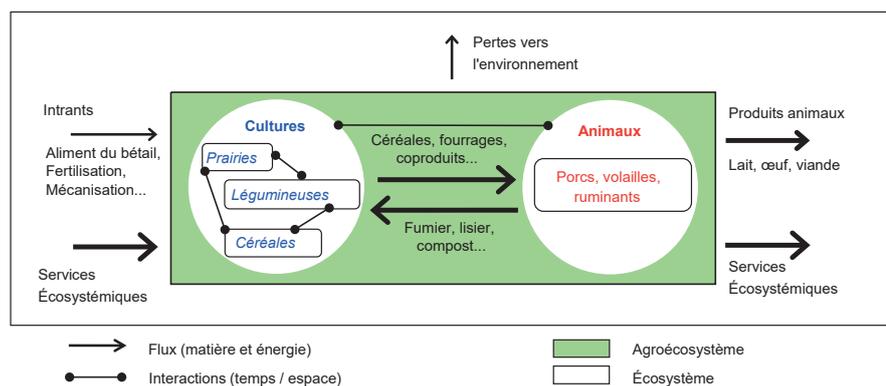
À l'échelle du système d'élevage, l'efficacité globale d'utilisation des nutriments dépend à la fois de l'efficacité des différents processus (élevage des animaux, gestion des effluents, rotation des cultures...) et de la cohérence globale du système ; cette dernière conditionne l'importance des intrants (aliment, engrais), les besoins en surface et les possibilités de recyclage des éléments. Un système peu efficace à l'échelle de l'animal (rétention faible) peut être efficace à l'échelle globale lorsque les effluents sont bien valorisés et que les pertes vers l'environnement sont faibles. À l'inverse des animaux efficaces ne suffisent pas à garantir l'efficacité à l'échelle du système si les nutriments sont mal recyclés du fait de pertes importantes par volatilisation ou épandus en excès sur les cultures.

#### ■ 3.1. Utilisation de l'azote, du phosphore et du carbone par les animaux

Le pourcentage de rétention azotée est très variable, de 10 à 55 % selon l'espèce animale (figure 3). La quantité d'azote excrété varie entre 45 et 90 % de l'azote ingéré. Toutefois, seule une fraction de l'azote excrété est réellement valorisable pour la fertilisation, compte tenu des émissions gazeuses dans le bâtiment, au stockage et à l'épandage. Dans le cas des vaches allaitantes conduites à l'herbe et dans une moindre mesure dans le cas des vaches laitières, les émissions gazeuses sont relativement faibles, une part importante des déjections étant excrétée au pâturage avec peu de pertes gazeuses. À l'inverse, dans le cas des volailles et des porcs élevés sur litières les pertes gazeuses sont plus importantes. Les porcs élevés sur caillebotis avec production de lisier se trouvent en situation intermédiaire.

La réduction des émissions gazeuses dans les différents systèmes d'élevage constitue un objectif prioritaire dans la mesure où une part de ces émissions

Figure 2. Représentation des flux de nutriments dans une exploitation d'élevage (d'après Bonaudo *et al.*, 2014).



se fait sous des formes polluantes ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  et  $\text{NO}_x$ ) et que ces émissions doivent être compensées à l'échelle du système par des apports exogènes d'azote (engrais minéraux, fixation symbiotique). Par ailleurs, la volatilisation totale de composés azotés et leur forme peuvent fortement varier selon le mode de gestion des effluents. Elle dépasse ainsi 60 % de l'azote excrété pour les modes de gestion solides (fumier, compost) et avec traitement aérobique. Le mode de gestion des effluents associant collecte de lisier frais, couverture des fosses et injection de lisier est celui qui permet le mieux de recycler l'azote (25 % d'émission gazeuses et 75 % de recyclage) (Bonneau *et al.*, 2008). Une fois épandu, la partie de l'azote des effluents, à l'instar de l'azote des engrais minéraux, peut être lessivée dans des proportions qui dépendent de l'équilibre entre les apports et les besoins des plantes, ce qui affecte également l'efficacité du recyclage réel (Peyraud *et al.*, 2012).

L'efficacité de rétention du phosphore par les animaux est la plus élevée pour le poulet standard, suivi du porc, du poulet label rouge et de la vache laitière (figure 3) ; les poules pondeuses et les vaches allaitantes présentant les efficacités les plus faibles. La quantité de phosphore recyclable représente entre 85 et 48 % du phosphore ingéré. Compte tenu de l'absence de volatilisation, elle est peu sensible aux modalités d'élevage et de gestion des effluents.

Pour toutes les espèces, le carbone retenu représente une faible fraction

de l'ingéré (10 à 20 %). Les émissions gazeuses constituent de loin le flux le plus important (figure 3). Il s'agit principalement du  $\text{CO}_2$  émis lors de la respiration et dans une moindre mesure du  $\text{CH}_4$  entérique (surtout chez les ruminants) ou émis pendant le stockage des effluents. Le carbone excrété, qui correspond à la fraction non digestible de l'aliment, se retrouve principalement dans les fèces. Cette part est faible pour les animaux monogastriques qui reçoivent des aliments dont la digestibilité de la matière organique est élevée. Toutefois elle peut varier significativement selon la nature du régime, en particulier chez les ruminants et chez le porc. À titre d'exemple, un enrichissement même modéré en fibres du régime d'un porc à l'engrais peut s'accompagner d'une augmentation de plus de 50 % de l'excrétion de matière organique (Jarret *et al.*, 2011) accroissant ainsi largement le potentiel de production de  $\text{CH}_4$ .

### ■ 3.2. Les bioressources pour l'alimentation des animaux

#### a. Flux de matières premières

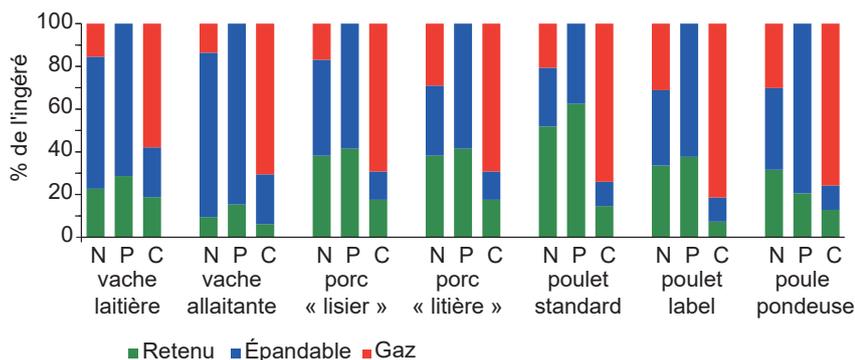
La consommation totale d'aliments par les animaux élevés en France s'élève à 113 Millions de tonnes (Mt) en 2015 ; c'est le flux de bioressources le plus important à l'échelle nationale. Avec environ 70 % du total, les fourrages représentent la part principale de ces aliments, suivis des aliments produits par l'industrie de fabrication d'aliments du bétail (FAB) (19 %) et des matières premières utilisées à la ferme (FAF) (11 %) (Agreste, 2018). Les céréales et leurs coproduits (utilisés en

FAB et FAF) constituent la part principale des aliments concentrés. Sur les 53,8 Mt de céréales produites en France (hors riz et maïs ensilage), 37,8 Mt sont exportées sous la forme de grains ou de produits transformés, 5,7 Mt sont utilisées en alimentation humaine après transformation et 16,7 Mt sont utilisées en alimentation animale, soit directement à la ferme (6,9 Mt) soit dans les aliments concentrés (9,3 Mt) sous forme de grains ou de coproduits. L'alimentation animale utilise trois fois plus de céréales que la consommation humaine, soit l'équivalent de 31 % de la production nationale, pour partie sous forme de coproduits.

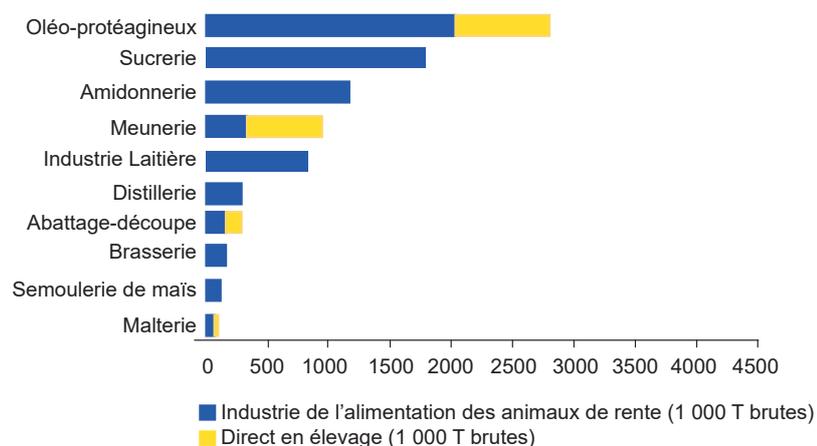
La composition et la destination des aliments issus de la FAB sont bien connues (Agreste, 2018) alors que celles des fourrages est des aliments FAF le sont moins. Les aliments FAB sont consommés principalement par les volailles (42 %), les bovins (26 %) et les porcs (24 %). Ils contiennent en moyenne 48 % de céréales, principalement du blé et du maïs, 42 % de coproduits et 1,5 % de protéagineux. Parmi les coproduits, les tourteaux d'oléo-protéagineux sont les plus importants (32 % de tourteau de soja, 21 % de tourteau de colza et 15 % de tourteau de tournesol), suivi des coproduits de transformation des céréales (26 % de sons, remoulages, drèches, solubles...) (Agreste, 2018).

L'utilisation du tourteau de soja (protéagineux) est en baisse (3,5 Mt en 2015, - 19 % en dix ans). Il est remplacé par du tourteau d'oléagineux comme le tourteau de colza (2,7 Mt en 2015, + 75 % en dix ans) et de tournesol (1,5 Mt en 2015, + 115 % en dix ans). Les autres protéagineux (hors soja) ayant actuellement une contribution négligeable alors que dans les années 90 on en utilisait environ 2 Mt en alimentation animale en France, en particulier du pois, de la féverole et du lupin (Marouby, 2016). L'accroissement de l'utilisation de tourteau de colza a été largement favorisé par le développement de la production de biocarburants. Par ailleurs le recours aux acides-aminés produits par les bio-industries a également beaucoup contribué à la réduction de la teneur en protéines des rations, et au remplacement d'une partie du tourteau de soja

**Figure 3. Efficacité d'utilisation de l'azote (N), du phosphore (P) et du carbone (C) par différentes espèces et productions animales (d'après Corpen 1999, 2001 ; Faverdin *et al.*, 2006 ; Giovanni *et al.*, 2008 ; Rigolot *et al.*, 2008 ; ITAVI, 2013 ; Dourmad *et al.*, 2016).**



**Figure 4. Contribution de l'alimentation animale à la valorisation des coproduits de différentes bioindustries (Reseda, 2017).**



par des céréales et des acides aminés, en particulier pour le porc.

La majorité des coproduits sont valorisés sous forme sèche et pour la plupart en FAB. Il existe toutefois une part des coproduits qui est valorisée directement sous forme humide à proximité et en partenariat avec l'industrie agroalimentaire. Les coproduits utilisés directement en élevage proviennent principalement des industries de la

sucrierie, des oléagineux, de la brasserie et de l'industrie laitière (figure 4).

Le taux de couverture national des besoins en matières premières riches en protéines (tourteaux, protéagineux, drèches) pour l'alimentation animale s'élève environ à 55 % (Marouby, 2016). Cette valeur est supérieure à la moyenne de l'UE dont le taux de couverture est de seulement 30 %. En moyenne les incorporations de tourteaux importés, y compris sous forme de graines oléagineuses,

représentent en quantité environ 11 % des aliments concentrés, hors fourrage. Cette valeur est aussi plus faible que pour la moyenne de l'UE estimée à 18 % (d'après Dumont *et al.*, 2016).

#### b. Flux de matières azotées

À l'échelle nationale, le cheptel (ruminants et monogastriques) consomme d'importantes quantités de protéines (tableau 1). Il s'agit principalement de fourrages (7,91 Mt de MAT), suivis par des tourteaux (3,31 Mt de MAT), des céréales (1,80 Mt de MAT), des coproduits (0,52 Mt de MAT) et des oléo-protéagineux (0,22 Mt de MAT). Les ruminants sont les plus gros consommateurs de protéines (100 % des fourrages et plus de 49 % des concentrés). Ils consomment 54 % des tourteaux et valorisent fortement les coproduits (75 % des coproduits). Les monogastriques consomment deux fois plus de céréales que les ruminants (67 % des céréales), peu de coproduits et presque autant de tourteaux que les ruminants.

Si on compare cette consommation à l'offre nationale de Matières Premières Végétales (MPV) disponibles pour l'alimentation animale, la France

**Tableau 1. Bilan annuel moyen d'utilisation des matières premières végétales (MPV), en millions de tonnes de protéines (Mt MAT), pour l'ensemble du cheptel métropolitain (ruminants et monogastriques). (Moyenne des années 2010-2011-2012, d'après Therond *et al.*, 2017).**

Flux en Mt MAT	Concentrés					Fourrages <sup>f</sup>	Total Aliments
	Céréales <sup>b</sup>	Oléo-protéagineux <sup>c</sup>	Tourteaux <sup>d</sup>	Coproduits <sup>e</sup>	Total concentrés		
Disponibilité de MPV <sup>a</sup> pour l'alimentation animale	1,910	0,164	0,699	0,628	3,401	8,255	11,656
Consommation totale de MPV	1,805	0,226	3,312	0,527	5,870	7,916	13,786
<i>Par les monogastriques</i>	1,214	0,115	1,528	0,129	2,986	0	2,986
<i>Par les ruminants</i>	0,591	0,111	1,784	0,398	2,884	7,916	10,800
Bilan : Disponibilité – Consommation	0,105	- 0,062	- 2,613	0,101	- 2,471	0,339	- 2,132

<sup>a</sup> MPV : Matière Première Végétale ;

<sup>b</sup> blé, orge, triticale, maïs grain, seigle, avoine, sorgho, mélanges et autres céréales ;

<sup>c</sup> colza, tournesol, soja, lin, pois, fèves et féveroles, lupin ;

<sup>d</sup> colza, tournesol, soja ;

<sup>e</sup> pulpes de betterave, mélasse de betterave, issues de meunerie, luzerne déshydratée, corn gluten feed, gluten 60 ;

<sup>f</sup> maïs fourrage, autres fourrages annuels, prairies permanentes et prairies temporaires.

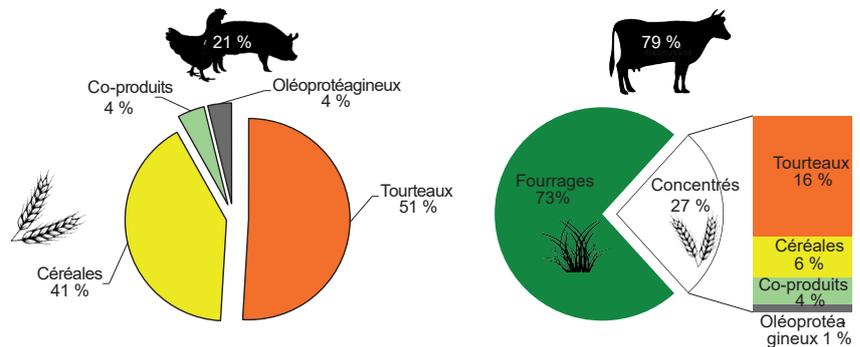
est excédentaire pour les fourrages (104 % d'autonomie), les céréales (106 % d'autonomie) et les coproduits (119 % d'autonomie). Elle est déficitaire en tourteaux (seulement 21 % d'autonomie) et en oléo-protéagineux (72 % d'autonomie). Ces deux dernières catégories de MPV sont importées pour combler le déficit en protéines. Ceci correspond à une importation de l'équivalent de 45 % des protéines des aliments concentrés (tableau 1). Si l'on tient compte de l'ensemble des sources de protéines, y compris les fourrages, le bilan est beaucoup moins déficitaire avec une autonomie protéique nationale pour l'alimentation des animaux de 81 % (Jouven *et al.*, 2018).

La consommation totale de MPV s'élève à 13,8 Mt de MAT (figure 5). Les fourrages représentent 58 % de cette consommation et les concentrés 42 %. Les deux principaux concentrés consommés sont les tourteaux (24 %) et les céréales (13 %). Les coproduits représentent 4 % de la consommation de MAT. Les ruminants, du fait de leur nombre important, consomment 79 % de la totalité de la MAT des MPV contre 21 % pour les monogastriques. Les ruminants consomment majoritairement des MAT issues des fourrages (73 %) suivis des tourteaux (16 %), des céréales (6 %), des coproduits (4 %), des oléo-protéagineux (1 %). Les monogastriques consomment principalement des protéines issues des tourteaux (51 %) et des céréales (41 %), suivi de coproduits (4 %) et d'oléo-protéagineux (4 %).

### c. Importance de la diversité régionale

Dans le cadre de la bioéconomie circulaire il est également important de prendre en compte les interactions entre élevages et cultures à des échelles plus fines que l'échelle nationale, puisque les complémentarités entre les différentes activités se construisent plus facilement lorsqu'elles se trouvent à proximité et elles nécessitent moins de transports. Ce travail a été réalisé à l'échelle des petites régions agricoles (PRA) françaises, où l'élevage est significativement présent, dans le cadre de l'étude INRA « EFESÉ-Écosystèmes Agricoles » (Jouven *et al.*, 2018). L'analyse de la variabilité entre PRA réalisée dans

**Figure 5. Répartition de la consommation de matières azotées par les ruminants et les monogastriques et contribution des différentes sources de matières premières végétales (d'après Therond *et al.*, 2017).**



cette étude indique de fortes disparités spatiales dans la capacité des PRA à nourrir les animaux qu'ils hébergent. Ainsi 18 % des PRA présentent une très faible (< 70 %) ou une faible autonomie (70 et 90 %), 35 % présentent un très fort excédent (> 130 % d'autonomie) et 47 % ont un niveau d'autonomie proche de 100 % ou modérément excédentaire (Jouven *et al.*, 2018).

Les PRA à autonomie faible et très faible sont concentrées au cœur des bassins de production animale :

i) dans la zone intensive du Grand-Ouest (Bretagne, Pays de Loire et Nord-Ouest du Poitou) où se combine élevage de vaches laitières hautes productrices et de monogastriques. Les surfaces cultivées le sont essentiellement pour l'alimentation des animaux. En Bretagne par exemple elles sont dominées par les céréales et oléo-protéagineux (35 %), le maïs fourrage (19%) et les prairies temporaires (31 %) (Dourmad *et al.*, 2017). Dans cette région, avec le plus faible niveau d'autonomie à l'échelle nationale, le déficit en MPV premières pour l'alimentation animale était estimé à 5,6 millions de tonnes en 2013 soit un peu plus l'équivalent de la totalité de la production régionale de MPV qui s'élevait à 5 millions de tonnes (cité par Dourmad *et al.*, 2017). Les céréales représentent la part principale de ce déficit (40 %), suivi du tourteau de soja (18 %), du tourteau de colza (14 %), des coproduits (10 %) et du tourteau de tournesol (7 %). Les matières premières végétales « importées » correspondent à une SAU d'environ 670 000 ha, soit l'équivalent de 40 % de la SAU régionale. On estime

qu'environ 37 % de ces importations correspondent à des cultures situées en dehors de l'UE (principalement du soja au Brésil et en l'Argentine et du tournesol dans la région de la Mer Noire) ;

ii) dans les montagnes humides du Massif central et le piémont intensif avec d'importantes surfaces en prairies permanentes et une orientation lait-viande ;

iii) dans les montagnes laitières (Vosges, Franche Comté, Alpes) ainsi que dans le Nord-Pas de Calais et la zone pastorale méditerranéenne.

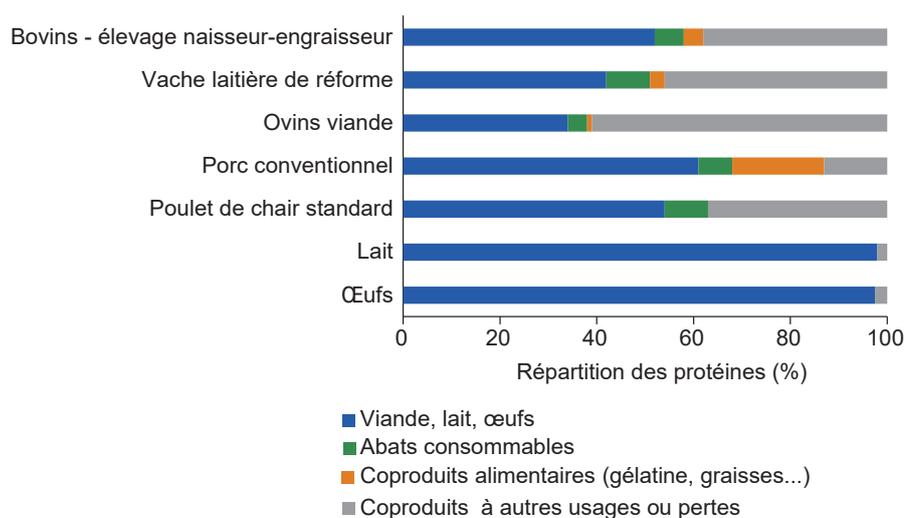
Les PRA autonomes sont localisées dans les zones herbagères productives du Nord-Ouest et du Nord Est à dominante laitière (Basse Normandie, Lorraine) et sur la bordure Nord et Ouest du Massif central à dominante allaitante.

Les PRA très excédentaires sont localisées dans les zones polyculture-élevages du bassin aquitain et en bordure du bassin parisien. Les cultures y sont dominantes et l'élevage est en forte régression. On pourrait y adjoindre les PRA céréalières qui représentent environ 15 % des PRA non prise en compte dans cette étude.

### ■ 3.3. Les flux vers l'alimentation humaine

Dans le cadre de la bioéconomie, l'élevage est considéré comme une « bioactivité » ou une « bioindustrie » permettant de transformer des bio-sources végétales, consommables ou non par l'Homme, en aliments à haute

**Figure 6.** Répartition des protéines corporelles des animaux, ou de leurs produits, entre les parties consommables ou non (d'après Laisse et al., 2017).



valeur nutritionnelle pour l'Homme, en particulier des protéines très digestibles et bien équilibrées en acides aminés, des minéraux, des oligoéléments et des vitamines. Toutefois, seule une part des animaux ou de leurs productions est consommable par l'Homme, de sorte que des coproduits animaux sont également générés (figure 6, Laisse et al., 2017). Pour le lait et les œufs la part des protéines consommables est voisine de 100 % alors qu'elle est plus faible et très variable selon les espèces pour la production de viande, avec des valeurs extrêmes variant au niveau de l'animal entre 39 % pour les ovins et 87 % pour le porc.

Selon les résultats de la dernière étude de l'Anses (2017), l'ensemble des produits animaux (produits laitiers et viandes, poissons, œufs) contribuent à environ 60 % des apports protéiques des français, quel que soit l'âge, avec une contribution décroissante des produits laitiers avec l'âge (figure 7). La contribution des produits animaux aux apports lipidiques est plus faible que pour les protéines et s'élève à environ 40 %, avec comme pour les protéines une part des produits laitiers qui diminue avec l'âge. La contribution des produits animaux aux Apports Énergétiques Totaux (AET), 21 % en moyenne, est plus faible que pour les protéines et les lipides. Ceci s'explique par le fait que 46 % des AET sont assurés par les glucides d'origines végétales (amidon et sucre) qui sont absents des produits animaux. Chez les enfants, les produits laitiers sont

les premiers contributeurs des apports en calcium (58 %) et en iode (44 %) ainsi qu'en vitamine D (63 %). Depuis quelques années, on observe en France comme en Europe une réduction de la consommation de produits animaux, en particulier celle de viande bovine et ovine et dans une moindre mesure celle de porc et de produits laitiers alors que la consommation de viande de volailles et de produits de la mer s'accroît.

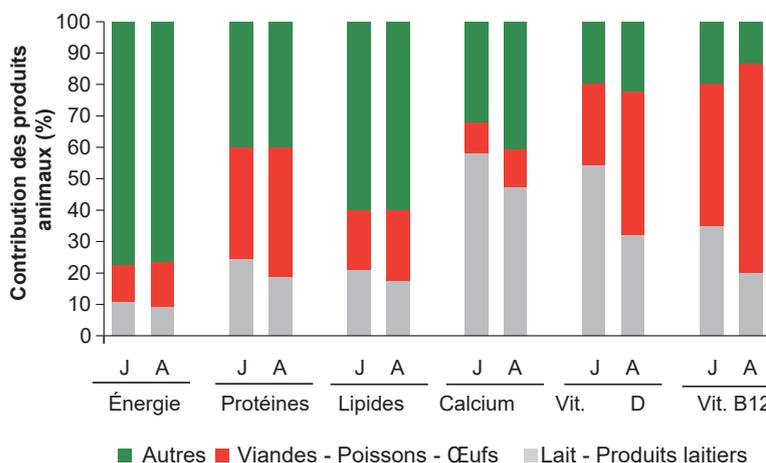
### ■ 3.4. Les flux d'effluents

La quasi-totalité des effluents produits par les animaux sont utilisés pour la fertilisation des sols, soit directement lorsque les animaux sont élevés au pâturage soit après un stockage sous

forme liquide (lisier) ou solide (fumier, fientes). Les effluents sont en majorité épandus comme fertilisant sur les terres de l'exploitation ou dans des exploitations voisines, dans le cadre d'un plan d'épandage. En moyenne à l'échelle nationale les effluents d'élevages représentent un peu plus de 1/3 des apports totaux azotés et la moitié des apports en phosphore. Leur contribution est cependant très dépendante de la densité animale (Peyraud et al., 2012). Avec en moyenne 130 kg N/ha SAU, elle est la plus élevée en Bretagne où les effluents d'élevage contribuent à environ 75 % des apports totaux azotés (Dourmad et al., 2017). Malgré des apports faibles par ha (< 50 kg/ha) les effluents d'élevages ont également une contribution majoritaire aux apports d'azote dans les zones extensives d'élevage où les apports de d'azote minéral sont quasi nuls. Leur contribution est par contre très faible dans les zones céréalières.

Toutefois, dans les zones à forte densité animale les possibilités d'épandages des effluents sont parfois inférieures aux quantités produites. Les effluents subissent alors différents traitements visant le plus souvent à réduire leur charge en azote ou en phosphore et à produire des fractions mieux maîtrisables (séparation de phase, digestats), hygiénisées (composts, effluents séchés), désodorisées (composts, digestats) ou plus facilement transportables (composts, effluents solides ou séchés). Les principaux traitements réalisés

**Figure 7.** Contribution des produits animaux aux apports moyens d'énergie, de protéines, de lipides, de calcium et de vitamines D et B12, chez les jeunes (J < 18 ans) et les adultes (A) (d'après Anses, 2017).



concernent la séparation de phase et l'épuration biologique par digestion aérobie pour les lisiers, le compostage pour les fumiers (éventuellement pour les lisiers en ajoutant de la paille ou d'autres produits végétaux), la digestion anaérobie majoritairement pour les lisiers mais possible également pour les fumiers. La digestion aérobie et le compostage entraînent des pertes d'azote, qui même si elles se font majoritairement sous forme non polluante ( $N_2$ ), constituent des pertes à l'échelle du système. Un peu plus de 2 millions de  $m^3$  de lisier de porcs sont ainsi traités en Bretagne, surtout par digestion aérobie, pour un abattement d'environ 5 600 tonnes d'azote (Levasseur et Lemaire, 2006) ce qui correspond à près de 10 % de l'azote des effluents porcins. La production d'engrais organiques transportables sur de longues distances permet aussi de réduire la pression en azote et en phosphore sur des zones à forte concentration d'élevage et de trouver de nouvelles complémentarités entre exploitations porcines ou avicoles et d'autres exploitations (céréalières, maraîchères...), tout en assurant un bon recyclage des éléments. Le traitement par méthanisation des effluents d'élevage, souvent en association avec d'autres substrats organiques d'origine végétale ou issus de l'industrie agro-alimentaire, peut aussi être utilisé pour produire de l'énergie (biogaz, électricité, chaleur). Cette voie est intéressante car elle permet de contribuer à la couverture des besoins énergétiques sans affecter la valeur fertilisante des effluents. Elle s'accompagne toutefois d'une réduction de la teneur en matière organique de l'effluent qui pourrait à terme entraîner des effets sur la teneur en matière organique des sols.

Les Instituts Techniques en collaboration avec l'ADEME ont développé un outil informatisé (Elba, 2018) qui permet d'estimer à l'échelle des régions, des départements ou des cantons, la bioressource agricole, d'origine végétale ou animale, potentiellement utilisable pour la production d'énergie par méthanisation. Pour les effluents d'élevage cette bioressource est calculée pour les différentes espèces animales en tenant compte des effectifs concernés, des modalités de collecte des effluents (lisier, fumier...) et

du temps de présence des animaux en bâtiments. La contribution de la paille ajoutée pour la constitution des litières est également prise en compte. Sur cette base les effluents d'élevage représentent environ 120 Millions de tonnes (Mt) de matière brute, 24,2 Mt de matière sèche et 19,4 Mt de matière organique. Les effluents liquides (lisier) représentent 30 % de la masse pondérale totale mais seulement 8 % de la matière organique. Au total le potentiel de production de méthane de la matière organique des effluents d'élevage correspondrait à 45 TWh d'énergie primaire (Elba, 2018) issue pour 76 % de la filière ruminants (bovins, ovins, caprin), 10 % de la filière équine, 9 % de la filière avicole et 5 % de la filière porcine. Ceci correspond à une valeur proche de la production hydroélectrique française qui s'élève à 54 TWh. Les régions du Grand-Ouest (Bretagne, Pays de Loire, Basse Normandie) contribuent à elles seules 34 % du potentiel total (figure 8). À titre de comparaison la biomasse végétale (pailles, menues pailles, rafles...) disponible (production techniquement récoltable moins usages actuels) s'élève à 6,6 Mt de matière sèche.

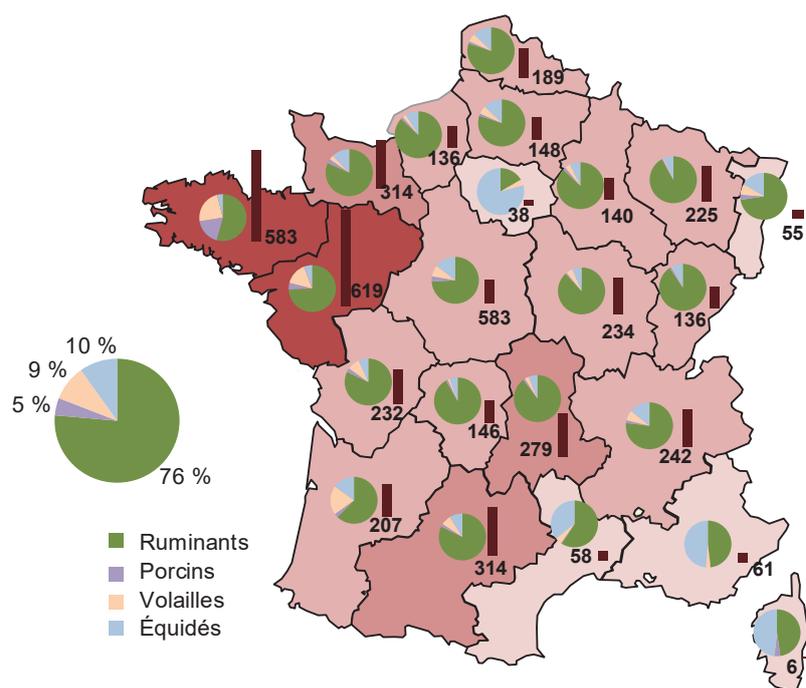
L'ADEME estime que seulement 2,4 Mt de matière brute d'effluents, principalement du lisier, étaient métha-

nisées en 2016, soit environ 2 % de la quantité totale disponible. Dans la même étude, 236 unités de méthanisation en service à la ferme et 31 unités centralisées ont été recensées en France au 1<sup>er</sup> janvier 2016, pour une puissance électrique installée de 78 MW équivalente. Cette situation contraste avec celle de l'Allemagne où l'on comptait 9 300 unités de biogaz pour une puissance électrique installée de 4 500 MW équivalente fin 2016 (Fachverband Biogas, 2017).

Les perspectives de développement de la méthanisation des effluents d'élevages pour la production de gaz ou d'électricité sont donc très importantes. L'ADEME (2016) prévoit une mobilisation de 30 % des effluents d'élevage à l'horizon 2030 et 50 % à l'horizon 2050. Avec les technologies actuelles l'IFIP (in ADEME, 2016) considère qu'il serait possible de mobiliser 30 % des lisiers de porc à horizon 2030 et 80 % à horizon 2050. Une mobilisation de 25-30 % est également envisagée pour les effluents bovins par l'IDELE à horizon 2030, mais de nouvelles technologies seront nécessaires pour aller au-delà.

Malgré un pouvoir méthanogène relativement limité les effluents d'élevage par leur quantité et disponibilité

**Figure 8. Répartition du potentiel de production de biométhane (barres verticales, millions  $Nm^3 CH_4$ ) des effluents d'élevages selon les régions et les espèces animales (d'après Elba, 2018).**



s'avèrent être des bioressources particulièrement intéressantes pour la méthanisation. Ils apportent aussi l'ensemble des nutriments et micronutriments nécessaires au développement des micro-organismes responsables de la digestion anaérobie ; du fait de leur fort pouvoir tampon ils permettent de stabiliser le pH du digesteur, ce qui est un atout majeur de stabilité du procédé (Béline *et al.*, 2010 ; Weiland, 2013). Toutefois pour accroître l'efficacité des digesteurs, les effluents d'élevage sont souvent associés à d'autres bioressources, en particulier de la biomasse végétale et des coproduits issus de l'industrie agroalimentaire. Un travail d'inventaire similaire à celui réalisé pour la bioressource agricole est en cours pour les résidus et coproduits organiques des agro-industries ([www.valormap.fr/](http://www.valormap.fr/)).

### ■ 3.5. Les coproduits animaux issus de l'agro-industrie

Il existe de nombreux coproduits et sous-produits animaux non-consommables par l'Homme. Une large partie de ces bioressources est tout de même valorisée (figure 9). Chaque sous-produit animal a des usages différents en fonction du risque sanitaire qu'il peut représenter. On distingue trois catégories de produits :

i) la Catégorie 1 est destinée à la destruction, elle concerne les sous-produits suspects de maladies transmissibles à l'homme ou aux animaux ou pouvant contenir des contaminants dangereux ;

ii) la Catégorie 2 est interdite en alimentation animale. Elle est constituée de sous-produits animaux issus d'un animal mort en dehors d'un abattoir, ou contenant des résidus de médicaments ;

iii) la Catégorie 3 est valorisable en alimentation animale, en particulier pour l'alimentation des animaux familiers et des poissons. Elle comporte des sous-produits issus d'animaux sains abattus en abattoirs et déclarés propres à la consommation humaine.

Les coproduits animaux sont transformés dans des unités de production dédiées en fonction de leur catégorie et leur valorisation potentielle, en Protéines Animales Transformées (PAT) et graisses (SIFCO, 2010). Les graisses et PAT de catégorie 1-2 sont majoritairement brûlées et produisent de l'énergie et une autre partie sert de fertilisant. Pour la catégorie 3, les graisses sont valorisées pour 55 % en savonnerie et oléo chimie et pour 40 % elles intègrent les aliments pour animaux familiers et l'aliment du bétail. Les PAT sont valorisés à 80 % dans les aliments pour animaux familiers et les aliments pour les poissons.

La diversité des utilisations des bioproduits issus des animaux est en fait très grande et concerne de nombreux secteurs d'activités. Meindertsma (2007) a ainsi identifié près de 200 utilisations différentes. Les bioproduits animaux sont ainsi utilisés dans l'industrie pharmaceutique, l'habillement, la cosmétique, la joaillerie, la production de détergents, la décoration et le matériel d'art, les transports, la production d'énergie, de fertilisant, etc.

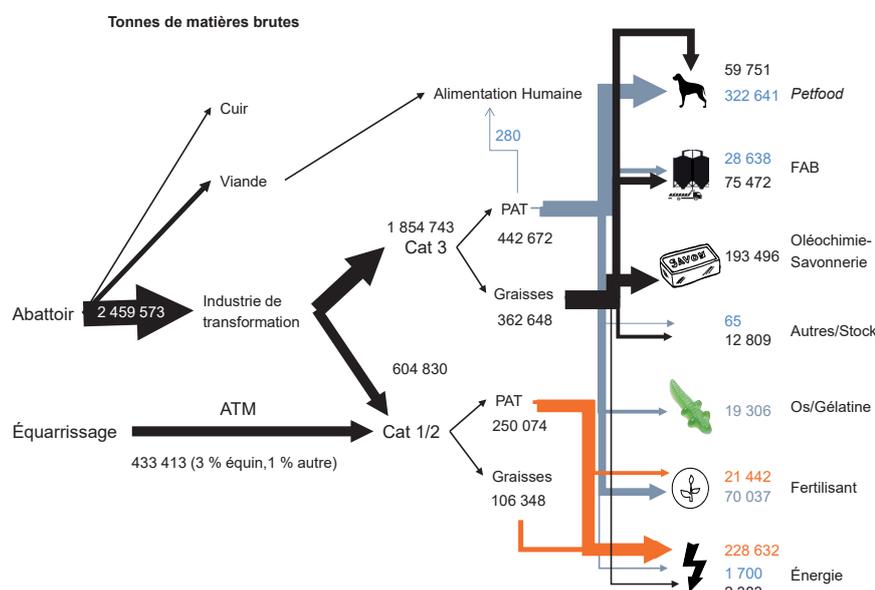
## 4. Un exemple de bioéconomie circulaire dans un territoire à forte empreinte animale

Après avoir décrit les différents flux de bioressources utilisées et générées par les activités d'élevage (bioéconomie), nous allons illustrer comment des systèmes peuvent être conçus dans l'objectif de mettre ces flux en relation les uns avec les autres, pour accroître l'efficacité globale, en réduisant les pertes dans l'environnement. Ce processus relève de la bioéconomie circulaire, associant la bioéconomie au concept d'économie circulaire, dans une perspective de bouclage des cycles.

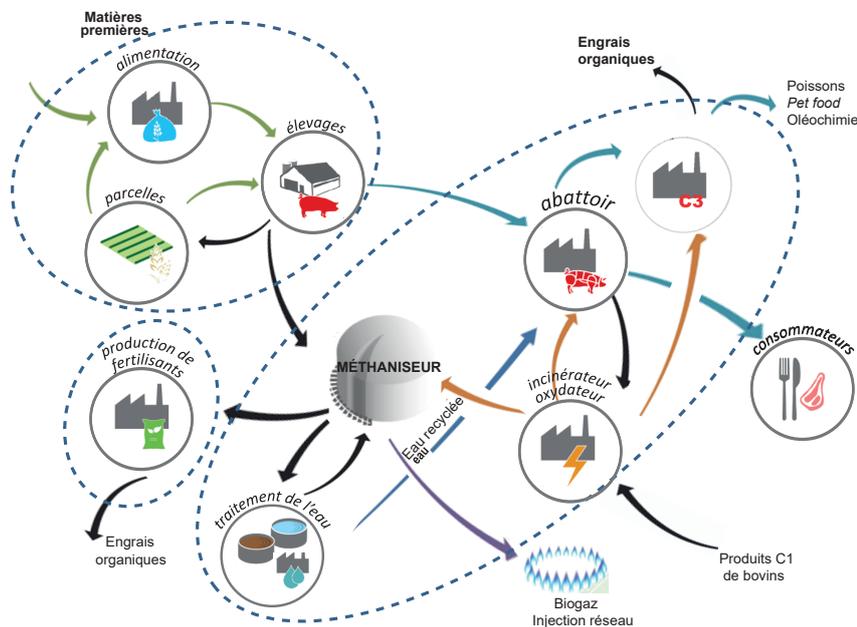
Nous proposons de l'illustrer par une étude de cas la stratégie de bioéconomie circulaire adoptée par une coopérative porcine de l'Ouest de la France (Cooperl Arc Atlantique). Celle-ci associe sur un même site des activités de production de chaleur, de production de biogaz, d'abattage et de découpe de porc, de traitement et de recyclage de l'eau, de traitement d'effluents et de production d'engrais organiques (figure 10).

Le site où sont implantés la majorité des activités est à l'origine un site d'abattage et de découpe de porcs. Différents équipements y ont été implantés progressivement afin d'assurer une production renouvelable d'énergie thermique, le traitement et le recyclage de l'eau, la valorisation des coproduits animaux, la production de fertilisants organiques et à court terme la production de biogaz (Convers *et al.*, 2018).

Figure 9. Flux de sous-produits animaux et leur valorisation (France, tonnes de matières brutes, d'après SIFCO, 2010).



**Figure 10.** Exemple de bioéconomie circulaire dans un territoire à forte empreinte animale. Configuration bioindustrielle associant sur un même site des activités de production de chaleur, de production de biogaz, d'abattage et de découpe de porcs, de traitement et de recyclage de l'eau, de traitement d'effluents et de coproduits animaux et de production d'engrais organique (d'après Crespel-Darcet, 2016 ; Convers et al., 2018).



Le site produit 80 % de l'énergie thermique utilisée, en incinérant des déchets, principalement des sous-produits animaux de catégorie 1 et 2 provenant d'unités d'équarrissage extérieures et différents déchets organiques produits sur le site. La chaleur ainsi générée est utilisée successivement dans les différents processus d'abattage, de découpe et de transformation des viandes destinées à l'alimentation humaine. La chaleur est ensuite utilisée pour le traitement des coproduits animaux et la production de PAT et de graisses destinées principalement à l'alimentation des animaux de compagnie et des poissons ainsi qu'à l'oléochimie. La chaleur restante est ensuite utilisée pour le séchage des boues puis le maintien de la température du digesteur de méthanisation.

L'unité de traitement et de recyclage de l'eau épure l'équivalent de 1,4 million de m<sup>3</sup> d'eau usée par an. Cela permet de recycler environ 60 % de l'eau utilisée sur le site. Les fractions solides issues de ce traitement sont valorisées principalement pour la production de biogaz, puis d'engrais.

Le dispositif de production de biogaz, en cours d'installation, est constitué de 2 digesteurs et d'un post-digesteur pour un volume total de 15 000 m<sup>3</sup>. Ils seront approvisionnés pour partie, à raison de 38 000 tonnes, par des solides obtenus par séparation de phase en ferme de déjections porcines à l'aide d'un système innovant de raclage en V. Ceci correspond à la production de 100 000 places d'engraissement (soit 300 000 porcs à l'engrais par an) dans une centaine d'élevages. Le reste de l'approvisionnement du digesteur (73 000 tonnes) proviendra des boues issues du prétraitement des eaux usées de l'abattoir. Après purification le bio méthane sera injecté dans le réseau de GrDF et fournira l'équivalent de 7 MW, soit l'équivalent de 75 % de la consommation de gaz de la ville de Lamballe (12 000 habitants).

La partie solide des digestats est centrifugée puis séchée et pour atteindre 85 % de matière sèche. Cette fraction est ensuite valorisée par une filière de production d'engrais organiques qui produit environ 80 000 tonnes de fertilisants sous forme granulée destinés à la viticulture, à

l'arboriculture, au maraîchage, au jardinage et espaces verts et aux grandes cultures. Ces fertilisants sont transportables sur de longues distances y compris à l'export pour environ 15 %.

L'ensemble du dispositif permet d'augmenter l'efficacité énergétique de l'ensemble de la filière de production de viande de porc en valorisant des déchets pour la production d'énergie thermique, en optimisant l'utilisation de la chaleur produite et son recyclage dans toute une série de processus industriels et en produisant du biogaz valorisé par les populations locales. Ce dispositif permet également un meilleur recyclage des éléments fertilisants et limite les émissions de gaz à effet de serre. Dans les élevages, la séparation de phase permet de récupérer dans la phase solide environ 55 % de l'azote excrété et 90 % du phosphore. Elle permet également de réduire les émissions d'ammoniac dans le bâtiment d'environ 30 % contribuant ainsi à une meilleure qualité de l'air pour les éleveurs et les animaux, une réduction des émissions vers l'atmosphère et un meilleur recyclage de l'azote. L'exportation de la fraction solide permet à l'éleveur de réduire la charge en N et surtout en P de son exploitation, lui permettant ainsi de mieux raisonner la fertilisation et d'être plus autonome pour son plan d'épandage. Enfin, les fertilisants produits remplacent des fertilisants minéraux, réduisant ainsi les coûts énergétiques de leur fabrication (ammonitrate), l'émission de GES et le recours à des ressources non renouvelables (énergie, phosphate minéraux).

## 5. Quels leviers d'action pour développer la bioéconomie circulaire

Il existe une diversité importante des territoires d'élevage en France. La répartition très hétérogène du cheptel, de sa composition (ruminants/monogastriques), de l'offre de MPV et de l'usage des sols de la SAU, ainsi que la localisation de l'industrie agroalimentaire amont et aval engendrent une variabilité spatiale importante des flux de bioressources liés à l'élevage. Cette

variabilité de densité animale s'accompagne d'échanges entre régions agricoles en particulier pour l'alimentation des animaux et dans une moindre mesure pour la valorisation des effluents d'élevage.

La concentration géographique des productions animales est observée dans la plupart des pays européens (Roguet *et al.*, 2015) et aussi dans le reste du monde. Elle est favorisée par les nombreux avantages économiques qui en résultent : gains de productivité, économies d'échelle et/ou d'agglomération, développement de compétences. Les normes et incitations environnementales (directive nitrate, Natura, 2000, Règlement communautaire de Développement Rural (RDR), conditionnalité des paiements du 1<sup>er</sup> pilier...) et les mesures du développement rural (soutiens spécifiques aux agricultures des zones défavorisées) sont des leviers qui peuvent atténuer cette concentration. Leur mise en place a contribué à freiner le développement de l'élevage dans les zones denses sans toutefois être efficace pour le développer dans les autres régions où l'élevage continue à régresser (Roguet *et al.*, 2015).

À partir des éléments exposés ci-dessus, à l'échelle nationale et au niveau des PRA, différentes stratégies de développement de bioéconomie circulaire pourraient être envisagées pour l'élevage :

*i)* Adapter le cheptel à la disponibilité locale de matières premières. Ceci implique une diminution des cheptels dans les zones très denses et leur redéploiement dans des zones excédentaires en céréales avec peu d'animaux (notamment de l'élevage de monogastriques). Cela nécessite aussi d'adapter la proportion de ruminants et monogastriques à la disponibilité de fourrage et concentré du territoire. Cette stratégie implique également, en plus de la relocalisation de l'élevage, une relocalisation tout au moins partielle de l'appareil amont et aval avec des implications importantes en termes d'emplois associés à l'élevage. Les travaux de Lang *et al.* (2015) indiquent qu'en moyenne pour l'élevage français, chaque emploi direct en élevage

contribue à 1,1 emplois indirects en filière bovin lait, 0,8 en bovin viande, 6,1 en porc, 1,9 en volaille de chair et 1,8 en filière œuf. La question de l'acceptabilité de l'élevage dans les zones céréalières où il a quasiment disparu se pose également.

*ii)* Adapter les rations en fonction de la disponibilité de MPV locale et nationale. Les ruminants et monogastriques sont de gros consommateurs de tourteaux importés, notamment de tourteau de soja (tableau 1). On peut envisager de favoriser la substitution de ces tourteaux importés par des fourrages ou des matières premières riches en protéines produites localement (colza, tournesol, pois, féverole...). Cette stratégie est également envisageable pour les élevages de monogastriques dans les zones de densité animale modérée. Cependant dans tous les cas cela pose la question de la concurrence entre activités pour l'accès aux surfaces arables. Ceci pourrait impliquer de réduire la production de céréales au profit des cultures plus riches en protéines ou alors d'envisager de nouveaux itinéraires techniques de production de céréales mieux adaptées à l'alimentation animale. Cette stratégie pourrait aussi favoriser la diversité d'assolement et par là, les services écosystémiques.

*iii)* Favoriser les échanges d'aliments et d'effluents entre PRA. Les échanges sont déjà très importants pour les MPV, notamment pour les concentrés (céréales, tourteaux, coproduits), qui sont transportés sur de longues distances. Ils existent également pour les effluents d'élevages mais de manière beaucoup moins développée. Il convient alors de rechercher des filières de gestion des effluents permettant de reboucler le cycle des nutriments présenté à la figure 2, tout en minimisant les fuites vers l'environnement. La question est de savoir quelle est l'échelle géographique la plus pertinente à la fois d'un point de vue biogéochimique et économique pour reboucler ces cycles (Dourmad *et al.*, 2010). Ceci est envisageable au niveau d'une exploitation seulement si l'on dispose de surfaces d'épandage suffisantes pour valoriser les effluents, ce qui n'est que rarement pour les élevages monogastriques. On peut aussi envisager d'associer plusieurs exploitations voisines

d'une même petite région agricole. L'intérêt de cette approche sur le plan économique et environnemental a été confirmé (Paillat *et al.*, 2009), mais sa mise en place nécessite des concertations entre éleveurs et citoyens pour en favoriser l'acceptabilité locale. La complémentarité entre exploitations d'élevage et exploitations céréalières peut aussi être recherchée à une échelle géographique plus large en produisant des engrais normalisés à partir d'effluents, comme illustré dans l'exemple ci-dessus (figure 10). Ceci nécessite de développer des technologies permettant de réduire le volume d'eau des effluents afin de pouvoir les transporter sur de longues distances. La désodorisation et l'hygiénisation de ces effluents sont également des aspects importants à considérer. Aujourd'hui de nouvelles avancées technologiques permettent de mieux gérer ces flux (méthanisation, compostage, séparation de phase...). La densité des acteurs sur le territoire, la présence ou non de filières agroalimentaires structurées sont aussi des éléments à prendre en compte. Les régions à forte densité animale doivent tirer avantage de la forte densité d'acteurs, de savoir-faire et d'infrastructures pour développer des stratégies de valorisation croisée. En ce sens la production d'énergie par méthanisation et la production d'engrais organiques sont des exemples intéressants. Il y a dans cette perspective des enjeux importants aussi bien en termes d'innovations technologiques qu'en termes d'innovation organisationnelles comme cela est illustré au paragraphe 4 (figure 10).

## Conclusion

L'élevage consomme, transforme et fournit de grandes quantités de bioressources dans tous les territoires français. La diversité des espèces animales, des pratiques et des bioressources consommées et produites par l'élevage est un atout pour la bioéconomie. Cependant, les flux existants et leurs déterminants doivent être mieux renseignés pour être pilotés. Pour appuyer le développement de la bioéconomie, la diversité des activités et des bioressources des territoires doit être prise en compte ainsi que les niveaux d'efficacité aux différentes échelles d'organisation.

L'élevage à l'échelle nationale paraît efficace et relativement autonome avec d'une part une consommation importante de fourrages, de coproduits et de concentrés non valorisables par l'Homme et d'autre part la fourniture de biens et services comme des produits animaux à haute valeur nutritionnelle et des effluents avec un fort potentiel fertilisant et de production d'énergie. Cependant à l'échelle des territoires, en fonction des densités animales et des systèmes de production, les situations sont très inégales. Il existe des marges de progrès pour mieux boucler les cycles, améliorer l'autonomie, économiser des intrants et diminuer les pertes vers l'environnement. Plusieurs stratégies peuvent être développées : un re-couplage de l'élevage et de l'agriculture de la ferme au territoire, des échanges de flux intra et inter-territoire entre zone d'élevage et de culture ou entre zone urbaine et rurale, un re-bouclage de flux à l'échelle des systèmes alimentaires.

Les stratégies de rebouclage des cycles, potentiellement très efficaces, présentent de nombreux verrouillages sociotechniques, organisationnels et économiques. On peut mentionner les ressources limitées des acteurs (main-d'œuvre, temps...), le manque de référence technique et de savoir-faire, les coûts logistique et d'investissement, les contraintes réglementaires, l'acceptabilité sociale, la difficile adéquation entre offre et demande du fait d'une grande diversité/hétérogénéité des flux dans le temps et l'espace. La dispersion des activités pose aussi des problèmes de

volume critique à atteindre et de distance limite d'échange. Enfin, l'organisation et la gouvernance de ces flux est un point délicat à résoudre. Les points de verrouillages se traduisent en risques de production et/ou d'approvisionnement. Dans les filières classiques deux modes de gestion sont utilisés pour mettre en adéquation offre et demande : Le marché avec la fixation d'un prix ou la contractualisation entre acteurs. Ces procédures sont difficiles à mettre en place, en effet pour de nombreuses bioressources il n'existe ni marché et ni prix de référence, de plus sans prévisibilité et standardisation des bioressources échangés la contractualisation est délicate. Dans ces conditions, la présence d'un acteur centralisateur/coordonateur, qui prend les décisions mais assume aussi une grande partie des risques est un facteur de réussite important. Les modalités et formes de gestion/coordination doivent s'adapter aux différents contextes territoriaux. Les territoires avec une forte densité animale et des filières très structurées peuvent investir sur le traitement et les échanges de flux intra et interterritoriaux, comme dans l'exemple rapporté à la figure 12. Les filières intégrées peuvent naturellement développer des outils communs de collecte, standardisation, etc., et une gouvernance centralisée des flux de l'amont à l'aval autour d'un acteur coordinateur. Les territoires avec moins d'élevage devront sans doute adopter une stratégie d'intégration agriculture-élevage, d'échange multi-relationnel ponctuel (multiples interactions individuelles sans coordination centralisée).

Le métabolisme territorial, en analysant les flux et stock de matière et d'énergie d'un système et des échanges avec l'environnement permet non seulement de caractériser les différents territoires d'élevage (utilisation des sols, offre de MPV, consommation et rejet des animaux), mais aussi de piloter les flux dans un objectif de durabilité et co-concevoir des systèmes territoriaux innovants. Une analyse multicritère de flux (N, P, K, C...), située dans le temps et l'espace est indispensable pour mettre en adéquation l'offre et la demande de bioressources. La concentration des éléments dans les produits, coproduits et déchets est aussi importante à maîtriser pour calculer des distances d'échange viables. En ce sens des technologies existent pour séparer, concentrer les éléments, stabiliser leur qualité, afin d'augmenter les distances de transport envisageables et ouvrir de nouveaux marchés. Toutes les formes de coordination devront s'appuyer sur une meilleure connaissance des disponibilités et demandes locales de bioressources et des possibilités de leur valorisation. Les acteurs des territoires devront mettre en place une gestion adaptative face aux variations et hétérogénéités des flux. Si les échanges de flux sont insuffisants pour boucler les cycles de nutriments, il sera nécessaire d'organiser la réallocation des activités (élevage, agriculture, outil/infrastructure de collecte biotransformation) en fonction des territoires et des distances d'échange de bioressources.

## Références

- Abel J.D., Blanc M., 2017. Vers une bioéconomie durable. Conseil Économique, Social et Environnemental. Les éditions du Journal Officiel de la République Française, 133p. [http://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2017/2017\\_08\\_bioeconomie\\_durable.pdf](http://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2017/2017_08_bioeconomie_durable.pdf)
- ADEME, 2014. Agribalyse, référence sur l'impact environnemental des productions agricoles. <http://www.ademe.fr/agribalyse-r>
- ADEME, 2016. Mobilisation de la biomasse agricole. État de l'art et analyse prospective. Ademe, collection expertise, 184p.
- Agreste, 2018. Statistique Agricole Annuelle 2016-2017, répartition du territoire. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/saa2018T1bspca.pdf>
- Animal Task Force, 2016. A strategic research and innovation agenda for a sustainable livestock sector in Europe. Suggested priorities for research for Horizon2020 2018-2020 Work Programme to enhance innovation and sustainability in the livestock production sector of Europe's food supply chains. Second White Paper of the Animal Task Force. 50p.
- Anses, 2017. Troisième étude individuelle nationale des consommations alimentaires (Étude INCA3), avis de l'Anses, rapport d'expertise collective. Anses Édition, 535p.
- Barles S., 2010. Écologies urbaine, industrielle et territoriale. In : Coutard O., Lévy J.P. (Eds). Écologies urbaines, Paris, Economica/Anthropos (collection Villes), 61-83.
- Béline F., Dabert P., Peu P., Girault R., 2010. La méthanisation des effluents d'élevage en France et en Europe : principe, état des lieux et perspectives. Fourrages, 203, 155-161.
- Billen G., Lassaletta L., Garnier J., 2014. A biogeochemical view of the global agro-food system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade. Glob. Food Sec., 3, 209-219.
- Bonaudo T., Bendahan A.B., Sabatier R., Ryschawy J., Magda D., Léger F., Bellon S., Tichit M., 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. Eur. J. Agron., 57, 43-51.
- Bonaudo T., Billen G., Garnier J., Barataud F., Bognon S., Dupré D., Marty P., 2017. Analyser une transition

- agroalimentaire par les flux d'azote : Aussois un cas d'étude du découplage progressif de la production et de la consommation. *Revue d'économie régionale et urbaine*, 5, 967-990.
- CE, 2012. Innovating for sustainable growth: A bioeconomy for Europe. *Ind. biotec.*, 8, 57-61. [doi.org/10.1089/ind.2012.1508](https://doi.org/10.1089/ind.2012.1508)
- CE, 2018. A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. <https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/>
- Colonna P., 2013. Le carbone renouvelable au carrefour des enjeux de durabilité. *Innov. Agron.*, 26, 1-15.
- Convers B., Prevost P., Viel C., 2018. TRAC, une success story qui a 7 ans. *CAA magazine n°38* (Avril 2018).
- Crespel-Darcet, 2016. Biorefinery, organic fertilisation, pet food and other industrial use of animal by products. Animal Task Force Seminar, 64<sup>th</sup> Meet. EAAP, Belfast. <http://www.animaltaskforce.eu/Newsandevents/Events/ATFseminarreport2016.aspx>
- D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M., Lähinen K., Korhonen J., Leskinen P., Matthies B.D., Toppinen A., 2017. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *J. Clean. Prod.*, 168, 716-734. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.053>
- Dollé J.B., Faverdin P., Agabriel J., Sauviant D., Klumpp K., 2013. Contribution de l'élevage bovin aux émissions de GES et au stockage de carbone selon les systèmes de production. *Fourrages*, 215, 181-191.
- Dourmad J.Y., Levasseur P., Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y., Espagnol S., 2016. Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. *RMT Élevages et Environnement*, Paris, France, 26p.
- Dourmad J.Y., Delaby L., Boixadera J., Ortis C., Méda B., Gagné C., Dumont B., 2017. Diversité des services rendus par les territoires à forte densité d'élevages, trois cas d'étude en Europe. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Ed). *INRA Prod. Anim.*, 30, 303-320.
- Dourmad J.Y., Rigolot C., Bonneau M., 2010. Évolution des modes de conduite des élevages porcins et conséquences sur leur charge en effluents. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 75-88.
- Dubois O., Gomez San Juan M., 2016. How sustainability is addressed in official bioeconomy strategies at international, national and regional levels. An overview. *FAO, Rome*, 33p.
- Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Thomas M., Tichit M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, 7, 1028-1043.
- Ehrenfeld J.R., 2004. Can Industrial Ecology be the 'Science of sustainability'? *J. Ind. Eco.*, 8, 1-3.
- GBC, 2015. German Bioeconomy Council. Bioeconomy Policy (Part I): Synopsis and Analysis of Strategies in the G7. [http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/BOER\\_Laenderstudie\\_1.pdf](http://bioekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/BOER_Laenderstudie_1.pdf).
- Jouven M., Puillet L., Perrot C., Poméon T., Dominguez J.P., Bonaudo T., Tichit M., 2018. Quels équilibres végétal/animal en France métropolitaine, aux échelles nationale et des « petites régions agricoles ». *INRA Prod. Anim.*, 31, 353-364.
- Laisse S., Baumont R., Turini T., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Rosner P.M., Peyraud J.L., 2017. Efficience alimentaire des élevages : un nouveau regard sur la compétition entre alimentation animale et humaine. Colloque du GIS Élevage Demain, 17/10/2017, Paris, France.
- Lang A., Dupraz P., Rosner P.M., Tregaro Y., Perrot P., 2015. Les emplois liés à l'élevage dans le Grand Ouest : *GIS Élevage Demain*, 118p.
- Langeveld H., Sanders J., Meeusen M., 2012. The biobased economy. Biofuels, materials and chemicals in the post-oil-era. *Erath Scan*, Routledge, New York.
- Levasseur P., Lemaire N., 2006. État des lieux du traitement des lisiers de porcs en France. *Tech Porc*, 29, 29-31.
- Madelrieux S., Buclet N., Lescoat P., Moraine M., 2017. Caractériser les formes d'interaction entre filières agricoles et territoires : quelles méthodes ? *Cahiers Agricultures*, 26, 24002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017013>
- Marouby H., 2016. France : le poids du soja, dépendance et enjeux. *Baromètre porc de l'Ifip*, mai 2016, 8.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W., 1972. The limits to growth. *New York: Universe Books*.
- Meindertsma C., 2007. *Pig05049*, 6<sup>th</sup> Édition. *Flock Ed*. 185p.
- Paillet J.M., Lopez-Ridaura S., Guerrin F., van der Werf H., Morvan T., Leterme P., 2009. Simulation de la faisabilité d'un plan d'épandage de lisier de porc et conséquences sur les émissions gazeuses au stockage et à l'épandage. *Journ. Rech. Porcine*, 41, 271-276.
- Petersen S.O., Sommer S.G., Béline F., Burton C., Dach J., Dourmad J.Y., Leip A., Misselbrook T., Nicholson F., Poulsen H.D., Provolto G., Sorensen P., Vinnerås B., Weiske A., Bernal M.P., Böhm R., Juhász C., Mihelic R., 2007. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livest. Sci.*, 112, 180-191.
- Peyraud J.L., Cellier P., Donnars C., Réchauchère O., 2012. In Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres, Paris, France, 68p.
- Rapport interministériel, 2016. Une stratégie bioéconomie pour la France, enjeux et vision. Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt. 35p. <http://agriculture.gouv.fr/telecharger/83595?token=4b2095fafe14f075309cc193dda53d70>
- Rouget C., Gagné C., Chatellier V., Cariou S., Carlier M., Chenut R., Daniel K., Perrot C., 2015. Spécialisation territoriale et concentration des productions animales européennes : état des lieux et facteurs explicatifs. *INRA Prod. Anim.*, 28, 5-22.
- SIFCO, 2010. Rapport d'activité SIFCO (Syndicat des Industries Françaises des Coproduits animaux), 16p. <https://www.sifco.fr/publications>
- Soussana J.F., Lüscher A., 2007. Temperate grasslands and global atmospheric change: a review. *Grass For. Sci.*, 62, 127-134.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C., 2006. *Livestock's long shadow*, FAO, Rome, Italy, 2006.
- Sutton M., Howard C., Erismann J.W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., van Grinsven H., Grizzetti B., 2011. In *The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives*. Cambridge University Press, 660p.
- Therond O., Tichit M., Tibi A., Accatino F., Biju-Duval L., Bockstaller C., Bohan D., Bonaudo T., Boval M., Cahuzac E., Casellas E., Chauvel B., Choler P., Constantin J., Cousin I., Daroussin J., David M., Delacote P., Derocles S., De Sousa L., Domingues J.P., Dross C., Duru M., Eugène M., Fontaine C., Garcia B., Geijzenoordoffler I., Girardin A., Graux A.I., Jouven M., Langlois B., Le Bas C., Le Bissonnais Y., Lelièvre V., Lifrán R., Maigné E., Martin G., Martin R., Martin-Laurent F., Martinet V., McLaughlin O., Meillet A., Mignolet C., Mouchet M., Nozières-Petit M.O., Ostermann O.P., Paracchini M.L., Pellerin S., Peyraud J.L., Petit-Michaut S., Picaut C., Plantureux S., Poméon T., Porcher E., Puech T., Puillet L., Rambonilaza T., Raynal H., Resmond R., Ripoché D., Ruget F., Rulleau B., Rush A., Salles J.M., Sauviant D., Schott C., Tardieu L., 2017. Voleur « écosystèmes agricoles » de l'Évaluation Française des Écosystèmes et des Services Écosystémiques. *Rapport d'étude*, Inra, France, 966p.
- Thomas M., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Tichit M., Gonzalez-Garcia E., Dourmad J.Y., Dumont B., 2014. Agroécologie et écologie industrielle : deux alternatives complémentaires pour les systèmes d'élevage de demain. In : Numéro spécial, Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage ? Ingrand S., Baumont R. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 27, 89-100.
- Weiland P., 2013. Production de biogaz par les exploitations agricoles en Allemagne. *Sciences Eau & Territoires*, 12, 14-23.

## Résumé

La bioéconomie se définit comme l'ensemble des activités liées à la production, l'utilisation et la production de bioressources pour répondre de façon durable aux besoins alimentaires et à une partie des besoins en énergie et en matériaux de la société, tout en préservant les ressources naturelles et en garantissant la production de services environnementaux. Dans cet article nous décrivons et quantifions les

différents flux de bioressources associés aux activités d'élevage. À l'échelle nationale, les systèmes d'élevage sont les principaux utilisateurs de bioressources (113 Mt) et de surfaces agricoles (55 %), pour l'alimentation des animaux. Ils contribuent largement aux apports alimentaires de l'Homme, principalement en protéines (60 %), lipides (40 %), minéraux et vitamines. Par leur utilisation des surfaces agricoles et la production d'effluents organiques ils contribuent également à la fourniture de services écosystémiques, comme la biodiversité et la fertilité des sols. Les effluents d'élevages représentent environ 19,4 Mt de matière organique correspondant à un potentiel de production de méthane équivalent à 45 TWh d'énergie primaire, très peu valorisé pour le moment. De par son importance, l'élevage constitue donc un facteur majeur d'équilibre ou de perturbation des cycles biogéochimiques, des services écosystémiques et de la biodiversité. Il existe des marges importantes de progrès pour accroître sa contribution à la couverture des besoins humains et mieux boucler les cycles de matières, en améliorant l'autonomie, en économisant des intrants et en diminuant les pertes vers l'environnement. Dans cette perspective, nous discutons les défis et les opportunités d'une meilleure intégration de l'élevage dans la bioéconomie circulaire.

## Abstract

### **Animal production in a circular bioeconomy**

*Bioeconomy is defined as the set of activities related to the production of bioresources and their utilization and processing to meet human food requirements and contribute to society's needs of energy and materials, while preserving natural resources and ecosystem services. In this paper, we describe and quantify the different flows of bioresources related to animal breeding. At the national level, animal farming systems are the main users of bioresources (113 Mt) and agricultural land (55 %) for animal feeding. They largely contribute to the supply of human food, mainly proteins (60 %), lipids (40 %), minerals and vitamins. Through their utilisation of agricultural land and the production of organic manure, they contribute to the production of ecosystem services, such as biodiversity and soil fertility. The production of animal manure amounts to about 19.4 Mt organic matter corresponding to a potential methane production equivalent to 45 TWh primary energy, with only a minor part of it produced until now. Due to their importance, animal production systems are thus major factors for balancing or disrupting biogeochemical cycles, ecosystem services and biodiversity. Significant margins of progress exist to improve their contribution to meeting human needs, better close nutrient cycles, improve autonomy, and reduce inputs and losses to the environment. With this in mind, we discuss some challenges and opportunities for a better integration of animal production into a circular bioeconomy.*

DOURMAD J.-Y., GUILBAUD T., TICHIT M., BONAUDOT., 2019. Les productions animales dans la bioéconomie. In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 205-220.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2485>



# Évolution de la place de l'animal et des points de vue sur son élevage dans la société française : quels enjeux pour la recherche agronomique ?

Alexis FOSTIER

INRA, UR1037, LPGP, Campus de Beaulieu, 35042, Rennes, France

Courriel : alexfos@orange.fr

■ Cet article explore l'évolution de la place de l'animal dans notre société et différents éléments susceptibles d'influencer les points de vue sur son élevage. Sont ensuite repérées des orientations de la recherche agronomique visant à répondre aux critiques faites aux élevages.

## Introduction

Depuis les années 2000, la consommation moyenne par habitant des produits carnés baisse en France, comme ailleurs en Europe, à l'exception de la consommation de volaille. La consommation de poisson tend, elle, à stagner (Larochette et Sanchez-Gonzalez, 2015 ; Nozières-Petit *et al.*, 2018). Si l'augmentation des prix puis l'impact négatif de la crise économique de 2008 sont souvent cités comme des facteurs explicatifs, il est admis aujourd'hui que certains facteurs sociétaux ne sont pas à négliger (Institut de l'élevage, 2018). Dans une analyse sociologique des controverses sur la consommation de viande, Legendre *et al.* (2017) retiennent, dans un souci de simplification, trois positions majeures sur la consommation de viande : *i*) une position visant au maintien de la consommation de viande et au développement de l'activité des filières animales, *ii*) une position prônant une consommation alternative de viande, *iii*) une position « végétarienne ».

L'évaluation statistique par sondage des différents types de consommateurs reste délicate. Les végétariens représenteraient quelques pourcents des consommateurs, mais ceux qui déclarent réduire leur consommation de viande seraient au moins de l'ordre de 50 % (Laisney, 2016 ; Anses, 2017). Delanoue *et al.* (2018) identifient de leur côté, par des enquêtes quantitatives et qualitatives, cinq types d'attitudes des citoyens envers l'élevage. Il y a ceux qui n'ont pas d'avis et sont peu intéressés par le sujet (3 %), ceux qui soutiennent le modèle intensif (les « compétiteurs », 10 %), ceux qui souhaitent une amélioration progressive des conditions d'élevage (les « progressistes », 51 %), ceux qui veulent la fin de l'élevage intensif au profit de systèmes alternatifs (les « alternatifs », 24 %), et enfin les abolitionnistes (2 %). Les caractéristiques de ces différents types d'attitudes sont analysées plus en détail et les préoccupations principales qui ressortent de ces analyses sont relatives aux conditions de vie des animaux en élevage. Enfin, un groupe de travail du Gis Élevage Demain a identifié quatre

sujets qui amènent certains à contester les systèmes d'élevage : les impacts sur l'environnement et sur le bien-être animal, les conséquences pour la santé humaine et l'organisation de l'élevage (Delanoue et Roguet, 2015).

Nous proposons dans cet article d'examiner brièvement les différentes raisons pouvant, à des degrés divers, expliquer ces attitudes en nous intéressant à l'évolution de la place de l'animal dans la société et à des éléments susceptibles d'influencer différents points de vue sur son élevage. Seront ensuite évoquées des orientations de recherche visant à résoudre certains problèmes de nos élevages contemporains. Cette réflexion, qui ne relève pas d'une enquête sociologique, s'appuie sur des entretiens libres, essentiellement de scientifiques, réalisés dans le cadre d'un groupe de travail intitulé « Perceptions des techniques d'élevage et des biotechnologies » mis en place par le département Physiologie animale et systèmes d'élevage de l'Inra, ainsi que sur la participation à des colloques, la lecture d'articles, ouvrages, rapports,

données statistiques et enquêtes disponibles sur cette thématique.

## 1. Quelle place de l'animal dans notre société ?

### ■ 1.1 De l'animal congénère de l'Homme à l'animal utilitaire domestiqué

On ne peut comprendre la place de l'animal d'élevage et son évolution dans notre société sans considérer celle de l'animal en général. Pour la compréhension du fonctionnement de groupes humains, l'ethnologue peut s'intéresser aux relations de ceux-ci avec les animaux (Digard, 1990). Certains archéologues font l'hypothèse, à partir de l'interprétation des gravures et peintures rupestres, que nos ancêtres se considéraient comme animal parmi les animaux. Leurs liens étroits avec la Nature pouvaient être proches de ceux d'animistes avec des pratiques chamaniques (Pathou-Mathis, 2017). Par ailleurs, si les débats sur l'animal d'élevage se focalisent majoritairement aujourd'hui sur son usage alimentaire (Burgat, 2017), bien d'autres usages de l'animal par l'Homme ont existé et existent encore pour certains (Pathou-Mathis, 2017). Ces usages, et leurs valeurs culturelles, influencent les points de vue sur la place de l'animal dans la société. L'« animalisme » vise à la défense des droits des animaux et sa composante la plus radicale, l'« antispécisme », est apparue en France en 1985. Ses militants, acteurs de la « libération animale », contestent la domination de l'Homme sur l'Animal et considèrent que le « spécisme » est à l'espèce ce que le racisme et le sexisme sont respectivement à la race et au genre (Dubreuil, 2009).

Si l'on admet que la première activité de l'Homme est de satisfaire ses besoins alimentaires, alors les techniques de chasse et de cueillette puis de culture des céréales et d'élevage aident à comprendre l'évolution de nos sociétés. Bien que l'on parle d'une « révolution » agricole néolithique, il n'y a pas eu forcément de rupture rapide entre l'économie de chasse et l'économie d'élevage (Delort, 1984). À l'échelle de l'histoire de l'humanité, la domestication animale

est un phénomène très récent, essentiellement centré sur la période interglaciaire de l'holocène (Vigne, 2007). Les différentes espèces domestiquées l'ont été à des périodes différentes et dans différentes zones géographiques. La plupart de nos espèces d'élevage ont été domestiquées dans l'Asie du Sud-Ouest et de l'Est puis, plus tardivement, sur le continent américain. Les processus de domestication font aussi l'objet de plusieurs interprétations allant de l'énumération linéaire de différentes étapes à caractère universel à la notion de « systèmes domesticatoires » intégrant des facteurs biologiques, techniques et humains et caractérisant l'utilisation d'un animal dans une région donnée (Digard, 1990). Pour Delort (1984), la domestication « implique autant un changement dans les relations socioéconomiques à l'intérieur des groupes humains qu'une évolution des rapports entre l'Homme et l'animal ». Ainsi, suite à la loi sur l'élevage de 1966, les acteurs de la sélection génétique s'organisent collectivement et de différentes manières selon les filières pour créer un « animal nouveau » (Selmi et al., 2014).

### ■ 1.2. L'animal être vivant porteur de valeurs symboliques

Le concept de statut définit une position au sein de la société et ses rôles associés. Il peut être l'objet de réflexions philosophiques et morales, mais aussi être formalisé juridiquement. Le statut de l'animal va dépendre de la manière dont l'Homme le considère, soit comme être vivant appartenant au même règne biologique que lui, soit en fonction de ses usages qui se révèlent extrêmement variables (Pathou-Mathis, 2017). La consommation alimentaire d'un animal, à une période et dans un groupe social donnés, va dépendre de la réputation de ses qualités nutritionnelles et organoleptiques, mais aussi de son poids symbolique positif (symbole de richesse, de distinction et de puissance par exemple) ou négatif (tabou alimentaire par exemple). Une valeur et un usage peuvent varier dans le temps. L'un d'entre eux peut ainsi prendre, au fil du temps, le dessus sur d'autres. C'est le cas pour le cheval en France.

Les Français qui consommaient, en moyenne, 2,2 kg/habitant/an de viande chevaline en 1963 n'en consommaient plus que 0,2 kg/habitant/an en 2013. Parallèlement, le nombre d'établissements équestres a crû de 49 % de 2006 à 2016. L'hippophagie en France n'aura été qu'une parenthèse à contre-courant d'un tabou ancestral (Pierre, 2003). Toutes sortes d'espèces animales, sauvages ou domestiquées, ont été et sont utilisées comme symboles ou emblèmes. Ainsi, pour la période médiévale en Europe occidentale, Pastoureau (1984) propose la répartition d'une quarantaine d'espèces dont une dizaine domestiquée, selon deux axes : – du bien au mal, – de la force intellectuelle à la force physique. La valeur symbolique d'une espèce peut changer radicalement d'une civilisation à une autre ou au cours de l'histoire de chacune d'elle.

### ■ 1.3. Statut juridique de l'animal

Pour le législateur contemporain, l'animal domestique est avant tout une entité soumise au régime des biens (choses matérielles faisant l'objet d'une appropriation privée ou publique) définie sur la base d'une sélection génétique : « ... sont considérés comme des animaux domestiques les animaux appartenant à des populations animales sélectionnées ou dont les deux parents appartiennent à des populations animales sélectionnées » (Article 1<sup>er</sup> de l'arrêté du 11 août 2006 fixant la liste des espèces, races ou variétés d'animaux domestiques ; Marguénaud et al., 2018).

Les premières lois traitant des mauvais traitements infligés aux animaux domestiques visaient à sanctionner une atteinte à la propriété. L'idée de protéger les animaux par la loi contre une cruauté excessive n'est pas nouvelle. La période des Lumières ouvrira sans doute la voie au droit animalier (Hardouin-Fugier, 2009). Mais ce n'est qu'en 1850 qu'une loi proposée par le comte de Grammont sanctionne les mauvais traitements infligés en public aux animaux domestiques (Agulhon, 1981). Ce général de cavalerie, scandalisé par le comportement des charretiers envers leurs chevaux, fonda la

Ligue Française de Protection du Cheval qui existe toujours. Baratay (2008) identifie deux groupes parmi ces nouveaux protecteurs des animaux : d'un côté des propriétaires, agronomes et vétérinaires qui souhaitent améliorer les rendements des élevages ; de l'autre des médecins, militaires, fonctionnaires et rentiers qui y voient un élément de moralisation du peuple pour modérer sa violence.

Le statut juridique de l'animal a évolué dans un contexte occidental, et en particulier en France, au cours des dernières décennies, période où le militantisme des défenseurs de la « cause animale » s'est développé (Lesage, 2013). En janvier 2018 est édité pour la première fois un Code de l'animal où sont collectés tous les textes portant sur la juridiction concernant l'animal (Marguénaud *et al.*, 2018). La reconnaissance de sa sensibilité dans le Code civil date de 2015 : « *Les animaux sont des êtres vivants doués de sensibilité. Sous réserve des lois qui les protègent, les animaux sont soumis au régime des biens* » (Article 515-14) et l'actuel article 528 du Code civil relatif aux biens meubles ne mentionne plus les animaux. Dans sa préface du Code de l'animal, Florence Burgat souligne la contradiction « *qui travaille en profondeur le droit animalier : reconnaître que les animaux disposent de la qualité qui fonde des droits fondamentaux... et, dans le même temps, les soumettre au régime des biens, c'est-à-dire les traiter comme des ressources disponibles pour les usages qui nous agréent* ». D'une manière générale, le droit impliquant l'animal est complexe et fait référence à une quinzaine de codes juridiques (Marguénaud *et al.*, 2018).

## 2. Réflexions sur ce qui peut influencer différents points de vue sur l'élevage animal

### ■ 2.1. Rôle socioéconomique de l'élevage

Le secteur de l'élevage et toute la chaîne de l'industrie agroalimentaire associée sont économiquement très importants. Il joue aussi un rôle social

important dans les zones rurales économiquement fragiles. Les estimations du Gis Élevages Demain pour 2015 donnent 312 000 équivalents-temps-plein (ETP) affectés aux activités d'élevage, auxquels il faut ajouter 391 000 ETP plus ou moins fortement tributaires de cette activité. Il est aussi un secteur géostratégique majeur dans le souci qu'à l'État d'assurer la satisfaction des besoins alimentaires du pays. D'après une étude menée de 2014 à 2015 par l'Anses (2017), près d'un cinquième des ménages français souffre d'une insuffisance alimentaire qualitative. Enfin, l'approvisionnement alimentaire peut être un moyen de pression dans les conflits inter- ou intra-étatiques, mais aussi un enjeu de poids dans les compétitions économiques d'accès aux marchés mondialisés. La population mondiale compte aujourd'hui 7,5 milliards d'habitants (67 millions pour la France) et pourrait atteindre, selon les projections moyennes de l'Onu, 8,5 milliards en 2030 et 9,8 milliards en 2050 (70 et 74 millions en France selon l'Ined). Dans ce contexte, et dans l'hypothèse d'une réduction des écarts entre revenus, la consommation mondiale de viandes continuerait d'augmenter à un rythme moyen de 1,3 % par an jusqu'en 2050. Les choix d'achat des consommateurs dépendent de facteurs intrinsèques et extrinsèques aux produits : facteurs psychologiques, organoleptiques et de marketing. Parmi les facteurs extrinsèques, le prix n'est pas toujours considéré comme le facteur décisif d'achat du consommateur, mais ceci va évidemment dépendre de ses revenus (Fonti-Furnols et Guerrero, 2014). Au cours de l'enquête de l'Anses (2017) évoquée plus haut, une liste de seize critères a été proposée aux personnes chargées des achats des produits alimentaires dans les ménages en leur demandant d'indiquer les trois principaux susceptibles d'influencer leurs choix. Les critères les plus fréquemment retenus sont le prix (48,4 %), l'habitude (42,5 %), le goût (38,0 %) et l'origine ou la provenance (36,1 %) des produits. Le mode de production arrive en 7<sup>e</sup> position avec 19,7 % des citations. L'importance de ce dernier critère augmente avec le niveau d'étude de la personne de référence du ménage (de 14,7 % à 29,3 %) et l'âge (de 14,0 % à 26,3 %). Il dépend aussi

de la région de résidence des ménages (15,5 % dans le Nord-Est et 25,6 % dans le Sud-Est). Le mode d'élevage jouerait donc majoritairement sur le choix d'achat de par le coût de production, mais aussi, plus modestement, par sa nature même. Il faudra cependant garder un œil critique sur les différentes méthodes visant à savoir « ce que pensent les gens » (Kotras, 2018).

### ■ 2.2. Animaux et citadins

#### a. L'évolution du monde rural

Une explication, parfois considérée comme majeure, dans l'évolution des attitudes des Français vis-à-vis de l'élevage réside dans l'évolution de la ruralité en France. Les producteurs de biens agricoles étaient majoritaires au XIX<sup>e</sup> siècle, et ils œuvraient au sein d'une France majoritairement rurale. Au sortir de la Seconde Guerre mondiale, le processus d'urbanisation de la France s'accélère. Le renversement démographique entre les populations citadine et rurale s'opère au XX<sup>e</sup> siècle. Ainsi, la part de la population urbaine passe de 53 % en 1946 à 70 % en 1968. L'Insee considère que l'exode rural est achevé depuis les années 1970. En 2011, 84 % de la population vit dans des zones urbaines. En 2014, 2,8 % des Français travaillent de l'agriculture, la sylviculture ou la pêche, soit du même ordre que dans l'industrie agroalimentaire (2,3 %). Le sociologue Henri Mendras, dans son ouvrage de référence « *La fin des paysans* », ne met pas seulement en évidence la baisse des effectifs, mais il défend l'idée que l'on assiste au remplacement d'une civilisation paysanne par celle de nouveaux agriculteurs-producteurs : « *C'est le dernier combat de la société industrielle contre le dernier carré de la civilisation traditionnelle* » (Mendras, 1967).

#### b. Les animaux en villes

S'il est courant de dire que les Français se sont éloignés des élevages en rejoignant les villes, il faut aussi constater que les élevages ont, eux, quitté les villes. Avec l'accroissement de la population urbaine le bétail était très présent dans la ville au XIX<sup>e</sup> siècle, où l'on trouve porcheries, étables et chèvreries. On compte à Paris 500 étables en 1892. Ce nombre est tombé à 30 en 1920

(Guillaume, 2003). Dans le département de la Seine, les animaux de basse-cour étaient aussi omniprésents. C'était un gage de sécurité alimentaire dans une société où la disette était encore présente dans la mémoire collective. Ce pouvait être aussi une garantie de la qualité du produit dont on contrôlait la « fabrication » (Faure, 1997), alors que les peurs alimentaires, y compris du fait de la méfiance pour ce qui nourrit le bétail, étaient présentes au XIX<sup>e</sup> siècle comme dans les siècles précédents (Ferrières, 2002). Cette présence conduit Vialles (1987) à distinguer le mangeur « zoophage », qu'étaient nos ancêtres qui fréquentaient les boucheries où pendaient les carcasses, du mangeur « sarcophage », que nous sommes, face à quantité de produits plus ou moins transformés, où l'origine corporelle de la viande est peu identifiable. Le « zoophage » veut connaître le vivant qu'il consomme, alors que pour le « sarcophage » la viande doit être anonyme. Les industries alimentaires participent largement à la « désanimalisation » dont parle Madeleine Ferrières (2002). Pourtant, les nuisances occasionnées par ces animaux présents dans les villes au XIX<sup>e</sup> siècle (bruits, odeurs, zoonoses, risques d'accident avec la divagation d'animaux, spectacles contraires à la bonne moralité des enfants) sont de moins en moins bien acceptées. Il existe une hiérarchie dans l'acceptation des différentes espèces. Chèvres et chevreaux sont acceptés, les bovins tolérés, mais les porcs sont méprisés (Faure, 1997). Le cheval, dont la consommation alimentaire ne sera légalisée qu'en 1866, conserve son prestige. Comme tireur de charrettes, on le croisera d'ailleurs encore dans nos villes jusqu'au milieu du XX<sup>e</sup> siècle.

Les animaux de compagnie ont aujourd'hui pris la place des animaux de rente dans nos villes. En 2016, un sondage conclut à la présence d'au moins un animal familier dans près d'un foyer français sur deux avec 13,5 millions de chats et 7,3 millions de chiens (Facco, 2016). Cet engouement pour les animaux de compagnie serait-il une raison de l'écho favorable que recevraient les défenseurs de la « cause animale » dans notre société ? Pour certains, il s'agirait alors d'un mouvement issu des « petites

*dames de la protection animale* » (Burgat, 2009). Au-delà de cette vision quelque peu réductrice, la « sensibilité sociale » actuelle à la condition animale pourrait s'expliquer, en partie, par cette multiplication des animaux de compagnie dans les foyers français. Cependant, pour Digard (1990), ces animaux « inutiles » qui « *doivent être entièrement disponibles pour l'Homme* » et « *ne servir à rien d'autre qu'à sa compagnie* » n'ont rien à voir, dans la hiérarchie sociale donnée aux espèces du règne animal, avec leurs congénères de ferme qui n'existent pas en tant qu'individu. Outre les animaux de leurs foyers, les citadins rencontrent des animaux « sauvages » en captivité dans des parcs zoologiques qui tentent de produire des images de liberté avec des reproductions de milieux naturels. Des espaces pédagogiques pour enfants, des écomusées ou des zones d'agrotourisme peuvent aussi montrer quelques animaux de « ferme » dans un environnement d'élevage « traditionnel ». L'industrie agroalimentaire aime d'ailleurs utiliser ce type d'images pour ses publicités. Pour Bidaud *et al.* (2016) « *plus les Français seront familiers avec les animaux (et pas uniquement leur animal de compagnie) plus le traitement de la question animale pourra se faire sur le registre de l'éthique et de la conciliation, par le compromis des intérêts et « droits » des animaux et de ceux qui les gèrent, les élèvent, et subissent aussi parfois leur présence* ». Il faudrait cependant pouvoir distinguer ce qui est familiarité avec l'animal autre que l'animal de compagnie et familiarité avec l'élevage, ses contraintes et ses pratiques. Mais l'évaluation de l'effet sur l'évolution des points de vue sur l'élevage d'opérations telles que des journées « portes ouvertes » dans les exploitations reste encore limitée (Grannec et Roguet, 2017). Il est par ailleurs probable que le public intéressé par ces opérations n'est pas celui qui se montre le plus critique envers l'élevage (Delanoue *et al.*, 2018).

### ■ 2.3. Conditions d'élevage et de mise à mort de l'animal

#### a. Industrialisation de l'élevage

La forte croissance démographique française au XIX<sup>e</sup> siècle s'est accompagnée d'une rationalisation de l'élevage (Duby et Wallon, 1992). Par ailleurs,

l'industrialisation du pays a conduit à réduire la main-d'œuvre et les coûts relatifs de la production agricole. Ceci a permis de mobiliser la force de travail nécessaire aux usines, puis de dégager des revenus pour une consommation de masse des produits autres qu'alimentaires. En 1849 est organisée à Paris l'« *Exposition nationale des produits de l'industrie agricole et manufacturière* ». Un siècle plus tard la priorité est toujours d'accroître la production et pour les zootechniciens « *l'objectif ultime est de désigner aux éleveurs les combinaisons de techniques qui leur permettront de dégager les profits les plus élevés possibles* » alors qu'ils sont résolument engagés dans la « *modernisation* » (Landais et Bonnemaire, 1996). On passe de l'« *élevage* » à la « *production animale* » (Porcher, 2002) avec une artificialisation extrême de la « *niche écologique* » de l'animal (Gautier, 1990), une concentration des exploitations, et une banalisation de la division du travail. L'animal devient une matière première pour l'industrie agroalimentaire. Mais à partir du milieu des années 80, on assiste à une remise en cause d'un mode de développement unique et à la prise en compte de nouvelles fonctions pour l'agriculture (Landais et Bonnemaire, 1996). Par ailleurs, les filières de produits carnés et laitiers se transforment avec un pilotage plus fort par les opérateurs en aval de ces filières, et la question de l'essor d'alternatives aux filières dominantes reste posée (Nozières-Petit *et al.*, 2018).

#### b. Impacts environnementaux

C'est un des sujets sans doute les plus complexes dans la mesure où il implique à la fois les sphères politiques, sociétales et scientifiques. Des méthodes élaborées d'évaluation, prenant en compte les effets négatifs directs et indirects des élevages sur l'environnement, mais aussi leurs aménités, peuvent conduire à des résultats différents des idées reçues et médiatisées (Doreau *et al.*, 2017 ; Dourmad *et al.*, 2017 ; Dumont *et al.*, 2017). Il est aussi nécessaire de prendre en compte la diversité des systèmes d'élevage et des espèces élevées. Par exemple, des questions spécifiques aux élevages de poissons se posent du fait de risques, pour le milieu naturel, d'échappement

d'animaux domestiqués (Fontaine *et al.*, 2009). Enfin, pour tous les élevages, l'utilisation d'antibiotiques inquiète car elle peut induire non seulement des effets directs sur la flore microbienne environnante mais aussi des résistances bactériennes (Ducrot *et al.*, 2017). Ces risques font l'objet de plans de surveillance et de contrôle dans un cadre réglementaire européen.

### c. Douleur, souffrance et bien-être des animaux

Les douleurs animales ont fait l'objet d'une expertise collective de l'Inra qui identifiait des moyens pour la limiter dans les élevages (Le Neindre *et al.*, 2009). La stratégie des « 3S » a été proposée dans cet esprit : « Supprimer, Substituer, Soulager » (Guatteo *et al.*, 2012). Cependant, le concept de bien-être d'un animal va au-delà d'une seule absence de douleur et l'Anses (2018) le définit ainsi « [C] est l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal ». Sa maîtrise nécessite une meilleure appréhension des processus cognitifs et de l'émotion chez l'animal (Boissy *et al.*, 2007 ; Menant *et al.*, 2016). L'état actuel des connaissances, dont une synthèse a été faite dans une expertise collective récente sur la conscience animale, permet déjà de conclure que les animaux possèdent un large éventail de capacités cognitives associées à des comportements plus ou moins complexes (Le Neindre *et al.*, 2017). Mais pour ce qui est de la perception de la douleur des animaux par l'humain, la question la plus importante est « celle, morale, de nos réactions émotionnelles et comportementales face à la douleur (la souffrance de l'autre – même animale – me fait souffrir) ou encore la résonance que des signes apparents de douleur produisent spontanément en ma conscience humaine » (Guichet, 2015).

### d. Mise à mort de l'animal

Dans les sociétés primitives et antiques, l'animal était présent dans les communautés humaines. Son « sacrifice » pouvait se faire avec des rituels ou des règles relevant du chamanisme ou du religieux. Plus tard,

« la rue était un lieu où l'on pouvait voir égorger le bétail » (Agulhon, 1981). Puis, l'élevage et les abattoirs ont été sortis des villes au cours du XIX<sup>e</sup> siècle pour des raisons hygiéniques et d'ordre public, en évitant au peuple la vue de scènes cruelles (Baldin, 2014). C'est au cours du XX<sup>e</sup> siècle que des méthodes de mise à mort, se voulant sans « douleur inutile », ont été développées. Il a fallu attendre 1964, pour qu'un décret réglemente les conditions d'abattage en évoquant cette nécessité. Il s'agit d'« humaniser » la mise à mort (Baldin, 2014). La mise à mort de l'animal, qui était devenue invisible à la société dans des abattoirs fermés, est réapparue dans les médias suite aux actions transgressives d'associations comme L214 fondée en 2008. À la question de « comment tuer sans souffrance les animaux ? », dont la formulation est relativement consensuelle, s'en ajoute une seconde, bien plus clivante : faut-il élever des animaux pour les tuer ? Sur ce dernier point, la littérature est en générale engagée (Mouret, 2012 ; Burgat, 2017).

### e. Souffrance des Hommes

C'est depuis la fin des années 80 que les recherches sur les systèmes d'élevage s'intéressent aux questions du travail des éleveurs. Il a en effet subi de fortes mutations liées à des évolutions structurelles, techniques et sociologiques (Dedieu et Servière, 2012). De multiples contraintes accroissent le volume global de travail des éleveurs aux dépens du temps passé pour construire une relation avec les animaux, cette construction dépendant de la fréquence et de la qualité (négative, neutre ou positive) des contacts Homme-Animal (Boivin *et al.*, 2012). L'automatisation, censée assister l'éleveur dans son travail, peut mener à une dégradation de ces contacts. Pour les salariés, dont la proportion croît dans les grandes exploitations de régions d'élevage industriel comme la Bretagne, ce temps passé dans l'établissement d'une relation avec l'animal peut même être parfois perçu comme non productif par le gestionnaire. Or, cette relation n'est pas seulement une éventuelle variable zootechnique dans l'amélioration d'un rendement : c'est aussi une gratification du travail de l'animalier. Par ailleurs, l'abattage d'animaux pour des raisons sanitaires ou, sans doute pire, pour des

raisons économiques est un acte éthiquement difficile à vivre pour l'éleveur (Mouret, 2010). Tout ceci peut créer une souffrance au travail dédié à l'élevage, accrue par les critiques sociales. C'est un des arguments d'une position radicale contre la production animale industrialisée (Porcher, 2002). Il faut, enfin, évoquer la souffrance des Hommes qui travaillent durement dans les abattoirs et doivent supporter la violence exercée sur eux par le regard extérieur (Guigon et Jacques-Jouvenot, 2007).

## ■ 2.4. Débats philosophiques

« Le silence des bêtes » (de Fontenay, 1998) est souvent cité comme ouvrage de référence sur les questions philosophiques de l'animalité et des différences entre l'Homme et l'animal. Ne serait-ce que pour les civilisations occidentales, cela fait au moins vingt-sept siècles, à partir des pré-socratiques, que ces questions perdurent dans les débats philosophiques. Aujourd'hui, s'il existe un consensus pour admettre que l'animal est un être sensible, deux courants de pensée s'opposent entre ceux qui admettent uniquement que l'Homme a des devoirs vis-à-vis des animaux et ceux qui considèrent que l'animal a des droits (Wolff, 2017). L'animal peut être un symbole pour interroger notre rapport à l'altérité et l'analyse de l'attitude de l'Homme à son égard peut aider à comprendre les processus de domination et d'exclusion (Bortolamiol *et al.*, 2017). Trois thèmes de réflexion peuvent être explorés pour comprendre cette attitude : *i*) le rapport de l'Homme à la Nature, *ii*) la spécificité de l'humain au sein du monde animal, *iii*) le rapport de l'Homme au vivant et à la mort. C'est avec Jean-Jacques Rousseau au XVIII<sup>e</sup> siècle que naît la thèse selon laquelle la sensibilité, et non la rationalité ou les capacités cognitives des animaux, fait que l'on a envers les animaux certains devoirs. Dans la même période, Bentham introduit la notion d'« antisécisme », c'est-à-dire ne pas faire de l'appartenance à une espèce avec ses spécificités physiques un critère discriminant de considération morale, que l'on va retrouver au XX<sup>e</sup> siècle avec l'émergence de l'éthique animale. Aujourd'hui, le manifeste pour un mouvement de « libération animale » du philosophe engagé Singer

(1973), qui est toujours très actif, reste le fondement théorique de nombreuses associations défendant la « cause animale ». Singer se réclame d'une éthique utilitariste fondée sur l'optimisation du plus grand bonheur possible pour le plus grand nombre, la valeur morale de nos actions étant déterminée par leurs conséquences. Pour Descola (2005), l'opposition Nature/Culture ne domine qu'en Occident. Cet ethnologue propose une typologie de représentations de la Nature par les peuples selon les différences qu'ils établissent avec d'autres êtres vivants dans leur « physicalité » (dimension matérielle, organique, des existants humains et non humains) et leur « intériorité » (ce qui donne animation et conscience à l'être). En combinant différences ou similarités pour la « physicalité » et l'« intériorité », il définit quatre catégories ontologiques. L'une d'elle est caractérisée par l'acceptation de ressemblance de « physicalité » de l'Homme avec les autres êtres vivants, mais un refus de ressemblance d'« intériorité ». C'est, pour lui, le « naturalisme » des sociétés occidentales. L'éloignement plus ou moins prononcé de cette représentation « naturaliste » de la Nature peut être considéré comme un des critères de différenciation des avis exprimés sur la place de l'Animal dans notre société. On retrouve cette différenciation dans l'analyse des utopies contemporaines que propose Wolff (2017). Pour cet auteur, il existe aujourd'hui deux utopies antihumanistes. La première, supra-humaniste et anthropocentrée, est le posthumanisme ; c'est l'utopie d'un « Homme nouveau » aux capacités considérablement accrues par les Nbic (Nanosciences, Biotechnologie, Informatique, sciences Cognitives). La seconde, infra-humaniste et zoocentrée, est l'animalisme visant à animaliser l'Homme et à humaniser l'animal.

## ■ 2.5. Choix religieux

Du fait des racines judéo-chrétiennes de la culture dominante dans les sociétés occidentales, il est souvent fait référence à une lecture stricte de la Genèse de la Bible pour expliquer pourquoi cette culture considère l'Homme, créé à l'image de Dieu selon ce texte, comme supérieur aux animaux mis à

sa disposition. Cependant, sans remise en cause de la place de l'animal dans la hiérarchie anthropocentrique du vivant, la position de l'Église catholique et ses recommandations ont fluctué au cours des siècles sur le traitement à réserver aux animaux. Il apparaît dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle « *une nouvelle sensibilité* » dans le contexte d'une « *première vague zoophile* ». L'Église anglicane semble moins réticente à cette évolution que l'Église catholique qui préfère aujourd'hui plutôt plaider plus largement pour le respect de la Nature (Baratay, 2015).

## ■ 2.6. Choix alimentaires

Les premiers travaux réellement pluridisciplinaires sur l'histoire de l'alimentation datent des années 1970. Pourtant, l'alimentation occupe une place stratégique dans le système de vie et de valeurs des sociétés. Manger est un moyen symbolique d'identification en s'inscrivant dans des traditions culturelles, religieuses et éthiques grâce au respect d'un répertoire gastronomique (Corbeau, 2002). Ainsi, parmi les trois grandes religions monothéiques abrahamiques présentes en France, christianisme, islam et judaïsme, ce sont essentiellement ces deux dernières qui imposent des interdits avec l'alimentation halal et casher portant sur l'espèce animale et le mode d'abattage. Manger est aussi une source de plaisirs gustatifs, d'affirmation d'un lien social, de signification d'une distinction. Ce peut être aussi une prise de risque par transgression des répertoires. Poulain (2002a) repère trois ambivalences des modèles alimentaires identifiées par Beardsworth (1995) : – l'ambivalence du plaisir-déplaisir (de la sensualité au dégoût répulsif), – l'ambivalence de la santé-maladie (de la source de vitalité à l'intoxication), – l'ambivalence de la vie et de la mort.

Un argument fort en faveur de l'industrialisation de la production animale, et plus largement de la production des aliments, est le haut niveau de sécurité atteint grâce à la rationalisation et à l'intégration de connaissances en santé animale et humaine, à la standardisation, à l'élaboration de normes et à l'obligation légale des contrôles. Cet argument est d'ailleurs avancé pour

étayer certaines critiques de la production dite « biologique » et des circuits courts de distribution. Mais la crise dite de la « vache folle » (l'encéphalopathie spongiforme bovine), qui éclate en 1996, aura un effet majeur dans l'amplification de controverses sur l'élevage au sein de toute la société avec l'expression « *d'une inquiétude radicale vis-à-vis de la modernité* » (Barbier, 2003) et, plus spécifiquement, d'une contestation de la « *modernité alimentaire* » (Poulain, 2008). C'est alors la menace pour l'Homme qui alimentait majoritairement la colère du public, davantage qu'une « *sensibilité sociale* » vis-à-vis de l'animal (Larrère et Larrère, 1997). D'autres crises ont suivi (fièvre aphteuse, OGM, grippe aviaire, fraude sur la nature des viandes, contamination de produits laitiers par la dioxine ou des salmonelles...) et la confiance du consommateur et du citoyen dans le système alimentaire s'est érodée (Ocha *et al.*, 2016). Par ailleurs, des études épidémiologiques récentes ont alerté sur un lien probable entre cancer et consommation de viande rouge (Domingo et Nadal, 2017). Quoiqu'il en soit, la consommation de viandes, poissons, œufs et laitages représentait 60 % des apports protéiques en 2015 chez les Français (Anses, 2017).

## ■ 2.7. Choix culturels

Il apparaît, dans les années 90, une opposition entre défenseurs de la cuisine française traditionnelle, qui craignent un néocolonialisme américain, et tenants de la mondialisation des cultures (Poulain, 2002b). Or, la viande est un élément de la gastronomie française, gastronomie enregistrée sur la liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité par l'Unesco depuis 2010. Les sous-entendus des débats sur ces aspects culturels ne sont pas toujours aisés à décrypter. Ainsi, sur la question des conditions des abattages rituels, d'origines religieuses, il peut aussi exister une instrumentalisation fondée sur des motifs politiques visant à stigmatiser une culture. Enfin, un choix alimentaire, comme celui du végétarien, pourrait aussi être une forme de revendication d'une identité marquant son appartenance à une communauté particulière

(Laisney, 2016). La mise en cause d'un modèle alimentaire dominant pourrait même être liée à une contestation politique allant jusqu'à l'émergence d'une contre-culture (Gacon et Grillot, 2017).

### ■ 2.8. Sources d'information

L'information a fortement évolué, à la fin du <sup>xx</sup>e et début du <sup>xxi</sup>e siècle, dans ses modes de diffusion et dans ses contenus. On imagine difficilement aujourd'hui, avec les réseaux sociaux, la possibilité de censurer un documentaire naturaliste comme « *Le Sang des Bêtes* » filmé par Georges Franju aux abattoirs de Vaugirard et de la Villette en 1949. De nombreuses associations alimentent cette information numérique. L'association « *Ensemble pour les animaux* », créée en 2017 et qui vise à fédérer les initiatives pour inventer « *un nouveau lien entre l'être humain et l'animal* », identifie aujourd'hui 35 grandes associations impliquées en France dans la « protection animale ». Outre l'information apportée par le monde associatif, de nombreux médias traditionnels (journaux, périodiques, revues, chaînes de radio et de télévision) ou divers forums traitent régulièrement de ce sujet sous différents angles (Laisney, 2016). Enfin, l'édition littéraire, spécialisée ou destinée au grand public, n'est pas non plus avare d'ouvrages, y compris pamphlets et manifestes, autour de cette question. Digard (1990) évoquait déjà une inflation témoignant d'un regain d'intérêt très large pour les animaux domestiques. Historiquement, les informations agricoles et maritimes du quotidien Ouest-France font partie des piliers fondateurs d'un journal dont la diffusion couvre une région qui concentre aujourd'hui le potentiel agricole et agroalimentaire le plus important et le plus diversifié de France. En 2008, un journaliste spécialisé de ce journal constatait la disparition progressive à partir de 1995 de la spécificité de son service agricole. Il tire ce bilan de l'évolution éditoriale de son journal : « *Les problèmes d'environnement, les crises sanitaires, avec en porte-drapeau la crise de la vache folle, l'utilisation généralisée des biotechnologies en agriculture avec les OGM notamment, transforment journalistiquement le fait agricole en fait de société. Aujourd'hui, l'agriculture*

*est presque entièrement sortie de son ghetto...* » (Lemarchand, 2008). Cette large diffusion de l'information, et sa capacité à être interactive au sein des réseaux sociaux, participe à l'amplification de certaines controverses.

### ■ 2.9. Militantisme

Les associations évoquées plus haut regroupent des personnes d'origines sociales diverses et aux motivations et objectifs variés, allant de la sauvegarde d'espèces sauvages menacées à la remise en cause de systèmes de production, ou même de la domestication. On parlera de radicalité lorsque ces objectifs mettent en cause de fortes traditions (gavage des oies et canard pour la production de foie gras par exemple) ou des systèmes économiques dominants qui sous-tendent l'industrialisation de l'élevage. Dans son extrémisme utopique, l'animalisme pourrait même être considéré comme une animalisation de la radicalité (Wolff, 2017). À militantisme radical, oppositions musclées. Ce sont, par exemple et dans deux registres très différents, celles d'un philosophe politiquement engagé s'inquiétant de dérives antihumanistes (Ferry, 1992) ou celles de spécialistes du renseignement s'alarmant d'actions militantes violentes (Dénécé et Abou Assi, 2016).

La nature des associations de protection de l'animal a sensiblement évolué en France ces quatre dernières décennies (la revue « *Cahiers antispécistes. Réflexion et action pour l'égalité animale* » est fondée en 1991), en particulier sous l'influence de travaux théoriques nord-américains sur les droits des animaux et sur la libération animale (Burgat, 2009). Deux grands courants peuvent être distingués avec les associations, les plus anciennes, qui prônent une « *déontologie de l'exploitation animale* » (un « *oui, mais sans souffrance* ») et celles qui militent pour la remise en cause de cette exploitation (Burgat, 2009). On assiste globalement à un processus socio-historique de montée en puissance du « zoocentrisme » qui peut se définir comme « *une manière de penser les relations humains/animaux à travers le prisme des intérêts et le point de vue de ces derniers* » (Michalon, 2017).

## 3. Enjeux pour la recherche agronomique

Les critiques contemporaines sur l'élevage sont sources de nouveaux enjeux pour les chercheurs impliqués dans les productions animales, cela en termes d'objectifs, mais aussi de nouvelles méthodes à développer. Ce sont d'abord des enjeux d'acquisition de nouvelles connaissances en s'aidant d'outils de recherche qui ont considérablement évolué ces trente dernières années : génomique, protéomique, métabolomique, imagerie, miniaturisation des capteurs, géolocalisation, modélisation, traitement des métadonnées... Il existe aussi une demande faite aux chercheurs, et de manière plus insistante qu'auparavant, d'être acteurs du processus d'innovation (Meynard et Dourmad, 2014). Or « *La notion d'innovation embarque de fait beaucoup de questions de natures différentes, auxquelles apporter des réponses nécessite une interdisciplinarité entre sciences techniques et sciences sociales* » (Ingrand et Dedieu, 2014). Meynard et Dourmad (2014) identifient quatre principaux moteurs d'innovations en élevage : *i*) l'évolution de la demande alimentaire, *ii*) la maîtrise des nuisances environnementales et la protection des ressources non renouvelables, *iii*) le travail des agriculteurs et les formes d'agriculture, *iv*) l'évolution de la place de l'agriculture dans les territoires. Bien qu'évoqué brièvement par les auteurs dans leur exposé sur l'évolution de la demande alimentaire par « *l'émergence de mouvements de défense des animaux* », nous ajouterons explicitement un cinquième moteur : le souhait exprimé, y compris par des éleveurs, d'un plus grand respect du bien-être des animaux ainsi qu'un souci éthique dans le processus de leur mise à mort. La conception innovante d'un système d'élevage peut se faire pas à pas (évolution progressive d'un système existant) ou *de novo* (invention d'un système en rupture par rapport à l'existant). Dans les deux cas, la démarche consistant à situer l'analyse au niveau du système dans son ensemble est relativement récente (Meynard et Dourmad, 2014). Plus largement, le concept de « bouquets de services » fournis par les

élevages, intégrant services écosystémiques et externalités, situe l'analyse au niveau des territoires (Dumont *et al.*, 2017).

Que ce soit pour diminuer ou supprimer les effets négatifs des élevages ou pour amplifier leurs effets positifs, il est nécessaire de disposer de méthodes d'évaluation robustes de ces effets ainsi que de dispositifs analytiques ou expérimentaux permettant d'en identifier les mécanismes. De nombreuses méthodes d'évaluation multicritères ont été proposées. Elles sont souvent appliquées au niveau des systèmes d'élevage avec l'objectif d'améliorer des indicateurs de durabilité (Lairez *et al.*, 2017). Des approches multicritères, mais également pluridisciplinaires, sont aussi utilisées pour des objectifs plus ciblés au sein d'un système, tel que l'évaluation du bien-être animal (Veissier *et al.*, 2010). La collecte et la validation des données récoltées est une étape importante de ces méthodes. Celle-ci peut être facilitée et consolidée dans une démarche participative (Gouttenoire *et al.*, 2014), démarche qui présente d'autres avantages, comme ceux de favoriser les partenariats et d'être favorable à l'innovation et à sa diffusion (Meynard et Dourmad, 2014).

Si l'on s'intéresse aux caractéristiques de l'animal, le développement, depuis le début des années 2000, de l'évaluation génomique comme méthode d'estimation de la valeur génétique individuelle des animaux d'élevage permet une sélection plus efficace et plus rapide que les méthodes reposant sur l'évaluation des performances des descendants ou des collatéraux. Sans renoncer aux progrès génétique sur des caractères classiques, dont ceux relatifs à la qualité des produits, les objectifs de cette sélection peuvent plus facilement intégrer de nouveaux caractères favorables à la réduction des aspects négatifs des élevages. Ce peut être l'augmentation des résistances aux maladies, l'augmentation de la résistance à des stress, l'accroissement de la longévité pour diminuer le nombre d'animaux laitiers non-productifs, l'amélioration de l'efficacité de la conversion alimentaire, la réduction des émissions de méthane, la meilleure

adaptation des comportements aux conditions d'élevage... (Tribout, 2011 ; Boichard et Brochard, 2012). Il peut aussi s'agir de sélectionner des animaux mieux adaptés à des alimentations dont le contenu en composants issus de ressources limitées doit être réduit, comme c'est le cas des huiles et farines de poissons en aquaculture (Burel et Médale, 2014).

La sélection de nouveaux caractères nécessite d'approfondir certaines questions liées aux fonctions biologiques des animaux pour proposer de nouvelles méthodes de phénotypage, y compris moléculaire, pertinentes et non létales, et si possible peu invasives pour l'animal et automatisables (Lagarrigue et Tixier-Boichard, 2011). Par ailleurs, si plusieurs facteurs interviennent pour réguler les effets négatifs ou positifs d'un élevage, et en particulier des facteurs économiques et politiques (Chatellier et Vérité, 2003), il reste que des diagnostics peuvent remettre spécifiquement en cause certaines méthodes et techniques d'élevage. Leurs modifications significatives ou leurs remplacements impliquent généralement des travaux portant directement sur l'animal. C'est par exemple le remplacement de traitements hormonaux pour le contrôle de la reproduction. Ces alternatives demandent en particulier d'approfondir nos connaissances sur les régulations des fonctions biologiques par les facteurs externes (Chemineau *et al.*, 2007), y compris par des mécanismes épigénétiques. Ce peut être encore le remplacement de procédés douloureux comme l'écornage des veaux et la caudectomie des porcelets ce qui demande d'approfondir nos connaissances sur les comportements des animaux en élevage. Plus largement, mieux connaître leur univers mental et leur représentation d'un monde où l'Homme est très présent peut aider à améliorer leur bien-être et leurs interactions avec l'éleveur (Le Neindre *et al.*, 2017).

Dans une réflexion sur l'avenir des recherches en productions et santé animales, Herpin et Charley, 2008, écrivaient : « *Les recherches en productions animales de demain devront tout à la fois produire des données génériques pour la connaissance du vivant et proposer des*

*systèmes de production innovants et compétitifs, en rupture avec l'existant* ». Outre les disciplines directement impliquées dans ces productions animales, bien d'autres sont requises pour proposer des choix d'évolutions des systèmes et des techniques, évaluer les conséquences potentielles de ces choix, et les mettre en œuvre. Il s'agit, en particulier, des disciplines relevant des sciences de l'environnement, de l'alimentation et des sciences humaines et sociales. Plusieurs métaprogrammes de l'Inra témoignent de ces interdisciplinarités. Enfin, et plus globalement, se développent des méthodes d'évaluation des impacts de la recherche en agriculture sur la société, qui mettent l'accent sur les dimensions systémiques des processus d'innovation, la dimension multi-niveaux des impacts et la temporalité longue (Temple *et al.*, 2018).

## Conclusion

Admettons que dès qu'il s'agit d'animal, « *les mises sont considérables et les enjeux polysémiques : le théologique, l'économique, l'eschatologique, l'institutionnel, l'épistémologique s'intriquent à tel point que, si l'on isolait une série, les débats deviendraient absurdes* » (De Fontenay, 1998). Nous vivons sans doute une période de transition où la surabondance de viande n'est plus un signe de progrès. À côté d'un modèle productiviste, de nouveaux modes d'agriculture se mettent en place (Deléage, 2013). Les scénarios les plus « durables » de prospectives récentes (Agrimonde-Terra du Cirad et de l'Inra et After2050 de l'association Solagro) intègrent une réduction de la consommation de viande correspondant à la tendance actuelle en France.

De nombreux chercheurs de l'Inra se sont déjà investis et continuent de s'investir pour répondre aux questions complexes que soulèvent l'évaluation objective des effets négatifs et positifs de l'élevage, ainsi que dans la remédiation des premiers et la valorisation des seconds. La question de l'acceptabilité des techniques qui en émergent se pose non seulement pour le consommateur, plutôt *Homo oeconomicus* (« être rationnel cherchant exclusivement son propre

intérêt»), mais aussi pour le citoyen, plutôt *Homo situs* (« Homme concret vivant, capable de conjuguer une pluralité d'im-pératifs ») (Larrère, 2003 ; Zaoual, 2005). Pour Pathou-Mathis (2017), « *Au cours du temps, face aux changements environnementaux, l'Homme s'est adapté. Il a, selon ses besoins, modifié son système économique et ses structures sociales, ce qui a, très souvent, entraîné une nouvelle perception de la Nature et transformé ses croyances* ». Si l'on adhère à cette analyse, les objectifs de la recherche

agronomique s'inscriront dans ces adaptations.

## Remerciements

Benoît Malpau, Françoise Médale et Stéphane Ingrand m'ont incité et encouragé à explorer ces questions. Un groupe de travail constitué de Jean-Pierre Bidanel, Pierre Dupraz, Raphaël Guatteo, Nathalie Hostiou, Marie-Céleste Le Bourhis et Valérie Toureau

a initié cette réflexion à partir d'interviews. Adel Selmi m'a accompagné au début de cette aventure et incité à approfondir les aspects historiques. Agnès Girard et Maryse Corvaisier m'ont apporté leur précieuse aide documentaire. De nombreuses personnes, collègues ou non, ont accepté des entretiens et discussions. Enfin, deux relecteurs anonymes ont fait de nombreuses suggestions constructives pour le texte final. Je les remercie tous sincèrement.

## Références

- Agulhon M., 1981. Le sang des bêtes. Le problème de la protection des animaux en France au XIX<sup>e</sup> siècle. *Romantisme*, 31, 81-110.
- Anses, 2017. Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA 3). Saisine n° 2014-SA-0234, 535p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0234Ra.pdf>
- Anses, 2018. Bien-être animal : contexte, définition et évaluation. Saisine n° 2016-SA-0288, 34p., <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2016SA0288.pdf>
- Baldin D., 2014. De l'horreur du sang à l'insoutenable souffrance animale. *Vingtième siècle Revue d'Histoire*, 123, 52-68.
- Baratay E., 2008. Bêtes de somme. Des animaux au service des Hommes. Éditions de La Martinière, Paris, France, 131p.
- Baratay E., 2015. L'Église et l'animal. Éditions du Cerf, Paris, France, 396p.
- Barbier M., 2003. Une interprétation de la constitution de l'ESB comme problème public européen. *RIDC*, 10, 233-246.
- Beardsworth A., 1995. The management of food ambivalence: Erosion and Reconstruction? In: *Eating agendas. Food and Nutrition as Social Problems* Maurer D. Sobal J. (Éds) New York, Aldine de Gruyter, 345 pp.
- Bidaud F., Lesage M., Claquin F., 2016. Le rapport Homme-Animal : cinq scénarios à l'horizon 2030. Centre d'Études et de Prospective, MAAF, Analyse N°95, 8p. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/publications/analyse/>
- Boichard D., Brochard M., 2012. New phenotypes for new breeding goals in dairy cattle. *Animal*, 6, 544-550.
- Boissy A., Arnould C., Chaillou E., Colson V., Désiré L., Duvaux-Ponter C., Greiveldinger L., Leterrier C., Richard S., Roussel S., Saint-Dizier H., Meunier-Salaün M.C., Valance D., 2007. Emotions et cognition : stratégie pour répondre à la question de la sensibilité des animaux. In : Numéro spécial, Bien-être animal. *INRA Prod. Anim.*, 20, 17-22.
- Boivin X., Bensoussan S., L'hotellier N., Bignon L., Brives H., Brule A., Godet J., Grannec M.L., Hausberger M., Kling-Eveillard F., Tallet C., Courboulay V., 2012. Hommes et animaux d'élevage : vers une approche pluridisciplinaire des pratiques relationnelles. In : Numéro spécial, Travail en élevage. Hostiou H., Dedieu B., Baumont R. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 25, 159-168.
- Bortolamiol S., Raymond R., Simon L., 2017. Territoires des humains et territoires des animaux : éléments de réflexions pour une géographie animale. *Ann. Géo.*, 716, 387-407.
- Burel C., Médale F., 2014. Quid de l'utilisation des protéines d'origine végétale en aquaculture ? *OCL*, 21, D406, 15 p., <https://doi.org/10.1051/ocl/2014013>
- Burgat F., 2009. La mouvance animalière. Des « petites dames de la protection animale ». À la constitution d'un mouvement qui dérange. *Pouvoirs*, 4, 73-84.
- Burgat F., 2017. L'humanité carnivore. Éditions du Seuil, Paris, France, 480p.
- Chatellier V., Vérité R., 2003. L'élevage bovin et l'environnement en France : le diagnostic justifie-t-il des alternatives techniques ? *INRA Prod. Anim.*, 16, 231-249.
- Chemineau P., Malpau B., Brillard J.P., Fostier A., 2007. Seasonality of reproduction and production in farm fishes, birds and mammals. *Animal*, 1, 419-432.
- Corbeau J.P., 2002. Itinéraires de mangeurs. In : *Penser l'alimentation ; Entre imaginaire et rationalité*. Corbeau J.P., Poulain J.P. (Éds). Éditions Privat, Toulouse, France, 25-136.
- Dedieu B., Servière G., 2012. Vingt ans de recherche-développement sur le travail en élevage : acquis et perspectives. In : Numéro spécial Travail en élevage, Hostiou H., Dedieu B., Baumont R. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 25, 85-99.
- De Fontenay E., 1998. Le silence des bêtes : La philosophie à l'épreuve de l'animalité. Éditions Fayard, Paris, France, 1084p.
- Delanoue E., Roguet C., 2015. Acceptabilité sociale de l'élevage en France : recensement et analyse des principales controverses à partir des regards croisés de différents acteurs. *INRA Prod. Anim.*, 28, 39-50.
- Delanoue E., Dockes A.C., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l'élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. *INRA Prod. Anim.*, 31, 51-68.
- Deléage E., 2013. *Agricultures à l'épreuve de la modernisation*, Éditions Quae, Versailles, France, 98p.
- Delort R., 1984. *Les animaux ont une histoire*. Éditions du Seuil, Paris, France, 507p.
- Dénécé E., Abou Assi J., 2016. *Écoterrorisme. Altermondialisme, écologie, animalisme*. Éditions Taillandier, Paris, France, 368p.
- Descola P., 2005. *Par-delà nature et culture*. Gallimard. Paris, France, 640p.
- Digard J.P., 1990. *L'homme et les animaux domestiques. Anthropologie d'une passion*. Éditions Fayard, Paris, France, 325p.
- Domingo J.L., Nadal M., 2017. Carcinogenicity of consumption of red meat and processed meat: A review of scientific news since the IARC decision. *Food Chem. Toxicol.*, 105, 256-261.
- Doreau M., Farruggia A., Veyssset P., 2017. Aménités et impacts sur l'environnement des exploitations françaises élevant des bovins pour la viande. In : *Élevage bovin allaitant*. Agabriel J., Renand G., Baumont R. (Éds). *Dossier, INRA Prod. Anim.*, 30, 165-178.
- Dourmad J.Y., Delaby L., Boixadera J.L., Ortis C., Méda B., Gaigné C., Dumont B., 2017. Diversité des services rendus par les territoires à forte densité d'élevages, trois cas d'étude en Europe. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). *INRA Prod. Anim.* 30, 303-320.
- Dubreuil C., 2009. L'antispécisme, un mouvement de libération animale. *Ethnologie française*, 39, 117-122.
- Duby G., Wallon A., 1992. *Histoire de la France rurale. Tome 3, De 1789 à 1914, apogée et crise de la civilisation paysanne*. Éditions du Seuil, Paris, France, 575p.
- Ducrot C., Fric D., Lalmanach A.C., Monnet V., Sanders P., Schouler C., 2017. Perspectives d'alternatives thérapeutiques antimicrobiennes aux antibiotiques en élevage. *INRA Prod. Anim.* 30, 77-88.

- Dumont B., Ryschawy J., Duru M., Benoit M., Delaby L., Dourmad J.Y., Méda B., Vollet D., Sabatier R., 2017. Les bouquets de services, un concept clé pour raisonner l'avenir des territoires d'élevage. In : Numéro spécial, L'élevage en Europe : une diversité de services et d'impacts. Dumont B. (Éd). INRA Prod. Anim., 30, 407-422.
- Facco, 2016. Nouvelle enquête Facco/Kantar TNS : Début de stabilisation pour la population canine ? <http://www.facco.fr/les-chiffres/>
- Faure O., 1997. Le bétail dans la ville au XIX<sup>e</sup> siècle : exclusion ou enfermement. Cah. Hist. 42, 555-573.
- Ferrières M., 2002. Histoire des peurs alimentaires. Du Moyen Âge à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle. Éditions du Seuil, Paris, France, 482p.
- Ferry J.L., 1992. Le nouvel ordre écologique : L'arbre, l'animal et l'Homme. Éditions Grasset, Paris, France, 280p.
- Fontaine P., Legendre M., Vandeputte M., Fostier A., 2009. Domestication de nouvelles espèces et développement durable de la pisciculture. Cah. Agric., 18, 119-124.
- Font-i-Furnols M., Guerrero L., 2014. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products. Meat Sci., 98, 361-371.
- Gacon S., Grillot T., 2017. Manger autrement. Presses Universitaires de France, Paris, France, 97p.
- Gautier A., 1990. La domestication – Et l'homme créa ses animaux. Éditions Errance, Paris, France, 277p.
- Gouttenoire L., Taverne M., Cournot S., Hostiou N., Houdart M., Lardon S., 2014. Faciliter les échanges entre chercheurs sur les projets de recherche participative : proposition d'une grille d'analyse. Cah. Agric., 23, 205-212.
- Grannec M.L., Roguet C., 2017. Évaluation de l'impact des portes ouvertes sur la perception des élevages par les visiteurs. Journ. Rech. Porcine, 49, 323-324.
- Guatteo R., Levionnois O., Fournier D., Guemene D., Latouche K., Leterrier C., Mormède P., Prunier A., Servière J., Terlouw C., Le Neindre P., 2012. Minimising pain in farm animals: the 3S approach—'Suppress, Substitute, Soothe'. Animal, 6, 1261-1274.
- Guichet J.L., 2015. La douleur animale et sa perception humaine. Sens-Dessous, 16, 59-68.
- Guigon S., Jacques-Jouvenot D., 2007. Chouquette et Pimprenelle : « Les bêtes curieuses » aux abattoirs. Travailler, 17, 179-196.
- Guillaume P., 2003. Histoire sociale du lait. Editions Christians, Paris, France, 233p.
- Hardouin-Fugier É., 2009. Quelques étapes du droit animalier : Pie V, Schœlcher et Clemenceau. Pouvoirs, 131, 29-41.
- Herpin P., Charley B., 2008. Quel avenir pour les recherches en productions et santé animales ? In : Numéro spécial, 20 ans de recherches en productions animales à l'INRA. Charley B., Herpin P., Perez J.M. (Éds). INRA Prod. Anim, 21, 137-144.
- Ingrand S., Dedieu B., 2014. Avant-propos. In : Numéro spécial, Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage ? Ingrand S., Baumont R. (Éds). INRA Prod. Anim., 27, 75-76.
- Institut de l'élevage, 2018. Élevages bovins viande : S'adapter à la demande des marchés. Collection Synthèse, Édition Institut de l'élevage, FranceAgriMer, Paris, France, 42p. <http://www.franceagrimer.fr/>
- Kotras B., 2018. La voix du web. Nouveaux régimes de l'opinion sur internet. Éditions du Seuil, Paris, France, 108p.
- Lagarrigue S., Tixier-Boichard M., 2011. Nouvelles approches de phénotypage pour la sélection animale. In : Numéro spécial, Amélioration génétique. Mulsant P., Bodin L., Coudurier B., Deretz S., Le Roy P., Quillet E., Perez J.M. (Éds). INRA Prod. Anim., 24, 377-386.
- Laisney C., 2016. Végétarisme et flexitarisme, une tendance émergente ? VPC-32-4-2, 6p., [https://www.viandesetproduitscarnes.fr/phocodownload/vpc\\_vol\\_32/3242\\_laisney\\_vegetarisme\\_flexitarisme.pdf](https://www.viandesetproduitscarnes.fr/phocodownload/vpc_vol_32/3242_laisney_vegetarisme_flexitarisme.pdf)
- Lairez J., Feschet P., Botreau R., Bockstaller C., Fortun-Lamothe L., Bouvarel I., Aubin J., 2017. L'évaluation multicritère des systèmes d'élevage pour accompagner leurs évolutions : démarches, enjeux et questions soulevées. INRA Prod. Anim., 30, 255-268.
- Landais E., Bonnemaire J., 1996. La zootechnie, art ou science ? Entre nature et société, l'histoire exemplaire d'une discipline finalisée. Courr. Environ., INRA, 27, 23-44.
- Larrère R., 2003. L'élevage contemporain en question : demande sociale, préférences des consommateurs ou interrogations citoyennes ? In : Numéro spécial, Avenir des filières animales. Herpin P., INRA Prod. Anim., 16, 329-332.
- Larrère C., Larrère R., 1997. Le contrat domestique. Courr. Environ., INRA, 30, 6-17.
- Larochette B., Sanchez-Gonzalez J., 2015. Cinquante ans de consommation alimentaire : une croissance modérée, mais de profonds changements. Insee Première, n° 1568, 4p. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1379769>
- Legendre V., Sans P., Barrey S., Boutin B., 2017. Controverses sur la consommation de viande : enseignements d'une analyse sociologique. INRA Prod. Anim., 30, 479-786.
- Lemarchand F., 2008. L'évolution de la place des questions agricoles dans les médias : l'exemple de *Ouest-France*. Pour, 196-197, 261-265.
- Le Neindre P., Guatteo R., Guémené D., Guichet J.L., Latouche K., Leterrier C., Levionnois O., Mormède M., Prunier A., Serrie A., Servière S., 2009. Douleurs animales : les identifier, les comprendre, les limiter chez les animaux d'élevage. Expertise scientifique collective, rapport d'expertise, INRA, Paris, France, 340p.
- Le Neindre P., Bernard E., Boissy A., Boivin X., Calandreau L., Delon N., Deputte D., Desmoulin-Canselier S., Dunier M., Faivre N., Giurfa M., Guichet J.L., Lansade L., Larrère R., Mormède P., Prunet P., Schaal B., Servière J., Terlouw C., 2017. Animal Consciousness. European Food Safety Authority, External Scientific Report, 165p. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.EN-1196>
- Lesage M., 2013. Statut et droits de l'animal d'élevage en France : évolution, enjeux et perspectives. Centre d'Études et de Prospective, MAAF, Analyse N° 58, 4p. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/analyse581307.pdf>
- Marguënaud J.P., Leroy J., Boisseau-Sowinski L., Boyer-Capelle C., Chevalier E., Nadaud S., 2018. Code de l'animal. Éditions LexisNexis SA, Paris, France, 1058p.
- Menant O., Destrez A., Deiss V., Boissy A., Delagrèze P., Calandreau L., Chaillou-Sagon E., 2016. Régulation des émotions chez l'animal d'élevage : focus sur les acteurs neurobiologiques. In : Neurobiologie des fonctions et des comportements. Chaillou E., Tillet Y., Baumont R. (Éds). Dossier, INRA Prod. Anim., 29, 241-245.
- Mendras H., 1967. La fin des paysans : innovations et changement dans l'agriculture française. Édition S.E.D.E.I.S., Paris, France, 260p.
- Meynard J.M., Dourmad J.Y., 2014. L'innovation en élevage : de nouvelles démarches pour de nouveaux enjeux. In : Numéro spécial, Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage ? Ingrand S., Baumont R. (Éds). INRA Prod. Anim., 27, 77-88.
- Michalon J., 2017. Les *Animal Studies* peuvent-elles nous aider à penser l'émergence des épistémés réparatrices ? Rev. Anthropol. Connaiss., 11, 321-349.
- Mouret S., 2010. Détruire les animaux inutiles à la production. Une activité centrale du point de vue de la souffrance éthique des salariés en production porcine industrielle. Travailler, 24, 73-91.
- Mouret S., 2012. Élever et tuer des animaux. Presses Universitaires de France, Paris, France, 208p.
- Nozières-Petit M.O., Baritaux V., Dervillé M., Perrot C., Sans P., You G., 2018. Transformations des filières françaises de produits carnés et laitiers : la place des éleveurs en question. INRA Prod. Anim., 31, 69-82.
- Ocha, Certop, Credoc, 2016. Synthèse des résultats de l'étude Inquiétudes. 17p. <http://www.lemanager-ocha.com/>
- Pastoureau M., 1984. Quel est le roi des animaux ? Actes XV<sup>e</sup> congrès SHMES, 15, 133-142.
- Pathou-Mathis M., 2017. Mangeurs de viande. De la Préhistoire à nos jours. Éditions Perrin, Paris, France, 502p.
- Pierre E., 2003. L'hippophagie au secours des classes laborieuses. Communications, 74, 177-200.
- Porcher J., 2002. Éleveurs et animaux, réinventer le lien. Presses universitaires de France, Paris, France, 320p.
- Poulain J.P., 2002a. La décision alimentaire. In : Penser l'alimentation ; Entre imaginaire et rationalité. Corbeau J.P., Poulain J.P. (Éds). Éditions Privat, Toulouse, France, 25-136.

- Poulain J.P., 2002b. Sociologies de l'alimentation. Les mangeurs et l'espace social alimentaire. Presses Universitaires de France, Paris, France, 286p.
- Poulain J.P., 2008. Manger Aujourd'hui, Attitudes, normes et pratiques. Éditions Privat, Toulouse, France, 235p.
- Selmi A., Joly P.B., Remondet M., 2014. La construction d'un « animal nouveau » : la sélection génétique entre production de savoirs, marchés et action collective. Nat. Sci. Soc., 22, 33-41.
- Singer P., 1973. Animal liberation. Towards an end to man's inhumanity to animals. Éditions Granada Publishing, Paladin Books. Londres, UK, 285p.
- Temple L., Gaunand A., Trouches G., Vall E., 2018. Évaluer les impacts des recherches en agriculture sur la société et les écosystèmes : outils, méthodes, études de cas. Cah. Agric., 27, 34002. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018022>
- Tribout T., 2011. Perspectives d'application de la sélection génomique dans les schémas d'amélioration génétique porcins. In : Numéro spécial, Amélioration génétique. Mulsant P., Bodin L., Coudurier B., Deretz S., Le Roy P., Quillet E., Perez J.M. (Éds). INRA Prod. Anim., 24, 369-376.
- Veissier I., Botreau R., Perny P., 2010. Évaluation multicritère appliquée au bien-être des animaux en ferme ou à l'abattoir : difficultés et solutions du projet Welfare Quality®. INRA Prod. Anim., 23, 269-284.
- Vialles N., 1987. Le sang et la chair. Les abattoirs des Pays de l'Adour. Éditions Maison des Sciences de l'Homme, Paris, France, 157p.
- Vigne J.D., 2007. Les débuts néolithiques de l'élevage des bovidés et de l'exploitation laitière dans l'ancien monde. In : L'Homme, le mangeur, l'animal – Qui nourrit l'autre ? Poulain J.P. (Éd). Cah. Ocha, 1, 45-57.
- Wolff F., 2017. Trois utopies contemporaines. Éditions Fayard, Paris, France, 180p.
- Zaoual H., 2005. « Homo oeconomicus ou Homo situs ? Un choix de civilisation ». Finance & Bien Commun, 22, 63-72.

## Résumé

Plusieurs travaux sociologiques ont permis d'identifier des sujets de contestation des élevages en France. Cette contestation s'accompagne d'une baisse de la consommation moyenne par habitant des produits carnés, à l'exception de la volaille, avec une évolution des comportements alimentaires. Sans nier les effets du prix des produits carnés et du revenu des ménages sur les décisions d'achat des consommateurs, nous nous intéressons ici à d'autres éléments pouvant influencer les points de vue des citoyens sur les élevages. Avec quelques repères historiques, l'évolution de la place de l'animal dans la société est examinée. Sont ensuite passés en revue : poids économique de l'élevage, conditions d'élevage et de mise à mort de l'animal, débats philosophiques, choix religieux, choix alimentaires, choix culturels, coexistence des animaux et des citoyens, intérêt des médias pour l'animal et son élevage, militantisme. Pour finir, nous évoquons brièvement les pistes explorées par la recherche agronomique, que ce soit au niveau de l'évolution des systèmes d'élevage et de leurs impacts négatifs et positifs, ou au niveau de la biologie de l'animal. Des données génériques sont acquises à ces différents niveaux et des approches interdisciplinaires sont développées pour mieux appréhender des phénomènes complexes et proposer des innovations. Enfin, plusieurs méthodologies sont utilisées pour différents types d'évaluation à différentes échelles permettant d'affiner les diagnostics, d'anticiper les conséquences d'une innovation technologique, de repérer objectivement les progrès ou les retards par rapport à des objectifs d'amélioration des systèmes, et aussi d'aborder la question des impacts de la recherche en agriculture sur la société.

## Abstract

### **Evolution of animal status and point of views on animal farming in French society: what challenges for agricultural research?**

*Sociological studies have identified several points of dispute regarding animal farming in France. Furthermore, the consumption of meat products is decreasing except for poultry meat. In this paper, the possible reasons for this trend are analyzed by taking into consideration the views of citizens on animal farming without denying the influence of product prices and household incomes on customers' buying decisions. The evolution of animal status is examined by considering the historical background. Then, various factors which could be involved in developing points of views are considered: economical weight of the animal farming sector, farming and slaughter methods, philosophical debates, religious options, food choices, cultural attitudes, animals in the city, information sources and activism. Finally, some new strategies of agricultural research are highlighted. Interdisciplinary generic knowledge is produced both in animal biology and the livestock farming systems in order to decipher complex mechanisms to propose innovative solutions. In addition, various evaluation methods are developed to improve diagnostics, anticipate the effects of technological innovations, follow the evolution of farming systems according to improvement objectives, and analyze the impact of agricultural research on society.*

FOSTIER A., 2019. Évolution de la place de l'animal et des points de vue sur son élevage dans la société française : quels enjeux pour la recherche agronomique ? In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 221-232.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2465>



# Quelles performances pour les animaux de demain ? Objectifs et méthodes de sélection

Pascale LE ROY<sup>1</sup>, Alain DUCOS<sup>2</sup>, Florence PHOCAS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PEGASE, INRA, Agrocampus Ouest, 35590, Saint-Gilles, France

<sup>2</sup> GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, ENVT, Castanet Tolosan, France

<sup>3</sup> GABI, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 78350, Jouy-en-Josas, France

Courriel : pascale.le-roy@inra.fr

■ Les systèmes d'élevage évoluent et se diversifient pour répondre aux attentes environnementales, économiques et sociales des citoyens, des consommateurs et des éleveurs. Les programmes de sélection animale évoluent donc eux aussi en s'enrichissant de nouveaux caractères à améliorer et en permettant la procréation puis la diffusion de nouveaux génotypes.

## Introduction

Dans les pays développés des zones tempérées, les programmes d'amélioration génétique ont permis des gains de productivité spectaculaires dans la plupart des espèces animales au cours des cinquante dernières années (Hill, 2016 ; Berry, 2018). Le contrôle des performances des animaux a joué un rôle essentiel dans l'obtention de ces progrès. Des systèmes élaborés de collecte, de gestion et de traitement de l'information phénotypique et généalogique ont été mis en place par les entreprises et organismes de sélection animale avec, en France particulièrement, l'appui important des pouvoirs publics (Bougler, 1992 ; Selmi *et al.*, 2014).

Cependant, les objectifs de sélection ont été le plus souvent pensés dans le cadre de systèmes de production considérés comme « standards », optimisés en termes d'alimentation, de logement, d'environnement sanitaire, etc. Ainsi, l'équation classique de la génétique quantitative, décrivant la performance (P) d'un animal comme soumise aux

effets indépendants de son génotype (G) et de son environnement (E), soit  $P = G + E$ , a constitué le modèle de référence de la sélection animale.

Si cette approche simplifiée a bien conduit au progrès génétique espéré sur les objectifs de sélection préalablement définis pour accroître la productivité et les qualités des produits, elle a également conduit à des réponses corrélées défavorables sur certaines aptitudes fonctionnelles des animaux (fertilité, résistance aux maladies, longévité, comportement...), et, globalement, à une perte de robustesse des animaux et une diminution de la résilience des systèmes de production (Rauw *et al.*, 1998 ; Star *et al.*, 2008 ; Barbat *et al.*, 2010). La volonté actuelle s'oriente vers des approches plus holistiques, s'inspirant des principes de l'agroécologie (Phocas *et al.*, 2017), pour concevoir des systèmes productifs mais moins artificialisés, plus respectueux de l'environnement et plus autonomes. Il faut, d'une part, utiliser et préserver au mieux les ressources locales en adaptant les pratiques pour préserver la biodiversité et

assurer la fourniture de services écosystémiques. Il s'agit, d'autre part, de valoriser les interactions entre toutes les composantes des systèmes de production, par un recours accru aux régulations biologiques et écologiques, afin de permettre le bouclage des cycles biogéochimiques et ainsi limiter les intrants et les pollutions. L'évolution et la diversification des systèmes d'élevage (standard, bio, certifié, sous label...), ainsi que la mondialisation des échanges d'animaux et de produits, rendent aujourd'hui nécessaire la complexification du modèle additif de description des performances par la prise en compte des interactions génotype x environnement (G x E) :  $P = G + E + G \times E$ .

L'objectif de cet article est de proposer les bases d'une réflexion sur les objectifs et les méthodes de sélection d'aujourd'hui (la génomique) et de demain (la modification ciblée des génomes) qui pourraient concourir à une amélioration génétique des espèces d'élevage plus efficiente et pertinente, contribuant au développement durable des systèmes de productions animales.

## 1. L'évolution des objectifs de sélection

Une motivation importante de la diversification des systèmes d'élevage est de répondre aux principales attentes des éleveurs et de la société envers l'élevage. Les demandes concernent notamment les conditions de vie des animaux (priorité forte des citoyens interrogés), la sécurité sanitaire et la qualité des produits, la compétitivité des élevages et la protection de l'environnement (Delanoue *et al.*, 2018).

L'éthique de la relation Homme-animal est un premier enjeu fort. Ainsi, les systèmes d'élevage doivent évoluer pour trouver des alternatives aux pratiques constituant des atteintes indiscutables au bien-être des animaux : castration des porcelets sans anesthésie, écornage, coupe des queues, élimination de poussins, etc. Plus globalement, la tendance est à la conception de dispositifs d'élevage offrant aux animaux des conditions de vie plus conformes à leur statut d'être sensible, mais aussi plus fluctuantes, moins standardisées, notamment dans les espèces de monogastriques (porc, volailles) : élevage en groupe, accès au plein air, etc.

Un autre enjeu fort pour les filières de productions animales, moteur de leur évolution actuelle, est de réussir à concilier performances « économique », « environnementale » et « sociale ». Comme nous le verrons, la réduction des rejets polluants est un objectif bien identifié, mais il faut également considérer que la valorisation des espaces non cultivables par des prairies permanentes rend de grands services à l'environnement (stockage de carbone, réserves de biodiversité – auxiliaires de cultures, pollinisateurs, épuration et régulation de l'eau...). À ces services écosystémiques, s'ajoute un rôle économique et social des activités d'élevage qui permettent de maintenir de l'activité, et donc des emplois, dans certains territoires. Sur le plan social, il s'agit aussi de définir les modalités d'élevage et de sélection qui assurent aux éleveurs, non seulement une rentabilité économique de leurs exploitations, mais également des conditions de tra-

vail améliorées (risques réduits pour leur santé et leur sécurité, maîtrise du temps de travail, reconnaissance de leur rôle essentiel pour assurer la sécurité alimentaire, la qualité des productions et de l'environnement).

Une évolution des programmes de sélection animale doit accompagner l'évolution des systèmes d'élevage répondant aux grands enjeux énoncés ci-dessus.

### ■ 1.1. Créer et diffuser des génotypes variés pour des systèmes d'élevage diversifiés

Le point de départ de tout programme de sélection consiste à définir l'ensemble des aptitudes biologiques héritables que l'on souhaite améliorer dans la (ou les) population(s) considérée(s). Il convient ensuite de résumer cet ensemble de caractères dans une fonction – dite « objectif de sélection » – qui attribue une valeur de synthèse aux candidats à la sélection pour permettre un choix raisonné des futurs reproducteurs parmi eux. L'objectif de sélection d'une population est donc une fonction des valeurs génétiques « vraies » (mais inconnues) des aptitudes à améliorer pour accroître la valeur ajoutée des animaux pour l'éleveur, la filière ou tout autre niveau d'organisation. Définir cette fonction procure un moyen rationnel de classer les animaux pour choisir ceux qui, à l'échelle de la population, offrent le meilleur compromis entre plusieurs aptitudes d'intérêt économique, environnemental ou social.

Pour développer de nouveaux systèmes de production conformes aux exigences du développement durable des filières d'élevage au XXI<sup>e</sup> siècle, il est nécessaire de réorienter la sélection vers des aptitudes différentes et complémentaires de celles privilégiées jusqu'à présent en élevage conventionnel (**encadré 1**) (Phocas *et al.*, 2017). Il faut alors proposer de nouvelles combinaisons de caractères adaptées aux objectifs des éleveurs engagés dans un processus de modernisation (Ahlman *et al.*, 2014). Dans toutes les filières animales, il s'agit d'orienter la sélection vers plus de robustesse, une gestion

plus efficace de la santé et une efficacité alimentaire accrue des animaux en situation de ressources quantitative-ment et/ou qualitativement limitantes (Phocas *et al.*, 2014a).

### 1.2. Économiser les ressources naturelles et réduire l'impact environnemental de l'élevage

Face à l'accroissement de la population humaine mondiale et de sa demande en protéines animales, il s'agit de limiter la compétition pour l'usage des terres et de l'eau, et réduire l'empreinte écologique des élevages en optimisant la transformation des ressources alimentaires en produits, tout en valorisant des ressources alimentaires locales et peu concurrentielles de l'alimentation humaine. Dès lors que l'on peut mesurer de manière fiable les quantités ingérées, on sait depuis longtemps sélectionner sur l'indice de consommation (ratio de la quantité d'aliment consommée sur la quantité de viande, lait ou œufs produite) ou la consommation résiduelle (écart entre la consommation réelle et la consommation théorique prédite d'après les performances de production) pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'aliment.

À l'exception notable des espèces aquacoles, la question n'est donc plus vraiment la mesure de l'ingéré elle-même, mais plutôt la composition de la ration utilisée pour évaluer l'efficacité alimentaire (Phocas *et al.*, 2014b). Il faut rechercher des animaux plus efficaces, ingérant et valorisant mieux les prairies et les fourrages qui en découlent pour les ruminants, acceptant de nouvelles ressources alimentaires (algues, insectes par exemple), des coproduits (de cultures végétales ou d'industries agroalimentaires) ou des aliments locaux contenant plus de fibres alimentaires, de moindres qualités énergétique et protéique, pour les monogastriques. L'objectif est désormais d'améliorer l'efficacité de la transformation en produits animaux de ces régimes moins riches alors que l'amélioration réalisée jusqu'à présent a concerné l'efficacité de la transformation de rations peu fibreuses, riches en énergie et protéines, et très digestibles. La question posée concerne alors

**Encadré 1. Historique simplifié de l'intégration de nouveaux caractères dans les objectifs de sélection des volailles, porcs ou ruminants en filières de production de viande (V) ou de lait (L).**

Des années 1960 à 1980, les programmes d'amélioration génétique des animaux d'élevage ont visé une productivité maximale en réalisant une sélection sur un faible nombre de caractères de production, dont certains indicateurs de la qualité des produits. Depuis les années 1990, les programmes d'amélioration génétique se sont progressivement réorientés pour aller vers la sélection d'animaux plus efficaces et plus robustes. Cette réorientation est cruciale pour garantir une adaptation à une plus grande diversité de systèmes de production et faire face aux évolutions défavorables des caractères de santé, survie et reproduction des animaux constatées dans certaines filières. La réorientation réalisée a accru fortement le nombre de caractères considérés dans les programmes de sélection, tant pour les filières de production de lait (L) que de viande (V). Il s'agit alors d'améliorer, pour tout système de production, une combinaison de caractères ayant trait aux fonctions biologiques de production, reproduction, survie et santé des animaux. Jusqu'à présent, la prise en compte de nouveaux caractères se fait de manière cumulative dans les programmes de sélection : les nouveaux caractères viennent en complément des caractères déjà sélectionnés, en faisant évoluer le poids accordé à chacun d'eux dans l'objectif de sélection global.



aux stress abiotiques (fréquence et intensité accrues des anomalies météorologiques : périodes de forte chaleur, précipitations exceptionnelles) et biotiques (évolution des populations d'agents pathogènes).

En cas de stress thermique prolongé, on observe une diminution des niveaux de production et de reproduction des animaux, liée principalement à une réduction de leur ingestion. Pour garantir la durabilité des systèmes de production animale, il est donc important de sélectionner des animaux résistants à la chaleur. Jusqu'à présent, le principal critère pris en compte dans les programmes de sélection est le maintien des performances de production en condition de stress thermique. D'autres caractères, comme par exemple les changements de température corporelle, de production de chaleur ou de rythme respiratoire sont étudiés comme critères potentiels de sélection de la thermo-tolérance (Renaudeau *et al.*, 2004).

L'émergence et/ou la sévérité de maladies à l'échelle d'un troupeau dépend des mesures de protection adoptées (règles de biosécurité, vaccination...), des conditions et pratiques d'élevage (logement, alimentation, type de conduite, utilisation de médicaments...), des caractéristiques des agents pathogènes incriminés, mais aussi de la résistance/tolérance intrinsèque des animaux à l'apparition de troubles infectieux et/ou parasitaires. Cependant, à l'exception peut-être de quelques maladies évoquées ci-dessus, nos connaissances en matière de déterminisme génétique des caractères de résistance/tolérance sont encore relativement limitées. Un effort de recherche important reste nécessaire dans ce domaine.

La sélection directement dirigée vers la résistance à une maladie spécifique est une approche classiquement utilisée pour tenter de réduire l'impact de certaines pathologies. Cette stratégie est intéressante pour les maladies à forte incidence et impact économique conséquent. Mise en œuvre initialement chez les bovins dès les années 80 dans les pays scandinaves (Heringstad

l'existence d'interactions génotype x aliment affectant les performances et induisant un reclassement éventuel des candidats à la sélection selon l'aliment considéré.

Par ailleurs, à efficacité alimentaire constante, on peut chercher à réduire la quantité des déjections et des émissions de gaz à effet de serre (en particulier la production de méthane entérique chez les ruminants). Connaître la composition des rejets animaux est également indispensable pour leur bonne valorisation comme fertilisant ou pour la production d'énergie. Ainsi, l'amé-

lioration de celle-ci en fonction de l'utilisation ultérieure des rejets, par exemple en améliorant l'équilibre du ratio azote/phosphore des effluents de monogastriques (Mignon-Grasteau *et al.*, 2010), est une piste de recherche de nouveaux caractères intéressants à sélectionner dans une perspective agroécologique.

**■ 1.3. Adapter les animaux à des environnements moins contrôlés**

Le changement climatique rend nécessaire l'adaptation des animaux

et al., 2000), puis largement déployée dans tous les pays, elle a montré son efficacité pour limiter les mammites dans les principales espèces de ruminants laitiers (Morris, 2007 ; Rupp et al., 2009). D'autres programmes de sélection, visant par exemple à améliorer la résistance des petits ruminants aux strongles gastro-intestinaux (Moreno-Romieux et al., 2015), à réduire l'incidence de la tremblante classique dans la majorité des races ovines européennes (Sidani et al., 2010), ou encore à améliorer la résistance des poissons à certaines maladies infectieuses comme la nécrose pancréatique chez le saumon (Moen et Ødegård, 2014), ont également eu des répercussions favorables pour les filières concernées.

Si la sélection sur la résistance directe à une maladie a montré son efficacité dans certaines situations, cette approche a toutefois des limites importantes :

i) améliorer la résistance à un agent pathogène (ou un ensemble d'agents pathogènes) n'implique pas nécessairement que l'on améliore la résistance générale de l'individu ;

ii) l'acquisition d'une résistance à une maladie particulière peut même, potentiellement, se traduire par une susceptibilité accrue à d'autres agents pathogènes, induisant un risque sanitaire important pour les populations concernées ;

iii) par ailleurs, il est rare qu'un seul agent pathogène prédomine, et celui à combattre en priorité dépend fortement des conditions de production (Davies et al., 2009) ;

iv) enfin, cibler un mécanisme de résistance unique chez l'hôte peut entraîner un contournement par le pathogène, rendant la sélection réalisée rapidement inefficace.

Une alternative consiste à sélectionner pour la résistance aux troubles infectieux non spécifiques (Gunia et al., 2015). Mais une approche encore plus globale consiste à améliorer l'immuno-compétence générale des animaux, en sélectionnant sur un ensemble de caractères héréditaires représentatifs des différentes facettes de la réponse

immunitaire, comme la production d'anticorps, la réponse cellulaire et l'activité phagocytaire (Rogel-Gaillard et al., 2011). Toutefois, l'efficacité d'une telle approche pour améliorer la santé générale des animaux d'élevage n'est pas clairement établie à l'heure actuelle, bien qu'une forte variabilité génétique des critères de réponse immune ait été observée dans diverses espèces (volailles : Lamont et al., 2003 ; porc : Flori et al., 2011 ; bovins : Thompson-Crispi et al., 2012).

## 2. Les apports de la génomique

Le modèle de référence en génétique appliquée à l'amélioration des animaux domestiques est le modèle d'hérédité polygénique proposé par Fisher (1918). Celui-ci suppose que les caractères sont influencés par un très grand nombre de gènes dont les effets individuels très faibles s'additionnent. Bien qu'il soit tout à fait opérationnel, il est fréquent que ce modèle soit assez éloigné de la réalité biologique car les effets des gènes ne sont pas tous identiquement faibles, et certains ont des effets individualisables sur certains caractères. Leur détection est un problème courant en génétique animale, qui a connu un regain d'intérêt au début des années 1980, suite à la mise en évidence de plusieurs gènes dits « majeurs » dans diverses espèces (Le Roy, 1992). Une nouvelle stratégie s'est alors développée : accroître et accélérer la création du progrès génétique par la prise en compte explicite d'informations sur le génome dans les programmes de sélection. Depuis lors, les connaissances sur la structure et le fonctionnement des génomes animaux ont énormément progressé, en lien avec les progrès très importants des techniques utilisées pour l'étude des acides nucléiques, ADN et ARN. Les méthodes de sélection ont elles aussi évolué en conséquence de façon spectaculaire.

### ■ 2.1. La sélection génomique

L'établissement des premières cartes génétiques des espèces d'élevage, au début des années 1990, a permis

un important développement des recherches sur l'hérédité mixte des caractères (gènes individualisables + fond polygénique). Il s'agissait de disposer de marqueurs génétiques, c'est-à-dire de balises bien réparties sur les chromosomes, permettant de tracer la transmission des segments chromosomiques, et donc indirectement des gènes affectant les caractères à sélectionner, entre générations. Lande et Thompson ont ainsi proposé, dès 1990, le principe de la Sélection Assistée par Marqueurs (SAM) reposant sur l'estimation de la valeur génétique des animaux en utilisant un « score moléculaire » en lieu et place de la « boîte noire » du modèle polygénique. Le séquençage des génomes des espèces d'animaux domestiques (Vignal, 2011) a rendu cette idée réalisable au cours des années 2000 grâce à la mise en évidence de centaines de milliers de marqueurs SNP (« *Single Nucleotide Polymorphisms* »). Meuwissen et al. (2001) ont alors proposé le concept de Sélection Génomique (SG) basé sur des techniques d'évaluation de la valeur génétique des animaux permettant l'intégration de ces nouvelles informations (Robert-Granié et al., 2011). Le principe de la SG est le même que celui de la SAM. Il s'agit d'exploiter le Déséquilibre de Liaison (DL), à savoir l'association préférentielle entre certains allèles (encore appelés variants ou polymorphismes) des marqueurs moléculaires répartis le long du génome et des gènes causaux affectant les caractères à sélectionner. En pratique, des équations de prédiction des valeurs génétiques peuvent être établies à partir de l'analyse statistique conjointe des performances (phénotypes) et des marqueurs (génotypes) observés chez les mêmes animaux d'une population de calibration (souvent appelée population de référence). Ces équations peuvent ensuite être appliquées à d'autres animaux sans performances connues afin de prédire la valeur génétique des candidats à la sélection dès leur naissance (en pratique dès que l'on peut extraire l'ADN).

Si le premier génome rendu public, pour une espèce animale d'élevage, a été celui de la poule en 2004, c'est chez le bovin, séquencé deux ans plus tard, que l'utilisation d'outils génomiques

a révolutionné les programmes de sélection. À partir de 2008, la disponibilité des puces bovines permettant de génotyper les individus pour 54 000 marqueurs SNP (puces 54k) a ainsi permis la mise en œuvre d'une sélection génomique à grande échelle dans les principales races bovines laitières en France (Guillaume *et al.*, 2011 ; Brochard *et al.*, 2013).

## ■ 2.2. Les gains génétiques attendus

Le progrès génétique annuel dans une population est défini comme le gain de valeur génétique observé en moyenne en 1 an chez des individus à la naissance et avant sélection. Son expression dépend de 4 paramètres : la variabilité génétique du caractère à améliorer, l'intensité de sélection appliquée, la précision des valeurs génétiques prédites et l'intervalle de génération. La sélection génomique peut permettre des gains de progrès génétique en jouant sur l'ensemble de ces paramètres.

Certains caractères, comme la résistance aux maladies ou les qualités sensorielles des produits, peuvent se révéler coûteux à mesurer à grande échelle. Le nombre de candidats à la sélection pour lesquels une information phénotypique est disponible peut alors être faible. L'intensité de sélection peut être augmentée par l'évaluation génomique, en élargissant la base de sélection, si le génotypage est plus facile à mettre en œuvre que le phénotypage. L'évaluation génomique peut également permettre d'estimer plus précisément et/ou plus précocement la valeur génétique d'un candidat. Ainsi, chaque fois que le phénotype informe peu sur la valeur génétique, d'importants gains de précision peuvent être obtenus par une évaluation génomique en comparaison avec une évaluation fondée sur le pedigree (performances des candidats et de leurs apparentés ; Lande et Thompson, 1990). C'est notamment le cas des caractères faiblement héréditaires (fertilité) ou nécessitant un contrôle de la descendance (production laitière) ou de collatéraux (ponte, qualité de la viande, résistance aux maladies). Enfin, la sélection génomique permet d'envisager

une réduction de l'intervalle de génération en obtenant une précision raisonnable des valeurs génétiques estimées avant même l'étape de phénotypage. Si l'intérêt est évident pour la sélection des bovins laitiers, il peut également être réel dans d'autres cas en permettant une sélection précoce des mâles sur des caractères exprimés par les femelles (reproduction) ou la prise en compte de nouveaux caractères peu héréditaires ou difficilement mesurables (caractères de santé ou de bien-être animal).

L'évaluation génomique pourrait donc se révéler très efficace pour améliorer les caractères fonctionnels que nous avons évoqués précédemment. En revanche, le gain attendu ne devrait pas être à la hauteur des coûts pour des caractères de croissance (poids vif) mesurés précocement et généralement assez héréditaires, donc efficacement sélectionnés sans le recours à la génomique. Enfin, dans les populations fermées d'effectif limité où le maintien d'une variabilité génétique suffisante demeure une question importante (races à petits effectifs, lignées sélectionnées des firmes privées), la sélection génomique permet, en caractérisant mieux l'aléa de méiose, de ne pas sur-représenter des pleins-frères/sœurs et de mieux échantillonner les candidats retenus dans différentes familles, ce qui contribue à ralentir l'augmentation de la consanguinité (Daetwyler *et al.*, 2007). Enfin, chez les espèces monogastriques, et parfois aussi chez les ruminants, des gains génétiques sont obtenus par l'utilisation de croisements entre populations. L'utilisation de la sélection génomique permet en théorie une meilleure prédiction des effets génétiques non additifs attendus en croisement, comme les effets d'hétérosis (Dekkers, 2007).

## ■ 2.3. Des programmes de sélection revisités

En quelques années, la sélection génomique a été mise en place chez les bovins laitiers, tant au niveau national que dans le cadre de l'évaluation internationale des reproducteurs. Les résultats obtenus ont pleinement validé les gains attendus et ont fourni certaines

règles à suivre pour faire une prédiction génomique précise (Robert-Granié *et al.*, 2011) et sauvegarder la diversité génétique (Colleau *et al.*, 2015). L'intérêt du partage des informations génomiques entre opérateurs concurrents, pour la création d'une grande population de référence, a également été démontré dans le cas de la race bovine Holstein (Lund *et al.*, 2010). Depuis, la sélection génomique a été envisagée dans d'autres races bovines ou espèces (Coudurier, 2011 ; Le Roy *et al.*, 2014 ; Carillier-Jacquin *et al.*, 2017). Toutefois, les situations sont parfois nettement moins favorables que chez les bovins laitiers. Le coût économique inhérent à l'établissement d'une population de calibration suffisamment grande pour permettre une évaluation génomique précise est un enjeu majeur. Il apparaît notamment de plus en plus clairement que les espoirs fondés sur l'exploitation de populations de calibration communes à plusieurs races sont déçus, l'influence de l'information apportée par les apparentés proches des candidats à évaluer étant beaucoup plus grande sur la précision de l'évaluation génomique que celle du DL historique, même avec une densité de marquage très élevée (Hozé *et al.*, 2014). La répartition de cette « mise de départ » entre les différents acteurs du programme de sélection se pose, en particulier pour les entreprises de sélection des filières monogastriques qui ne sauraient assumer seules ce coût. Pourtant, la valeur économique d'un reproducteur de race pure à l'étape de sélection d'un schéma pyramidal est élevée. En effet, elle est fonction de la valeur génétique du reproducteur, mais aussi du nombre de fois où celle-ci s'exprimera aux divers maillons de la filière ; par exemple, un coq de race pure sera l'arrière-grand-père d'environ 275 000 poules pondeuses qui produiront 85 millions d'œufs au cours de leur carrière. De nombreuses questions restent ainsi en suspens et la modélisation des programmes de sélection est une étape indispensable pour évaluer les gains attendus dans telle ou telle situation (Tribout *et al.*, 2013).

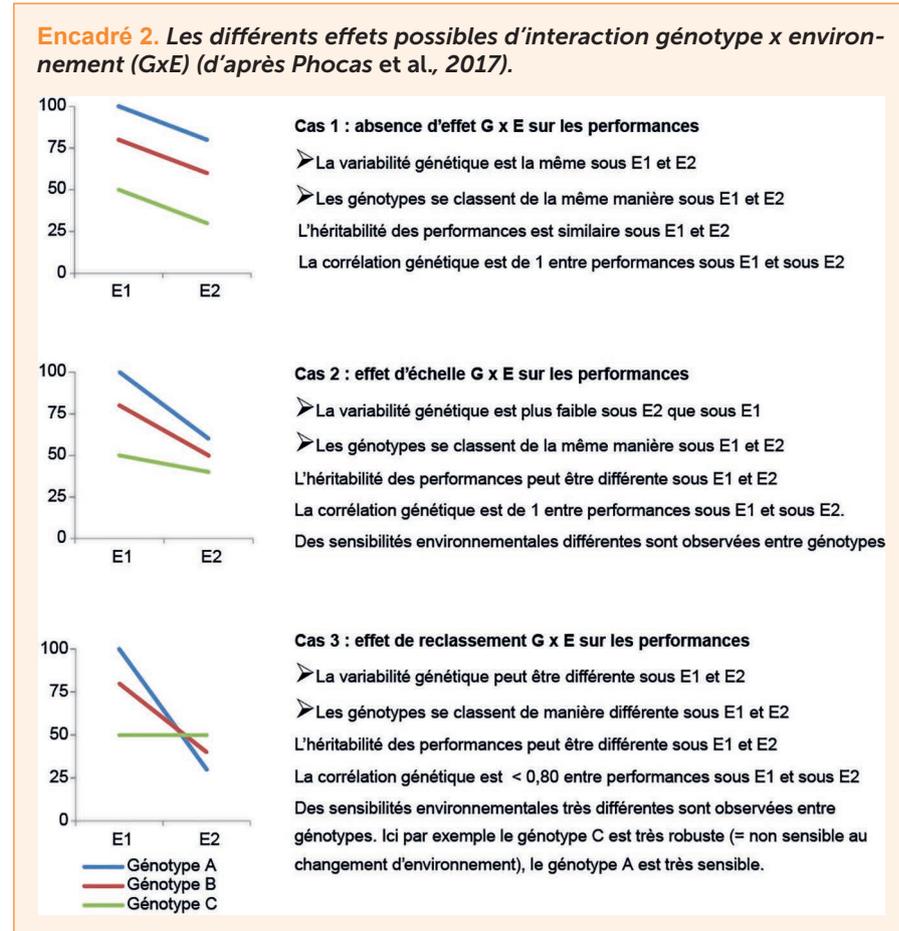
Dans un contexte d'évolution forte des objectifs de sélection vers plus de durabilité (voir le chapitre précédent),

l'amélioration génétique de « nouveaux » caractères pourrait être facilitée par l'apport d'informations génomiques en raison du plus faible nombre d'individus à phénotyper pour obtenir une précision donnée des valeurs génétiques prédites par rapport à une évaluation polygénique (Boichard *et al.*, 2016). Soulignons toutefois que si la génomique permet de s'accommoder d'un nombre plus faible d'animaux phénotypés, la suppression pure et simple du contrôle de performance n'est pas envisageable.

Par ailleurs, la structure pyramidale des programmes de sélection en croisement implique souvent des différences d'environnements entre l'étage de sélection et l'étage de production. Ce problème classique des interactions génotype x milieu peut lui aussi être revisité à la lumière de l'évaluation génomique. En déconnectant le calcul de la valeur génomique des candidats à la sélection de l'obtention des phénotypes, l'évaluation génomique est une stratégie permettant de sélectionner dans un environnement en ciblant la production dans un autre. L'opportunité de modifier l'objectif d'un progrès génétique en race pure en un progrès génétique pour une expression en production (croisement et interaction génotype x milieu) est donc bien réelle.

## ■ 2.4. Les pistes d'évolution pour le futur

Les technologies de séquençage des acides nucléiques continuant à évoluer de jour en jour, la prise en compte des polymorphismes directement responsables des effets estimés sur les caractères (polymorphismes causaux), en lieu et place du génotypage pour des marqueurs permettant de suivre ceux-ci, est aujourd'hui envisageable. En théorie, l'avantage est un effet sur les caractères, et par voie de conséquence une prédiction des valeurs génomiques des candidats, plus stable dans le temps intra-population, voire transférable d'une population à une autre. Ainsi, de grands programmes collaboratifs sont en cours pour faire progresser la connaissance sur la structure (projets « 1 000 génomes », Daetwyler *et al.*, 2014



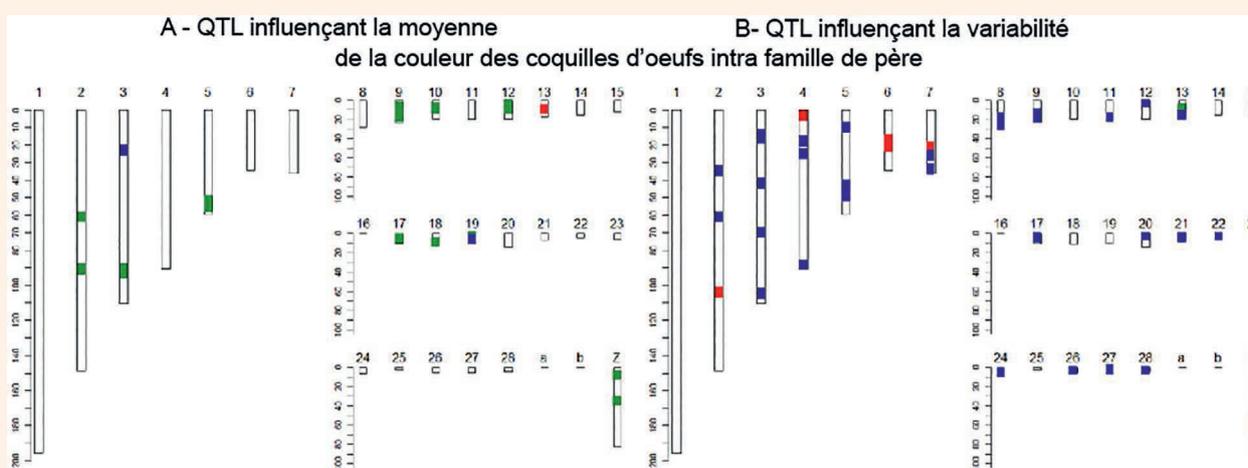
chez les bovins) et le fonctionnement (projets « ENCODE », voir Andersson *et al.*, 2015) des génomes des espèces d'élevage. Des approches dites de « génétique-génomique » (Le Mignon *et al.*, 2010) devraient ensuite permettre la réconciliation des informations structurelles et fonctionnelles à l'échelle des génomes pour caractériser les polymorphismes causaux recherchés.

En particulier, la compréhension du déterminisme génétique des interactions génotype x environnement (encadré 2) fait partie des espoirs fondés sur ces nouvelles connaissances. Trois hypothèses, non exclusives, coexistent pour expliquer la capacité des animaux à s'adapter aux variations environnementales (Bodin *et al.*, 2010). La première se rapproche de la notion de vigueur hybride, très utilisée en amélioration des plantes, en supposant qu'un animal s'adaptera d'autant mieux qu'il est « plus hétérozygote » à l'échelle de son génome (Gillespie et Turelli, 1989). L'utilisation du croisement entre populations portant des

allèles différents, c'est-à-dire sélectionnées sur des objectifs différents, permettrait alors d'augmenter les capacités d'adaptation des animaux. La seconde hypothèse suppose quant à elle que le déterminisme génétique des caractères varie d'un environnement à un autre (Falconer et Mackay, 1996). Cette hypothèse implique de sélectionner une population en fonction de l'environnement de production ciblé. Il n'est plus réellement question de capacité d'adaptation des animaux mais de population adaptée au système de production (Tixier-Boichard *et al.*, 2015). C'est l'hypothèse la plus cohérente avec la démarche agro-écologique évoquée précédemment. Il existe dans la littérature de nombreux exemples la corroborant, en particulier montrant une variation des effets de gènes « majeurs » en fonction de l'environnement : voir par exemple l'effet du gène « cou nu » chez la poule en fonction de la température (Monnet *et al.*, 1980) ou des interactions QTL x environnement (Romé *et al.*, 2015). Enfin, la troisième hypothèse suppose

**Encadré 3. Les zones du génome de la poule (QTL) qui influencent la moyenne et la variabilité de la couleur de la coquille d'œuf sont différentes et dépendent de l'aliment reçu par les poules.**

Un protocole expérimental a été mis en place afin de disposer de poules pondeuses, issues d'un même père, mais élevées dans des environnements différents (Romé *et al.*, 2015). Chaque père avait 40 filles nourries *ad libitum* avec un aliment dit « Basse Énergie » (BE) et 40 filles avec un aliment dit « Haute Énergie » (HE). Toutes ces poules étaient par ailleurs élevées dans les mêmes conditions. La figure de gauche (A) représente les zones du génome (QTL) qui ont un effet fort sur la moyenne de la couleur des coquilles des œufs pondus par les poules d'une famille. Chaque chromosome étudié est représenté par un bâton numéroté (1 à 28 pour les autosomes, a et b pour deux groupes de liaison, Z pour le chromosome sexuel), l'axe vertical donnant la position sur le chromosome, en Mégabases. Les QTL sont représentés par un spot coloré : en bleu, ceux détectés uniquement lorsque les poules reçoivent le régime BE ; en rouge, ceux détectés uniquement lorsque les poules reçoivent le régime HE ; en vert, ceux détectés quel que soit le régime reçu par les poules. La figure de droite (B) représente les QTL qui ont un effet fort sur la variabilité de la couleur des coquilles des œufs dans une famille, les codes couleur étant les mêmes que sur la figure de gauche. On peut observer que : les QTL affectant la moyenne et ceux affectant la variabilité de la couleur de la coquille ne sont pas les mêmes ; il y a plus de QTL influençant la variabilité que la moyenne de la couleur ; la plupart des QTL affectant la moyenne sont détectés quel que soit le régime reçu par les poules ; à l'inverse beaucoup de QTL affectant la variabilité s'expriment avec un seul régime, c'est-à-dire qu'ils sont en interaction avec le régime alimentaire ; une majorité d'entre eux s'expriment alors uniquement lorsque les poules reçoivent le régime BE, c'est-à-dire lorsqu'elles doivent s'adapter, en consommant plus, à un aliment non optimum par rapport à leurs besoins énergétiques.



l'existence de QTL « stabilisateurs » qui régulent l'expression des gènes influençant les caractères lorsque l'environnement varie (Scheiner et Lyman, 1989). Ces polymorphismes affectent la variabilité environnementale des caractères et non la variabilité génétique habituellement ciblée par la sélection (Hill et Mulder, 2010) et sont donc a priori différents des QTL influençant la moyenne des caractères (encadré 3 ; Romé *et al.*, 2018). Des expériences de sélection canalisante ont ainsi montré qu'il est possible de sélectionner pour « stabiliser » l'expression d'un caractère (Larzul *et al.*, 2006 ; Garreau *et al.*, 2008).

Les connaissances sur la structure et le fonctionnement des génomes devraient donc continuer à faire évoluer les méthodes de sélection dans les années à venir. Toutefois, la quantité de données devenant gigantesque, une stratégie opérationnelle pourra aussi consister à utiliser des techniques

d'intelligence artificielle pour faire de la fouille de données (« *data mining* ») afin de prédire la valeur génétique des candidats à la sélection sans modéliser celle-ci, c'est-à-dire sans chercher à comprendre le déterminisme génétique des caractères (Libbrecht et Noble, 2015). On assisterait alors à une rupture historique entre analyse du déterminisme génétique des caractères et gestion des populations en sélection.

**3. Perspectives offertes par les techniques de modification ciblée des génomes (ou « New Breeding Techniques », NBT en anglais)**

Comme illustré dans les paragraphes précédents, les programmes d'amélioration génétique ont très fortement

évolué au cours des dernières décennies, que ce soit en termes d'objectifs, de conception, d'organisation, de partenariat, de technologies mobilisées ou d'efficacité. À l'inverse, les principes fondamentaux qui sous-tendent ces programmes sont, jusqu'à ce jour, restés les mêmes : améliorer génétiquement des populations animales d'élevage nécessite dans un premier temps de mettre en évidence et de quantifier la variabilité d'origine génétique disponible pour les principaux caractères d'intérêt, si possible en en comprenant l'origine (description du déterminisme génétique de ces caractères) ; dans un second temps, on cherche à valoriser cette variabilité génétique à travers la mise en place de programmes de sélection (variabilité génétique intra-population), d'introgession (introduction dans une population indemne, dite receveuse, d'un allèle d'intérêt présent dans une autre, dite donneuse) ou de croisement (variabilité génétique entre populations).

### ■ 3.1. Les limites des programmes d'amélioration génétique actuels

Comme mentionné en introduction, les programmes d'amélioration génétique ont permis des gains de productivité spectaculaires. Ils n'en ont pas moins certaines limites, clairement identifiées.

Une limite importante est la relative lenteur avec laquelle les méthodes usuelles produisent leurs effets et le temps long nécessaire à la réalisation des programmes. L'introgression de gène(s) d'intérêt, par exemple, nécessite plusieurs générations de croisement en retour avec la population receveuse (6 à 8 en général). Dans certaines espèces à intervalle de génération long, comme les bovins, la durée de tels programmes est très importante (> 20 ans), et souvent réhibitoire dans la perspective d'une application commerciale. L'introgression, même assistée par marqueurs, s'accompagne aussi de l'incorporation dans le génome des animaux de la population receveuse, au voisinage du gène d'intérêt, de séquences non désirées, héritées de la population donneuse (manque de précision ou de « finesse » de la technique), et d'une augmentation de la consanguinité dans ces régions (Hospital, 2005).

Comme évoqué précédemment, les objectifs de sélection incluent classiquement de nombreux caractères (parfois plusieurs dizaines). Des corrélations génétiques défavorables peuvent exister entre certains, limitant les progrès génétiques réalisables simultanément pour chacun d'eux. Ces corrélations génétiques défavorables peuvent être la conséquence de l'association forte (DL important) entre un allèle favorable pour un caractère en un locus, et un allèle défavorable pour un autre caractère en un autre locus proche. Sans intervention directe sur le génome des animaux, seule la recombinaison méiotique peut contribuer à rompre ce type d'association. Sur de courtes distances, la probabilité de recombinaison est cependant (très) faible, ce qui nécessite un nombre de générations important pour s'affranchir de cette contrainte.

L'existence de corrélations génétiques défavorables entre caractères peut aussi conduire à la dégradation indirecte de caractères fonctionnels importants négligés ou sous-considérés dans les programmes de sélection, et induire des difficultés majeures pour certaines populations (dégradation de la fertilité des vaches Holstein par exemple ;Berry, 2018).

Mais la principale limite des méthodes usuelles d'amélioration génétique est qu'elles restent tributaires de l'existence d'une variabilité génétique apparue naturellement au sein des populations au cours de leur évolution. Sans variabilité génétique préexistante, les marges de manœuvre pour faire évoluer génétiquement les populations sont inexistantes.

### ■ 3.2. Apports des NBT

L'idée de s'affranchir de ces limites en utilisant certaines biotechnologies du génome (transgénése par exemple) n'est pas récente, mais la lourdeur, la relative inefficacité et le coût important des techniques disponibles ont pendant longtemps limité les perspectives de déploiement à grande échelle de telles approches. Cependant, l'avènement de nouvelles techniques de modifications ciblées des génomes à partir du début des années 2010 (« *new breeding techniques* », ou NBT), plus précises, plus efficaces, plus faciles à mettre en œuvre et moins coûteuses, modifie assez largement les perspectives (Ducos *et al.*, 2017). Il s'agit de modifications ciblées des génomes fondées sur l'utilisation de nucléases programmables : ZFN, TALEN, CRISPR-Cas9 (Petersen, 2017). Selon certains auteurs, promoteurs zélés de ces nouvelles technologies, elles offriront de nouvelles opportunités considérables pour l'amélioration génétique des espèces végétales et animales d'intérêt agronomique. Selon eux, seule une utilisation rapide et résolue de ces techniques permettrait de relever efficacement les défis importants auxquels les filières de productions animales devront faire face au cours du XXI<sup>e</sup> siècle : procréation et élevage d'animaux plus robustes, tolérants ou résistants aux maladies infectieuses notamment (Guénet, 2017), dans des systèmes ayant un recours

réduit aux intrants, respectueux du bien-être des animaux et de l'environnement, pour l'obtention de produits aux qualités optimisées (Tizard *et al.*, 2016 ; Ruan *et al.*, 2017).

Plusieurs façons d'utiliser ces NBT peuvent être envisagées dans une perspective d'amélioration génétique des populations animales répondant aux enjeux évoqués ci-dessus.

#### a. Sélection de précision ou cisgénése

Il s'agit d'introduire (introgression non méiotique), dans certaines populations qui en étaient dépourvues, des variants génomiques intéressants décrits dans d'autres. Exemples : introgression d'un allèle « sans corne » d'origine celtique dans le génome d'animaux Holstein (Tan *et al.*, 2013) ; introduction dans des races commerciales nationales ou internationales d'allèles de résistance aux maladies ou de thermotolérance initialement identifiés dans des races locales « exotiques » (Mérat, 1990) ; inversement, transfert d'allèles de productivité sélectionnés dans certaines races spécialisées vers des races locales peu productives mais, par ailleurs, très bien adaptées à leur environnement. Ces applications de cisgénése ne seront toutefois pertinentes que si les allèles introgressés ont les mêmes effets dans les fonds génétiques des populations receveuses et donneuses (une validation au cas par cas sera nécessaire).

#### b. Transgénése

Il s'agit de transférer des gènes d'une espèce vers une autre, en maîtrisant le nombre de copies et les sites d'insertion des transgènes, ce qui constitue un progrès important par rapport aux méthodes antérieures. On peut citer par exemple :

i) la procréation de vaches transgéniques ayant intégré dans leur génome, en un locus précis, et exprimant dans leur glande mammaire, des gènes humains codant des protéines aux propriétés antimicrobiennes, rendant ces animaux résistants (au moins temporairement) aux mammites (et permettant une utilisation réduite d'antibiotiques ; Liu *et al.*, 2014) ;

ii) le transfert dans des races de porc domestique d'allèles de résistance à la peste porcine africaine, allèles en ségrégation ou fixés dans certaines populations de suidés sauvages (encadré 4) ;

iii) la production de porcs transgéniques produisant une phytase bactérienne leur permettant de digérer les phytates végétaux, ne nécessitant pas de complémentation en phosphates minéraux biodisponibles et permettant de réduire la teneur en phosphore des effluents d'élevage de 75 % (porcs Enviropig®, Golovan *et al.*, 2001).

### c. Édition de génome proprement dite

Il s'agit de créer de nouveaux variants génomiques non décrits jusqu'à présent dans l'espèce considérée, ni dans aucune autre espèce. Certains de ces variants peuvent correspondre à des mutations susceptibles de se produire naturellement. Exemples : inactivation par modification ciblée de la séquence de gène(s)

nécessaire(s) à l'interaction entre certains virus et les hôtes qu'ils infectent, rendant, au moins temporairement, les animaux résistants à certaines maladies (Whitworth *et al.*, 2016) ; inactivation par modification ciblée de la séquence de gène(s) codant des protéines ayant un effet allergisant dans le lait, la viande ou l'œuf (Oishi *et al.*, 2014).

Ces nouvelles techniques permettraient également d'éliminer de façon accélérée les mutations récessives indésirables qui sont en ségrégation dans certaines populations (celles responsables de mortalité embryonnaire précoce par exemple), et de casser certaines corrélations génétiques défavorables.

### ■ 3.3. Les gains d'efficacité espérés

De récents travaux de simulation ont permis d'analyser les apports potentiels de ces techniques, en quantifiant les

gains d'efficacité qu'il est possible d'envisager au niveau des programmes de sélection.

Bastiaansen *et al.* (2018) ont par exemple étudié le cas particulier d'une sélection conjointe d'un caractère à déterminisme monogénique simple (par exemple le cornage) et d'un caractère polygénique (avec des pondérations relatives variables pour les deux types de caractères). Ces travaux montrent que le temps nécessaire à la fixation d'un allèle intéressant (pour le caractère monogénique) est fortement réduit en utilisant les NBT (fixation jusqu'à 4 fois plus rapide, accompagnée d'une diminution importante du nombre d'animaux présentant le phénotype non souhaité). Parallèlement, la perte de progrès génétique pour le caractère polygénique (liée à la co-sélection de l'autre caractère) est fortement réduite (jusqu'à 7 fois), sans accroissement de consanguinité. Cet article montre également, et

#### Encadré 4. La transgénése : une solution pour, dans le futur, lutter contre l'épizootie de peste porcine africaine en Europe ?

La peste porcine africaine (« *African swine fever* »), ou PPA, est une maladie virale contagieuse. Elle est endémique dans les pays d'Afrique subsaharienne. Dans les espèces de suidés africains sauvages (phacochères, potamochères), les infections par le virus sont généralement asymptomatiques. À l'inverse, l'infection de porcs domestiques ou de sangliers induit des taux de mortalité très élevés, proches de 100 %. Il n'existe à ce jour aucun traitement, ni aucun vaccin efficace, permettant de se prémunir contre cette maladie (Arias *et al.*, 2018). Depuis la fin des années 2000, une épizootie très importante affecte le nord et l'est de l'Europe. De très nombreux cas (sangliers sauvages et porcs d'élevage) ont été recensés dans les pays baltes, dans la Fédération de Russie, en Pologne, en Ukraine, et, plus récemment, en République Tchèque, en Roumanie, en Hongrie, et enfin, en septembre 2018, en Belgique, à proximité de la frontière française (deux cas chez des sangliers ; pour un suivi en temps réel de l'épizootie, voir <https://www.plateforme-esa.fr/pestes-porcines-veille-sanitaire-internationale>). La PPA est une maladie réglementée à déclaration obligatoire dans l'Union Européenne. La confirmation d'un cas positif au sein d'un élevage déclenche l'abattage de tous les animaux de l'élevage, et la mise en place de contraintes fortes sur les mouvements d'animaux. Par ailleurs, l'arrivée de la PPA dans un pays signifie l'arrêt immédiat des exportations depuis le pays en question. La mauvaise maîtrise de la situation épidémiologique et les mouvements de sangliers font craindre une arrivée prochaine de la maladie en Allemagne. Le passage de la maladie du sanglier au porc domestique serait alors catastrophique, l'Allemagne étant le premier pays producteur et exportateur de porcs en Europe. L'arrêt des exportations allemandes vers les pays tiers induirait un engorgement du marché et un effondrement des cours dans toute l'Union. La filière porcine européenne retient donc son souffle... Dans ce contexte assez inquiétant, plusieurs équipes de recherche ont envisagé la production d'animaux transgéniques (porcs domestiques et/ou sangliers) permettant de limiter la réplication du virus chez l'hôte infecté, et donc sa transmission entre individus. Une solution potentiellement utile, selon ces chercheurs, pour juguler une telle épizootie. Deux stratégies complémentaires ont à ce jour été testées. Lilloco *et al.* (2016) ont utilisé la technique ZFN pour modifier des zygotes et, suite au transfert des embryons modifiés dans des truies receveuses, procréer des porcelets de race Large White ( $n = 3$ ) ayant intégré dans leur génome une voire deux copies d'un haplotype de phacochère (gène RELA), supposé expliquer, au moins en partie, la résilience de cette espèce africaine endémique vis-à-vis du virus de la PPA (Palgrave *et al.*, 2011). Ces travaux ont permis de démontrer « l'échangeabilité » d'allèles entre populations. Par contre, la réalisation d'un challenge infectieux pour valider la résilience des porcs transgéniques produits n'a pas été évoquée dans la publication. Plus récemment, Hübner *et al.* (2018) ont envisagé d'utiliser la technique CRISPR-Cas9 pour produire des porcs (ou sangliers) transgéniques ayant intégré dans leur génome de quoi produire l'enzyme Cas9 et un ARN guide ciblant spécifiquement une région de l'ADN du virus indispensable à sa réplication (gène p30). L'idée n'a à ce stade été testée avec succès que sur un modèle cellulaire (la réplication du virus est bien bloquée dans les clones cellulaires ayant intégré un plasmide d'expression permettant de produire la nucléase Cas9 et son ARN guide). Cependant, la production d'animaux par clonage somatique (à partir de fibroblastes en culture modifiés) et l'évaluation de leur résistance au virus par un challenge infectieux sont des objectifs clairement affichés par les chercheurs. Ces travaux sont évidemment très préliminaires, et le chemin qui débouchera, éventuellement, sur des applications pratiques et à grande échelle est encore très long. Par ailleurs, l'évaluation de l'ensemble des conséquences épidémiologiques de ce genre d'approche reste à faire.

logiquement, que l'intérêt des NBT (le gain attendu dans les programmes de sélection) est fortement dépendant de leur efficacité, donc du niveau de maîtrise que nous en avons.

Jenko *et al.* (2015) ont pour leur part évalué l'intérêt des NBT pour la sélection de caractères polygéniques, contrôlés par de nombreux QTN (variations nucléotidiques responsables, individuellement, d'une faible part de la variabilité génétique des caractères quantitatifs). L'approche qu'ils proposent, dénommée PAGE (« *Promotion of Alleles by Genome Editing* »), consiste à créer de novo à chaque génération chez une partie des reproducteurs – taureaux dans la publication – de nouveaux variants dont l'effet (favorable) est connu, et à sélectionner les animaux sur la base d'une évaluation génomique. Le gain d'efficacité lié à l'utilisation de PAGE en complément de la Sélection Génomique (SG) a été évalué en considérant différents scénarios : nombre variable de modifications génétiques créées par père et par génération, proportion variable de pères génétiquement modifiés. Les résultats de ces simulations montrent que le progrès génétique à l'issue de 20 générations de sélection est systématiquement supérieur en associant PAGE à la sélection génomique (de 1,08 à 4,12 fois supérieur à la sélection génomique seule). Les résultats les plus favorables en matière de progrès génétique sont obtenus en modifiant relativement peu de mâles à chaque génération mais pour un nombre important de QTN, ce qui se traduit toutefois par une augmentation non négligeable de la vitesse d'accroissement de la consanguinité.

Dans une série de simulations ultérieures, les mêmes auteurs (Gonen *et al.*, 2017) ont été un cran plus loin en envisageant la possibilité de créer, puis de diffuser, des mutations particulières (déjà décrites ou non) à l'aide de méthodes dites de « forçage génétique » (ou « *gene drive* »). Avec ce type de méthode, la modification (ou la transmission) d'une seule copie de la mutation chez un embryon permet de convertir l'autre copie (allèle « sauvage ») au cours du développement, rendant le descendant homozygote

pour la mutation souhaitée. Ce type de système (transmission héréditaire qualifiée de « supermendélienne ») permet d'augmenter beaucoup plus rapidement la fréquence des allèles favorables au sein des populations. Sans surprise donc, les résultats de ces simulations montrent qu'il serait possible avec ce type de système d'accroître à nouveau de façon substantielle les gains de progrès génétique en comparaison avec ceux obtenus dans un schéma de sélection PAGE + SG.

### ■ 3.4. Une mise en œuvre qui interroge

Ces différents résultats illustrent le potentiel indiscutablement important des NBT pour l'amélioration génétique des populations animales d'élevage. Cependant, entre ces potentialités théoriques et les réalisations concrètes possibles à court et moyen termes, la marge est encore grande. Pour atteindre les résultats présentés dans ces travaux de simulation (et sous réserve de la pertinence de leur réalisation), de nombreux obstacles restent à surmonter.

Certains sont de nature technique et/ou scientifique. La précision des modifications induites est l'une des questions cruciales à considérer avant d'envisager une utilisation à grande échelle de ces techniques chez les animaux. Différents travaux récents ont montré que les systèmes CRISPR-Cas9 « standards » étaient susceptibles d'induire un nombre conséquent de modifications hors-cible (« *off target* » ; Schaefer *et al.*, 2017). Ces résultats ont cependant été vigoureusement contestés par d'autres groupes de chercheurs (Wang *et al.*, 2018). Par ailleurs, différentes stratégies permettant de limiter ce phénomène ont déjà été envisagées, et certaines testées avec succès (Komor *et al.*, 2017). Compte tenu des efforts de recherche considérables qui sont actuellement déployés, on peut raisonnablement penser que notre niveau de maîtrise de ces techniques sera rapidement bien supérieur à ce qu'il est aujourd'hui.

Une autre limite à l'utilisation des NBT pour l'amélioration génétique des populations animales d'élevage tient à notre connaissance encore limitée

des mutations causales expliquant la variabilité génétique des caractères sélectionnés. L'application concrète de la stratégie PAGE + SG évoquée plus haut, par exemple, nécessite de connaître au moins quelques dizaines de régions candidates à modifications, ce qui est encore loin d'être le cas. Les connaissances actuelles suggèrent que la majeure partie des caractères d'intérêt sont gouvernés par plusieurs centaines à milliers de gènes ayant pour la plupart des effets faibles à très faibles (ce qui est conforme à l'hypothèse qui sous-tend le modèle d'hérédité polygénique maintes fois évoqué dans cet article). Très peu de gènes expliquent plus de 1 % de la variance génétique des caractères quantitatifs d'intérêt (production, reproduction, santé...), ce qui conduit à penser que l'intérêt des NBT pourrait rester limité à quelques cas particuliers. Cependant, dans ce domaine aussi, nos connaissances sont susceptibles d'évoluer, du fait notamment de l'accumulation à un rythme élevé de données issues du séquençage complet de génomes (et de résultats d'analyses d'association).

D'autres obstacles sont de nature réglementaire. La production à des fins commerciales (agricoles) d'organismes génétiquement modifiés était jusqu'à présent interdite dans certains pays (en France par exemple), et soumise à des évaluations contraignantes (longues et coûteuses) dans d'autres. Certains scientifiques (par exemple Caroll *et al.*, 2016), industriels et mécènes (voir par exemple le point de vue de Bill Gates sur la question : <https://www.foreignaffairs.com/articles/2018-04-10/gene-editing-good>) se sont toutefois mobilisés de façon importante ces dernières années pour obtenir une évolution de la réglementation. Leur objectif est de passer d'un système dans lequel on évalue les innovations sur la base des techniques qui ont servi à les produire (système actuel), à un système où ce sont les produits eux-mêmes qui sont (éventuellement) évalués, au cas par cas, pour leurs intérêts et risques, indépendamment des techniques dont ils sont issus. Cette mobilisation semble avoir déjà porté ses fruits, dans la mesure où certains produits issus des NBT sont désormais affranchis de toute évaluation aux USA

(nouvelles variétés de plantes pour lesquelles des gènes particuliers ont été inactivés par mutation ciblée ; Walz, 2018). Les avis rendus récemment par certaines instances en France (Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Haut Conseil des Biotechnologies) permettaient de penser que des évolutions similaires pourraient avoir lieu dans notre pays et ailleurs dans le monde. Cependant, un récent arrêt de la Cour de Justice Européenne, rendu public le 25 juillet 2018, stipule clairement que « *les organismes produits à partir de techniques de mutagenèse* [postérieures à 2001 ; les NBT sont donc concernées] *sont des OGM et doivent donc, en principe, faire l'objet des obligations* [procédures d'autorisation] *définies par la directive sur les OGM* » (directive 2001/18/CE). Cet arrêt ne concerne que les applications des nouvelles techniques aux végétaux. Les règles qui s'appliqueront dans l'UE aux organismes animaux devraient être de même nature, voire plus contraignantes encore (comme c'est actuellement le cas aux USA).

Une dernière série de questionnements et d'éventuels d'obstacles (et non des moindres), est de nature éthique (réflexion sur les atteintes au bien-être et/ou à l'intégrité des animaux induites par ces techniques ; voir par exemple Eriksson et al., 2017), sociologique (qu'en sera-t-il de l'acceptation de ces innovations par les citoyens, quand, parallèlement, la voix des mouvements animalistes est de plus en plus relayée par les médias et autres réseaux sociaux ?) et politique (ces innovations sont-elles réellement utiles pour les systèmes d'élevage et plus largement le(s) modèle(s) de société que l'on souhaite promouvoir ?). Toutes ces questions sont particulièrement complexes, et ne peuvent être abordées ici en quelques lignes. Toutes méritent des débats contradictoires approfondis et largement ouverts.

## Conclusion

Dans les pays les plus riches, la réduction de la consommation de protéines d'origine animale est à la fois un objectif de plus en plus largement partagé, du fait des répercussions favorables atten-

dues en matière de santé publique ou d'environnement, ou en raison de la médiatisation croissante des associations prônant l'arrêt de la consommation de produits animaux, et une tendance déjà amorcée (voir en France : [https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/09/06/la-consommation-de-viande-en-france-recule-depuis-dix-ans\\_5350897\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/09/06/la-consommation-de-viande-en-france-recule-depuis-dix-ans_5350897_3244.html)). À l'échelle mondiale, toutefois, l'élevage demeure un acteur majeur pour le développement de systèmes agricoles et alimentaires efficaces et durables, ainsi que pour réduire localement la pauvreté (Faye et Duteurtre, 2009).

Pour accompagner la transition vers des systèmes agroécologiques ou développer les principes de l'économie circulaire en valorisant au mieux les biomasses disponibles, les effluents et les produits animaux, les stratégies d'amélioration génétique mises en œuvre doivent préserver une diversité génétique suffisante intra et entre populations, et encourager l'utilisation de races dont les performances sont bien adaptées à une production locale et durable. Ainsi, il ne s'agit pas de rechercher un animal « type » pour les systèmes agroécologiques, mais des animaux aux profils variés, adaptés à la diversité des milieux et des conduites d'élevage. Les programmes de sélection doivent donc évoluer dans toutes les filières afin qu'un nombre plus important de génotypes diversifiés soient disponibles pour répondre à une gamme de besoins accrue. Orienter la sélection vers plus de robustesse, de santé et d'efficacité alimentaire des animaux en situation de ressources limitantes (en quantité et en qualité) semble toutefois nécessaire. Les questions soulevées concernent toutes les filières d'élevage, y compris aquacoles, mais toutes n'ont pas pu faire l'objet d'un même développement dans cet article.

En matière de méthodes, les résultats de simulations théoriques montrent qu'une utilisation raisonnée des NBT, couplée à la sélection génomique, pourrait induire une amélioration substantielle de l'efficacité des programmes de sélection. Le progrès génétique créé serait sensiblement supérieur à celui produit dans les programmes de sélection génomique actuels, lui-même

déjà très supérieur à ce qui était envisageable avant leur déploiement il y a seulement 10 ans ! Nous parlions, à la fin des années 2000, de « révolution génomique ». Devons-nous, 10 ans après, nous engager résolument dans une « nouvelle révolution NBT » ? Et si oui, dans quels buts ? Qu'est-ce qui motive réellement cette recherche permanente de « rapidité », « d'efficacité », de « compétitivité » ? Est-ce, dans un monde de plus en plus globalisé, ouvert, dans lequel la compétition est toujours plus forte, une dynamique inéluctable à laquelle on ne pourrait se soustraire ? Qu'y gagne-t-on réellement, et qui y gagne vraiment ? Prend-on réellement en compte l'ensemble des conséquences induites ? Ce mouvement permanent, de plus en plus rapide, ne nous conduit-il pas à perdre de vue des dimensions importantes pour le développement de nos sociétés ?

Ces questions doivent être posées au regard du droit à l'alimentation de tout un chacun. D'après le comité des droits économiques, sociaux et culturels de l'ONU (Observation générale n° 12 sur le droit à une nourriture suffisante), c'est le droit d'« *avoir physiquement et économiquement accès à tout moment à une nourriture suffisante, adéquate et culturellement acceptable, qui soit produite et consommée de façon durable, afin de préserver l'accès des générations futures à la nourriture* ». Cette nourriture doit donc, non seulement être produite de manière écologiquement et socialement durable, mais, par ailleurs, son achat (en quantité suffisante pour un régime adéquat) ne doit pas être trop coûteux ou se faire au détriment d'autres besoins et droits. En matière de sélection, animale comme végétale, les interrogations deviennent alors : qui seront les détenteurs de cette génétique améliorée ? Quelles seront les conditions d'accès aux nouveaux génotypes pour les éleveurs ? Quel sera l'intérêt pour les éleveurs et les citoyens/consommateurs à utiliser une génétique « high-tech » ? La coexistence entre génétique « high-tech » et « traditionnelle » sera-t-elle possible ? Si oui à quelles conditions ?

Le comité d'éthique INRA-CIRAD-IFREMER a été récemment saisi par la direction des organismes pour rendre

un avis concernant les conséquences de l'utilisation des NBT en agriculture. Un premier avis a été rendu début 2018, et ne concerne que les végétaux (un complément d'avis sera rendu ultérieurement pour les animaux). La toute première recommandation formulée dans cet avis est la suivante : « Être vigilant quant aux formes d'agriculture,

d'économie et de société que prépare l'édition des génomes végétaux, et plus spécifiquement l'utilisation du système CRISPR-Cas9 ». Une autre recommandation est de « Penser la définition des priorités de recherche en fonction des problèmes à résoudre plutôt qu'en vertu des potentiels de la technologie ». Ces recommandations doivent naturelle-

ment s'appliquer aussi au domaine de l'élevage, et de la recherche afférente.

Ne nous affranchissons pas d'une réflexion large et approfondie sur ces questions avant d'envisager de nouvelles transformations importantes des méthodes et objectifs de sélection, et plus globalement de nos systèmes d'élevage.

## Références

- Ahlman T., Ljung M., Rydhmer L., Röcklinsberg H., Strandberg E., Wallenbeck A., 2014. Differences in preferences for breeding traits between organic and conventional dairy producers in Sweden. *Livest. Sci.*, 162, 5-14.
- Andersson L., Archibald A.L., Bottema C.D., Brauning R., Burgess S.C., Burt D.W., Casas E., Cheng H.H., Clarke L., Couldrey C., Dalrymple B.P., Elvik C.G., Foissac S., Giuffra E., Groenen M.A., Hayes B.J., Huang L.S.S., Khatib H., Kijas J.W., Kim H., Lunney J.K., McCarthy F.M., McEwan J.C., Moore S., Nanduri B., Notredame C., Palti Y., Plastow G.S., Reedy J.M., Rohrer G.A., Sarropoulou E., Schmidt C.J., Silverstein J., Tellam R.L., Tixier-Boichard M., Tossier-Klopp G., Tuggle C.K., Vilkkii J., White S.N., Zhao S., Zhou H., 2015. Coordinated international action to accelerate genome-to-phenome with FAANG, the Functional Annotation of Animal Genomes project. *Genome Biol.*, 16, 57.
- Arias M., Jurado C., Gallardo C., Fernandez-Pinero J., Sanchez-Vizcaino J.M., 2018. Gaps in African swine fever: Analysis and priorities. *Transbound. Emerg. Dis.*, 65, 235-247.
- Barbat A., Le Mezec P., Ducrocq V., Mattalia S., Fritz S., Boichard D., Ponsart C., Humblot P., 2010. Female Fertility in French Dairy Breeds: Current Situation and Strategies for Improvement. *J. Reprod. Dev.*, 56, S15-S21.
- Bastiaansen J.W.M., Bovenhuis H., Groenen M.A.M., Megens H.J., Mulder H.A., 2018. The impact of genome editing on the introduction of monogenic traits in livestock. *Genet. Select. Evol.*, 50, 18.
- Berry D.P., 2018. Symposium review: breeding a better cow – Will she be adaptable? *J. Dairy Sci.*, 101, 3665-3685.
- Bodin L., Bolet G., Garcia M., Garreau H., Larzul C., David I., 2010. Robustesse et canalisation : vision de généticiens. In : Robustesse, rusticité, flexibilité, plasticité, résilience, ... les nouveaux critères de qualité des animaux et des systèmes d'élevage. Sauvart D., Perez J.M. (Eds). Dossier, *INRA Prod. Anim.*, 23, 11-22.
- Boichard D., Ducrocq V., Croiseau P., Fritz S., 2016. Genomic selection in domestic animals: Principles, applications and perspectives. *Comptes Rendus Biologies*, 339, 274-277.
- Bougler J., 1992. La loi sur l'élevage et l'organisation générale de la sélection en France. In : Numéro spécial, Éléments de génétique quantitative et application aux populations animales. Bibé B., Bonaiti B., Elsen J.M., Guérin G., Mallard J., Minvielle F., de Mondini L., Mulsant P., de Rochambeau H., Farce M.H. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 5, 219-221.
- Brochard M., Boichard D., Ducrocq V., Fritz S., 2013. La sélection pour des vaches et une production laitière plus durables : acquis de la génétique et opportunités offertes par la sélection génomique. In : Numéro spécial, la vache et le lait. Faverdin P., Leroux C., Baumont R. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 26, 145-155.
- Carillier-Jacquin C., Larroque H., Robert-Granié C., 2017. Vers une sélection génomique chez les caprins laitiers. *INRA Prod. Anim.*, 30, 19-30.
- Caroll D., van Eenennaam A.L., Taylor J.F., Seger J., Voytas D.F., 2016. Regulate genome-edited products, not genome editing itself. *Nature Biotechnol.*, 34, 477-479.
- Colleau J.J., Fritz S., Guillaume F., Baur A., Dupassieux D., Boscher M.Y., Journaux L., Eggen A., Boichard D., 2015. Simulation des potentialités de la sélection génomique chez les bovins laitiers. *INRA Prod. Anim.*, 28, 251-258.
- Coudurier B., 2011. Contraintes et opportunités d'organisation de la sélection dans les filières porcine et avicole. In : Numéro spécial, Amélioration génétique. Mulsant P., Bodin L., Coudurier B., Deretz S., Le Roy P., Quillet E., Perez J.M. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 24, 307-322.
- Daetwyler H.D., Villanueva B., Bijma P., Wooliams J.A., 2007. Inbreeding in genomewide selection. *J. Anim. Breed. Genet.*, 124, 369-376.
- Daetwyler H.D., Capitan A., Pausch H., Stothard P., van Binsbergen R., Brøndum R.F., Liao X., Djari A., Rodriguez S.C., Grohs C., Esquerré D., Bouchez O., Rossignol M.N., Klopp C., Rocha D., Fritz S., Eggen A., Bowman P.J., Coote D., Chamberlain A.J., Anderson C., vanTassell C.P., Hulsege I., Goddard M.E., Guldbbrandtsen B., Lund M.S., Veerkamp R.F., Boichard D.A., Fries R., Hayes B.J., 2014. Whole-genome sequencing of 234 bulls facilitates mapping of monogenic and complex traits in cattle. *Nature Genet.*, 46, 858-865.
- Davies G., Genini S., Bishop S.C., Giuffra E., 2009. An assessment of opportunities to dissect host genetic variation in resistance to infectious diseases in livestock. *Animal*, 3, 415-436.
- Dekkers J.C.M., 2007. Marker-assisted selection for commercial crossbred performance. *J. Anim. Sci.*, 85, 2104-2114.
- Delanoue E., Dockes A.C., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Social acceptability of French livestock production: debated issues and controversies on livestock production, points of view of multiple stakeholders. *INRA Prod. Anim.*, 31, 51-67.
- Ducos A., Bed'Hom B., Acloque H., Pain B., 2017. Modifications ciblées des génomes : apports et impacts pour les espèces d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 30, 3-18.
- Eriksson S., Jonas E., Rydhmer L., Röcklinsberg H., 2017. Invited review: Breeding and ethical perspectives on genetically modified and genome edited cattle. *J. Dairy Sci.*, 101, 1-17.
- Falconer D.S., Mackay T.F.C., 1996. Introduction to quantitative genetics. Longmans Green, Harlow, Essex, UK, 4<sup>th</sup> Edition, 464p.
- Faye B., Duteurtre G., 2009. L'élevage, richesse des pauvres. Éditions Quae, Paris, France, 288p.
- Fisher R.A., 1918. The Correlation between relatives on the supposition of mendelian inheritance. *Philos. Trans. R. Soc. Edinburgh*, 52, 399-433.
- Flori L., Gao Y., Laloë D., Lemonnier G., Leplat J.J., Teillaud A., Cossalter A.M., Laffitte J., Pinton P., de Vaureix C., Bouffaud M., Mercat M.J., Lefevre F., Oswald I.P., Bidanel J.P., Rogel-Gaillard C., 2011. Immunity Traits in Pigs: Substantial Genetic Variation and Limited Covariation. *PLOS One*, 6, e22717.
- Garreau H., Bolet G., Larzul C., Robert-Granié C., Saleil G., SanCristobal M., Bodin L., 2008. Results of four generations of a canalising selection for rabbit birth weight. *Livest. Sci.*, 119, 55-62.
- Gillespie J.H., Turelli M., 1989. Genotype environment interaction and the maintenance of polygenic variation. *Genetics*, 121, 129-138.
- Golovan S.P., Meidinger R.G., Ajakaiye A., Cottrill M., Wiederkehr M.Z., Barney D.J., Plante C., Pollard J.W., Fan M.Z., Hayes M.A., Laursen J., Hjorth J.P., Hacker R.R., Phillips J.P., Forsberg C.W., 2001. Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure. *Nature Biotechnol.*, 19, 741-745.
- Gonen S., Jenko J., Gorjanc G., Mileham A.J., Whitelaw B.A., Hickey J.M., 2017. Potential of gene drives with genome editing to increase genetic gain in livestock breeding programs. *Genet. Select. Evol.*, 49, 3.

- Guénet J.L., 2017. Transgénése et maîtrise des maladies infectieuses chez les animaux domestiques. *Bull. Acad. Vét. France*, 170, 56-65.
- Guillaume F., Boichard D., Ducrocq V., Fritz S., 2011. Utilisation de la sélection génomique chez les bovins laitiers. In : Numéro spécial, Amélioration génétique. Mulsant P., Bodin L., Coudurier B., Deretz S., Le Roy P., Quillet E., Perez J.M. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 24, 363-368.
- Gunia M., David I., Hurtaud J., Maupin M., Gilbert H., Garreau H., 2015. Resistance to infectious diseases is a heritable trait in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 93, 5631-5638.
- Heringstad B., Klemetsdal G., Ruane J., 2000. Selection for mastitis resistance in dairy cattle: a review with focus on the situation in the Nordic countries. *Livest. Prod. Sci.*, 64, 95-106.
- Hill W.G., 2016. Is continued genetic improvement of livestock sustainable? *Genetics*, 202, 877-881.
- Hill W.G., Mulder H.A., 2010. Genetic analysis of environmental variation. *Genetics Res.*, 92, 381-395.
- Hospital F., 2005. Selection in backcross programmes. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 360, 1503-1511.
- Hozé C., Fritz S., Phocas F., Boichard D., Ducrocq V., Croiseau P., 2014. Efficiency of multi-breed genomic selection for dairy cattle breeds with different sizes of reference population. *J. Dairy Sci.*, 97, 3918-3929.
- Hübner A., Petersen B., Keil G.M., Niemann H., Mettenleiter T.C., Fuchs W., 2018. Efficient inhibition of African swine fever virus replication by CRISPR/Cas9 targeting of the viral p30 gene (CP204L). *Sci. Rep.*, 8, 1449.
- Jenko J., Gorjanc G., Cleveland M.A., Varshney R.K., Whitelaw C.B.A., Woolliams J.A., Hickey J.M., 2015. Potential of promotion of alleles by genome editing to improve quantitative traits in livestock breeding programs. *Genet. Select. Evol.*, 47, 55.
- Komor A.C., Badran A.H., Liu D.R., 2017. CRISPR-based technologies for the manipulation of eukaryotic genomes. *Cell*, 168, 20-36.
- Lamont S.J., Pinard-van der Laan M.H., Cahaner A., Van Der Poel J.J., Parmentier H.K., 2003. Selection for disease resistance: direct selection on the immune response. In: *Poultry genetics, breeding and biotechnology*. Muir W.M., Aggrey S.E. (Eds). CABI Publishers, 399-418.
- Lande R., Thompson R., 1990. Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits. *Genetics*, 124, 743-776.
- Larzul C., Le Roy P., Tribout T., Gogue J., SanCristobal M., 2006. Canalizing selection on ultimate PH in pigs: consequences on meat quality. In: *Proc. 8<sup>th</sup> WCGALP, Belo Horizonte, Brasil*, comm., 13.09.
- Le Mignon G., Blum Y., Demeure O., Diot C., Le Bihan-Duval E., Le Roy P., Lagarrigue S., 2010. Apports de la génomique fonctionnelle à la cartographie fine de QTL. *INRA Prod. Anim.*, 23, 343-358.
- Le Roy P., 1992. Les méthodes de mise en évidence des gènes majeurs. In : Numéro spécial, Éléments de génétique quantitative et application aux populations animales. Bibé B., Bonaiti B., Elsen J.M., Guérin G., Mallard J., Minvielle F., de Mondini L., Mulsant P., de Rochambeau H., Farce M.H. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 5, 93-99.
- Le Roy P., Chapuis H., Guémené D., 2014. Sélection génomique : quelles perspectives pour les filières avicoles ? *INRA Prod. Anim.*, 27, 331-336.
- Libbrecht M.W., Noble W.S., 2015. Machine learning applications in genetics and genomics. *Nat. Rev. Genet.*, 16, 321-332.
- Lillico S.G., Proudfoot C., King T.J., Tan W., Zhang L., Mardjuki R., Paschon D.E., Rebar E.J., Urnov F.D., Mileham A.J., McLaren D.G., Whitelaw C.B.A., 2016. Mammalian interspecies substitution of immune modulatory alleles by genome editing. *Sci. Rep.*, 6, 21645.
- Liu X., Wang Y., Tian Y., Yu Y., Gao M., Hu G., Su F., Pan S., Luo Y., Guo Z., Quan F., Zhang Y., 2014. Generation of mastitis resistance in cows by targeting human lysozyme gene to beta-casein locus using zinc-finger nucleases. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.*, 281, 20133368.
- Lund M.S., De Roos A.P.W., De Vries A.G., Druet T., Ducrocq V., Fritz S., Guillaume F., Gulbrandsen B., Liu Z., Reents R., Schrooten C., Seefried M., Su G., 2010. Improving genomic prediction by EuroGenomics collaboration. In: *Proc. 9<sup>th</sup> WCGALP, Leipzig, Germany*. Comm. 880.
- Mérat P., 1990. Gènes majeurs chez la poule (*Gallus Gallus*) : autres gènes que ceux affectant la taille. *INRA Prod. Anim.*, 3, 355-368.
- Meuwissen T.H.E., Hayes B.J., Goddard M.E., 2001. Prediction of Total Genetic Value Using Genome-Wide Dense Marker Maps. *Genetics*, 157, 1819-1829.
- Mignon-Grasteau S., Bourblanc M., Carré B., Dourmad J.Y., Gilbert H., Juin H., Noblet J., Phocas F., 2010. La réduction des rejets avicoles et porcins par la sélection. *INRA Prod. Anim.*, 23, 415-426.
- Moen T., Ødegård J., 2014. Genomics in Selective Breeding of Atlantic Salmon. In: *10<sup>th</sup> WCGALP, Vancouver, BC, Canada*, comm. 267.
- Monnet L.E., Bordas A., Mérat P., 1980. Gène « cou nu », poids corporel et paramètres anatomiques et physiologiques des poulettes et poules adultes selon la température. *Ann. Genet. Sel. Anim.*, 12, 15-31.
- Moreno-Romieux C., Salle G., Jacquet P., Blanchard A., Chylinski C., Cabaret J., François D., Saccareu M., Astruc J.M., Bambou J.C., Mandonnet N., 2015. La résistance génétique au parasitisme chez les petits ruminants : un enjeu de durabilité pour les productions à l'herbe. *Renc. Rech. Rum.*, 22, 11-18.
- Morris C.A., 2007. A review of genetic resistance to disease in *Bos taurus* cattle. *Vet. J.*, 174, 481-491.
- Oishi I., Yoshii K., Miyahara D., Kagami H., Tagami T., 2014. Targeted mutagenesis in chicken using CRISPR/Cas9 system. *Sci. Rep.*, 6, 23980.
- Palgrave C.J., Gilmour L., Lowden C.S., Lillico S.G., Mellencamp M.A., Whitelaw C.B.A., 2011. Species-Specific Variation in RELA Underlies Differences in NF-kappa B Activity: a Potential Role in African Swine Fever Pathogenesis. *J. Virol.*, 85, 6008-6014.
- Petersen B., 2017. Basics of genome editing technology and its application in livestock species. *Reprod. Dom. Anim.*, 52, 4-13.
- Phocas F., Bobe J., Bodin L., Charley B., Dourmad J.Y., Friggens N.C., Hocquette J.F., Le Bail P.Y., Le Bihan-Duval E., Mormède P., Quére P., Schelcher F., 2014a. Des animaux plus robustes : un enjeu majeur pour le développement durable des productions animales nécessitant l'essor du phénotypage fin et à haut débit. In : *Phénotypage des animaux d'élevage*. Phocas F. (Éds). Dossier, *INRA Prod. Anim.*, 27, 181-194.
- Phocas F., Agabriel J., Dupont-Nivet M., Geurden I., Médale F., Mignon-Grasteau S., Gilbert H., Dourmad J.Y., 2014b. Le phénotypage de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, une nécessité pour accroître l'efficacité des productions animales. In : *Phénotypage des animaux d'élevage*. Phocas F. (Éd). Dossier, *INRA Prod. Anim.*, 27, 235-248.
- Phocas F., Belloc C., Bidanel J., Delaby L., Dourmad J.Y., Dumont B., Ezanno P., Fortun-Lamothe L., Foucras G., Gonzales-Garcia E., Hazard D., Larzul C., Lubac S., Mignon-Grasteau S., Moreno C.R., Tixier-Boichard M., Brochard M., 2017. Quels programmes d'amélioration génétique des animaux pour des systèmes d'élevage agroécologiques ? *INRA Prod. Anim.*, 30, 31-46.
- Rauw W.M., Kanis E., Noordhuizen-Stassen E.N., Grommers F.J., 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 56, 15-33.
- Renaudeau D., Mandonnet N., Tixier-Boichard M., Noblet J., Bidanel J.P., 2004. Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs : la voie génétique. *INRA Prod. Anim.*, 17, 93-108.
- Robert-Granié C., Legarra A., Ducrocq V., 2011. Principes de base de la sélection génomique. In : Numéro spécial, Amélioration génétique. Mulsant P., Bodin L., Coudurier B., Deretz S., Le Roy P., Quillet E., Perez J.M. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 24, 331-340.
- Rogel-Gaillard C., Flori L., Gao Y., Oswald I., Lefevre F., Bouffaud M., Mercat M.J., Bidanel J.P., 2011. Décryptage du contrôle génétique des réponses immunitaires innées et adaptatives chez le porc Large White : une étude combinant des approches génétiques et fonctionnelles. *Journ. Rech. Porc.*, 43, 27-31.
- Romé H., Varenne A., Hérault F., Chapuis H., Alleno C., Dehais P., Vignal A., Burlot T., Le Roy P., 2015. GWAS analyses reveal QTL in egg layers that differ in response to diet differences. *Genet. Sel. Evol.*, 47, 83.
- Romé H., Varenne A., Hérault F., Burlot T., Le Roy P., 2018. Genome Wide Association Study reveals diet or age dependent Quantitative Trait Loci that influence the uniformity of egg quality traits in layers. *Submitted in J. Anim. Breed. Genetics*.

- Ruan J., Xu J., Chen-Tsai R.Y., Li K., 2017. Genome editing in livestock: Are we ready for a revolution in animal breeding industry? *Transgenic Res.*, 26, 715-726.
- Rupp R., Bergonier D., Dion S., Hygoneng M.C., Aurel M.R., Robert-Granié C., Foucras G., 2009. Response to somatic cell count-based selection for mastitis resistance in a divergent selection experiment in sheep. *J. Dairy Sci.*, 92, 1203-1219.
- Schaefer K.A., Wu W.H., Colgan D.F., Tsang S.H., Bassuk A.G., Mahajan V.B., 2017. Unexpected mutations after CRISPR-Cas9 editing in vivo. *Nature Methods*, 14, 547-548.
- Scheiner S.M., Lyman R.F., 1989. The Genetics of phenotypic plasticity. 1. Heritability. *J. Evol. Biol.*, 2, 95-107.
- Selmi A., Joly P.B., Rémondet M., 2014. La construction d'un « animal nouveau » : la sélection génétique entre production de savoirs, marchés et action collective. *Natures Sci. Soc.*, 22, 33-41.
- Sidani C., Astruc J.M., Baelden M., Barillet F., Bibé B., Bonnot A., Boscher M.Y., Bouchel D., Bouffartigue B., Bouix J., Brochard M., Dion F., François D., Jouhet E., Jullien E., Leymarie C., Moreno C.R., Orlanges M., Palhière I., Perret G., Raoul J., Raynal A., Tiphine L., Tribon P., 2010. The French Ovine Scrapie Plan: Results and Prospects. In: 9<sup>th</sup> WCGALP, Leipzig, Germany.
- Star L., Ellen E.D., Uitdehaag K., Brom F.W.A., 2008. A plea to implement robustness into a breeding goal: Poultry as an example. *J. Agric. Environ. Ethics*, 21, 109-125.
- Tan W., Carlson D.F., Lancto C.A., Garbe J.R., Webster D.A., Hackett P.B., Fahrenkrug S.C., 2013. Efficient nonmeiotic allele introgression in livestock using custom endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 110, 16526-16531.
- Thompson-Crispi K.A., Sewalem A., Miglior F., Mallard B.A., 2012. Genetic parameters of adaptive immune response traits in Canadian Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 95, 401-409.
- Tixier-Boichard M., Verrier E., Rognon X., Zerjal T., 2015. Farm animal genetic and genomic resources from an agroecological perspective. *Frontiers in Genetics*, 6, article 153.
- Tizard M., Hallerman E., Fahrenkrug S., Newell-McGloughlin M., Gibson J., Loos F. de, Wagner S., Laible G., Han J.Y., D'Occhio M., Kelly L., Lowenthal J., Gobius K., Silva P., Cooper C., Doran T., 2016. Strategies to enable the adoption of animal biotechnology to sustainably improve global food safety and security. *Transgenic Res.*, 25, 575-595.
- Tribout T., Larzul C., Phocas F., 2013. Economic aspects of implementing genomic evaluations in a pig sire line breeding scheme. *Genet. Select. Evol.*, 45, 40-56.
- Vignal A., 2011. État actuel du séquençage et de la connaissance du génome des espèces animales. In : Numéro spécial, Amélioration génétique. Mulsant P., Bodin L., Coudurier B., Deretz S., Le Roy P., Quillet E., Perez J.M. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 24, 387-404.
- Walz E., 2018. With a free pass, CRISPR-edited plants reach market in record time. *Nature Biotechnol.*, 36, 6-7.
- Wang X., Liu J., Niu Y., Li Y., Zhou S., Li C., Ma B., Kou Q., Petersen B., Sonstegard T., Huang X., Jiang Y., Chen Y., 2018. Low incidence of SNVs and indels in trio genomes of Cas9-mediated multiplex edited sheep. *BMC Genomics*, 19, 397.
- Whitworth K.M., Rowland R.R., Ewen C.L., Triple B.R., Kerrigan M.A., Cino-Ozuna A.G., Samuel M.S., Lightner J.E., McLaren D.G., Mileham A.J., Wells K., Prather R.S., 2016. Gene edited pigs are protected from porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Nature Biotechnol.*, 34, 20-22.

## Résumé

Les objectifs et méthodes d'amélioration génétique doivent évoluer pour répondre aux enjeux du développement durable des filières d'élevage. Dans toutes les espèces, il s'agit désormais d'améliorer la robustesse des animaux en promouvant leurs capacités d'adaptation, en intégrant dans les objectifs des programmes de sélection de nombreux caractères d'efficacité, en particulier de santé et d'adaptation à des ressources alimentaires moins standardisées et de qualité fluctuante, à des environnements changeants et variés, et au changement climatique. Cela amène à considérer les interactions génotype x environnement dans la prédiction des valeurs génétiques et à évaluer les performances des animaux dans des systèmes à moindres intrants, notamment alimentaires et médicamenteux. Depuis la fin des années 2000, la méthode mise en œuvre progressivement dans toutes les filières est la sélection génomique qui, en déconnectant le calcul des valeurs génétiques des candidats à la sélection de l'obtention de phénotypes, facilite la sélection de nouveaux caractères et la prise en compte des interactions génotype x environnement. Dans un futur relativement proche, il sera techniquement possible de mettre en œuvre des stratégies de modification et sélection ciblées des génomes qui pourraient substantiellement accroître les gains de progrès génétique en comparaison avec ceux obtenus dans les programmes actuels de sélection génomique. Toutefois, l'utilisation de ces nouvelles techniques de sélection animale pose de nombreuses questions, tant sur le plan scientifique, qu'opérationnel, éthique ou politique.

## Abstract

### **What performance for tomorrow's animals? Breeding goals and selection methods**

*Meeting the issues related to sustainable development of livestock farming requires innovations in genetics. In every sector, this is all about improving the robustness of animals by enhancing their abilities to adapt by including numerous efficiency traits in the breeding goals of selection programs particularly regarding health and adaptability to less standardized feed resources and of fluctuating nutritional value, changing and varied environments, and climate change. This leads to consider genotype-by-environment interactions within genetic evaluation procedures and to assess the performances of animals in low input systems, especially regarding feed and drug use. Since the end of the 2000s, the method that has been progressively used in all livestock breeding sectors is genomic selection, which, by disconnecting the computation of genetic values of selection candidates from phenotype recordings, makes it easier to select new traits and to take into account genotype-by-environment interactions. In the relatively near future, it will be technically possible to use strategies of targeted modification and selection of genomes that could substantially increase genetic gains, in comparison with those obtained with current genomic selection programs. However, the use of these new breeding techniques raises numerous issues on scientific, operational, ethical, and political levels.*

LE ROY P., DUCOS A., PHOCAS F., 2019. Quelles performances pour les animaux de demain ? Objectifs et méthodes de sélection. In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). *INRA Prod. Anim.*, 32, 233-246.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2466>

# Rôle de l'environnement précoce dans la variabilité des phénotypes et l'adaptation des animaux d'élevage à leur milieu

Frédérique PITEL<sup>1</sup>, Fanny CALENGE<sup>2</sup>, Nadège AIGUEPERSE<sup>3</sup>, Jordi ESTELLÉ-FABRELLAS<sup>2</sup>, Vincent COUSTHAM<sup>4</sup>, Ludovic CALANDREAU<sup>5</sup>, Mireille MORISSON<sup>1</sup>, Pascale CHAVATTE-PALMER<sup>6</sup>, Cécile GINANE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, ENVT, Castanet Tolosan, France

<sup>2</sup>UMR GABI, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78350, Jouy-en-Josas, France

<sup>3</sup>Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

<sup>4</sup>BOA, INRA, Université de Tours, 37380, Nouzilly, France

<sup>5</sup>UMR Physiologie de la Reproduction et des Comportements, INRA, CNRS, IFCE, Université de Tours, 37380 Nouzilly, France

<sup>6</sup>UMR BDR, INRA, ENVA, Université Paris Saclay, 78350, Jouy-en-Josas, France

Courriel : [cecile.ginane@inra.fr](mailto:cecile.ginane@inra.fr)

■ Le phénotype d'un individu est l'expression de ses gènes, de son environnement, et de leurs interactions, mais également de son histoire de vie. L'environnement précoce en particulier, *via* son influence sur les marques épigénétiques, sur le microbiote et sur le comportement des animaux, participe à la construction des phénotypes des adultes et influence leurs capacités adaptatives.

## Introduction

Les systèmes d'élevage et les animaux qui les constituent sont confrontés à de multiples contraintes (environnementales, sociales, alimentaires...) auxquelles ils doivent s'adapter. Ceci est particulièrement vrai pour les systèmes qui s'orientent vers les concepts de l'agroécologie, et qui impliquent une sollicitation des relations écologiques entre les composantes du système, un moindre contrôle de l'environnement et l'acceptation d'une part plus importante d'aléas (Dumont *et al.*, 2014). L'objectif est d'avoir des individus capables de s'adapter aux différents challenges auxquels ils seront potentiellement confrontés au cours de leur carrière (séparation mère/jeune, réallotements, restrictions/transitions alimentaires, environnements artificialisés et appauvris ; aléas climatiques,

pics de chaleur ; problèmes sanitaires, prédation, et plus largement stress émanant de la combinaison d'une ou plusieurs de ces composantes), qui peuvent affecter intensément et parfois durablement leur production, leur santé et leur bien-être.

Depuis quelques décennies, un nombre croissant d'études se sont intéressées à l'impact de l'environnement durant les premières phases de la vie sur les capacités de l'animal à survivre et se reproduire face aux différents challenges rencontrés ultérieurement. La compréhension de cette « préparation » (ou « programmation ») est devenue un sujet d'étude pour plusieurs disciplines de la biologie (physiologie, éthologie, génétique, mais aussi biologie évolutive et de la conservation (Langenhof et Komdeur, 2018)) et concerne aussi bien des espèces sauvages que domestiques. En élevage,

même si la sélection faite jusque-là par l'Homme a cherché à favoriser des animaux productifs et donc, dans une certaine mesure, capables de se satisfaire des conditions dans lesquelles ils sont élevés, on constate encore divers problèmes d'ordre sanitaire, éthique ou environnemental. Les évolutions des systèmes d'élevage (et les contraintes qui s'y rattachent) sont parfois plus rapides que ne peut l'être la sélection, qui par ailleurs ne peut se faire que sur quelques caractères. Les effets de l'environnement sur le développement de l'individu, sur la façon dont il peut permettre de « façonner, d'affiner » les phénotypes, à une échelle de temps plus courte, sont donc particulièrement intéressants à étudier. Ainsi, comprendre les interactions entre les influences environnementales et les processus de développement peut aider à prédire quelles influences peuvent être délétères ou au contraire bénéfiques, quels

types de réponses inadaptées peuvent être réversibles et comment les pratiques d'élevage peuvent faciliter le bon développement de l'individu voire la réversibilité de certaines réponses.

Dans cette revue, nous n'avons pas l'ambition d'être exhaustifs quant aux connaissances actuelles sur l'influence de l'environnement précoce sur la construction et la variabilité des phénotypes et de l'adaptation des animaux d'élevage à leur milieu. Nous considérons comme environnement précoce, en accord avec la bibliographie qui sera sollicitée dans la suite de l'article, les périodes de vie allant de la conception à la maturité sexuelle, avec une attention plus marquée pour la période périnatale. Certains processus intergénérationnels seront également abordés, considérant que « l'environnement précoce » est notamment constitué des marques apposées sur les gamètes par la génération précédente. Nous ne présenterons pas l'ensemble des processus biologiques impliqués dans la « construction » des phénotypes sous l'effet de l'environnement précoce, et nous nous focaliserons sur les rôles des processus épigénétiques et comportementaux (notamment apprentissages) ainsi que sur ceux du microbiote. Les processus épigénétiques jouent un rôle majeur dans l'influence de l'environnement pendant le développement précoce sur la construction des phénotypes adultes. Ils permettent donc d'offrir des leviers intéressants pour orienter les performances en agissant très précocement sur les éléments biotiques ou abiotiques (alimentation, température...). L'environnement précoce joue en outre un rôle important dans la constitution du microbiote digestif, dont le rôle sur l'expression des phénotypes est de plus en plus clairement établi, notamment dans le domaine de la santé. Caractériser ce rôle, en particulier grâce aux nouveaux outils de métagénomique, devrait permettre d'ouvrir de nouvelles voies d'amélioration des performances par des pratiques d'élevage permettant d'influencer, directement ou non, la composition du microbiote. Enfin, l'expérience précoce sera également considérée ici par ses effets sur le comportement de l'animal (à plus ou moins long terme selon les

études). Parmi les différents processus comportementaux, celui des apprentissages sera particulièrement considéré, à la fois comme processus d'élaboration des phénotypes, mais également comme cible *via* l'impact de l'expérience précoce sur les capacités d'apprentissage qui peuvent conférer à l'animal une meilleure adaptation à des situations nouvelles ultérieures.

Nous aborderons donc successivement ces trois domaines (épigénétique, microbiote, comportement), qui illustrent comment les expériences vécues précocement peuvent avoir des effets, bénéfiques ou délétères, sur le phénotype adulte, et qui peuvent permettre de proposer des leviers précoces d'amélioration des performances, de la santé ou du bien-être des animaux.

## 1. Programmation épigénétique du génome pendant le développement

### ■ 1.1. Notions introductives

L'environnement prénatal est connu pour influencer le phénotype adulte chez plusieurs espèces (Sinclair *et al.*, 2016), par la modification de marques épigénétiques. Ces marques épigénétiques – telles que la méthylation de l'ADN et les modifications des histones, mais aussi les ARN non codants – sont des éléments interagissant avec l'ADN qui modifient l'expression du génome sans en modifier la séquence. Elles constituent l'épigénome, qui est mis en place dès le développement embryonnaire et qui diffère selon le type cellulaire et la spécificité tissulaire. Ces épigénomes affectent l'expression des gènes, conduisant à des phénotypes cellulaires distincts à partir d'un seul génome (différenciation cellulaire). Ils sont ensuite transmis à travers les mitoses, contribuant à maintenir l'état métabolique tout au long de la vie (Skinner, 2011). Des perturbations biotiques (variation de la qualité ou de la quantité de nutriments, taux d'hormones...) ou abiotiques (pic de chaleur...) pendant la vie prénatale peuvent induire des modifications de ces épigénomes, qui sont ensuite transmises au cours du développement et sont le support

d'une mémoire persistante des perturbations antérieures. On parle alors de « programmation métabolique », accompagnée d'impacts physiologiques et/ou morphologiques à long terme. Ce mécanisme de programmation métabolique au cours des phases précoces de la vie est très étudié chez l'Homme et a conduit au concept de la DoHAD (Origines Développementales Environnementales et Épigenétiques de la Santé et des Maladies). Ce phénomène a fait l'objet de nombreuses études chez les rongeurs et, plus récemment, chez les animaux d'élevage. Nous prendrons ici des exemples choisis chez des espèces aviaires et des mammifères, et tout particulièrement chez le lapin, une espèce d'intérêt agronomique qui présente aussi la caractéristique d'être utilisée comme modèle biomédical (Esteves *et al.*, 2018), notamment en biologie du développement (Fischer *et al.*, 2012, Theunissen *et al.*, 2017).

### ■ 1.2. Programmation par l'alimentation des mères

L'une des manières les plus simples de modifier l'environnement pendant le développement sans intervenir directement sur l'embryon est de modifier les apports nutritionnels du milieu dans lequel il se développe, *via* l'alimentation de la mère.

Chez les espèces avicoles, un grand nombre d'études ont été menées pour évaluer les effets de la supplémentation ou de la carence en une grande variété de nutriments – tels que les vitamines, les minéraux, les protéines, les acides gras ou les antioxydants – pour optimiser le régime alimentaire des femelles. Ces études ont été très utiles pour améliorer les caractères de production chez les poules pondeuses et de poulets de chair, mais plus récemment, une attention a été portée aux performances des descendants. En effet, le régime alimentaire de la mère impacte les ressources nutritionnelles déposées dans l'œuf qui peuvent avoir une incidence, à leur tour, sur l'état physiologique du nouveau-né et, plus tard, sur le phénotype de l'adulte (Moran, 2007 ; Morisson *et al.*, 2017). Ainsi, l'influence du régime alimentaire des reproducteurs sur la composition corporelle, le poids corporel et

le taux de croissance des descendants a été rapportée (Calini et Sirri, 2007). Chez le poulet de chair, une réduction de l'apport en protéines chez les mères diminue leurs performances de ponte. Cette réduction en protéines a un effet différent entre les deux sexes des descendants ; elle augmente le poids des descendants mâles et diminue celui des femelles, à 35 jours d'âge, les femelles ayant, de plus, des performances de ponte réduites (Lesuisse *et al.*, 2018). Chez le canard, la carence en méthionine chez la mère peut même affecter les phénotypes des petits-enfants, par la voie paternelle (Brun *et al.*, 2015).

Chez le lapin en élevage, les femelles sont soumises à des rythmes de reproduction intensifs et la combinaison temporelle de la lactation et de la reproduction induit des états de déficit énergétique important, en particulier chez les primipares (Fortun-Lamothe, 2006 ; Lorenzo *et al.*, 2014), comme c'est aussi le cas chez les bovins. La sous-nutrition maternelle à différents stades de gestation induit des modifications de la fonction endocrine chez la mère, en particulier de la résistance à l'insuline, qui pourraient être à l'origine de programmation foetale (Menchetti *et al.*, 2015). Une sous-nutrition maternelle peut ainsi, sans affecter le poids ni les paramètres métaboliques maternels, induire une réduction de la croissance foetale ainsi que des adaptations placentaires associées à des signes de nécrose et d'apoptose dans le placenta (Lopez-Tello *et al.*, 2017), qui est l'agent majeur de la programmation gestationnelle chez les mammifères (Tarrade *et al.*, 2015). Dans une étude où les femelles étaient sous-nourries durant la première moitié ou les deux tiers de la gestation, la prise alimentaire des mères était augmentée en fin de gestation après la période de restriction, entraînant la naissance de portées de poids plus élevé avec une survie plus importante que chez les mères qui n'avaient subi aucune restriction (Manal *et al.*, 2010). Enfin, une étude s'intéressant aux impacts de l'alimentation des mères sur le comportement des descendants a montré qu'une restriction maternelle à 50 % des recommandations, limitée à la fin de gestation, ne modifie pas significativement le poids de naissance

des lapereaux mais induit des effets sur l'activité spontanée des descendants mâles et femelles (Simitzis *et al.*, 2015). Les effets très différents observés dans ces deux études indiquent bien l'importance des périodes critiques de développement pendant lesquelles sont appliquées les restrictions alimentaires.

Dans une étude utilisant le lapin pour modéliser la situation humaine, il a été montré qu'un régime hyper gras administré à des femelles à partir de la période pré-pubère induit des perturbations de l'expression des gènes dans l'embryon, puis un retard de croissance intra-utérin suivi de l'apparition d'anomalies métaboliques (métabolismes lipidique et glucidique) chez les descendants adultes (Picone *et al.*, 2011). De plus, l'étude des adaptations placentaires à ce régime démontre des effets dépendant du sexe du fœtus, avec une relative protection des fœtus femelles qui ne présentent pas de dyslipidémie importante comme cela est observé chez les fœtus mâles (Tarrade *et al.*, 2013). En période post-natale, les fonctions testiculaire (Dupont *et al.*, 2014) et ovarienne (Leveille *et al.*, 2014) sont affectées, mais la fertilité n'a pas été évaluée. En terme de supplémentation des femelles, peu de données existent sur les aspects de programmation (Arias-Alvarez *et al.*, 2013a ; Cardoso et Bao, 2009). Des résultats ont été obtenus avec la supplémentation prolongée du régime des femelles avec des acides gras oméga-3 qui a permis de réduire l'apoptose dans les embryons et d'améliorer la croissance foetale à la première mais pas à la deuxième mise-bas (Rodriguez *et al.*, 2018).

Enfin, chez les mammifères, la période de lactation est aussi une période critique de la programmation de l'individu. Ainsi, il a été montré qu'un régime favorisant l'obésité enrichi en gras et en sucre induit chez la mère une accélération de la maturation de la glande mammaire durant la gestation et une modification de la composition du lait avec en particulier une augmentation de sa teneur en lipides (Hue-Beauvais *et al.*, 2011). Après adoption, les lapereaux mâles et femelles nés de mères témoins et nourris avec ce lait sont significativement plus gras à l'âge

adulte (Hue-Beauvais *et al.*, 2017) et, chez les femelles, le développement de la glande mammaire est perturbé (Hue-Beauvais *et al.*, 2015), ce qui pourrait entraîner des effets sur la deuxième génération.

Les exemples ci-dessus démontrent la possibilité de modifier le phénotype des descendants en modifiant (par carence ou supplémentation) l'alimentation de la mère. L'impact de l'alimentation peut avoir des effets bénéfiques ou délétères en fonction du régime utilisé. En outre, chez les oiseaux comme chez les mammifères, certains phénomènes dépendent du sexe des descendants. Il est donc nécessaire de caractériser finement une « programmation nutritionnelle » avant d'en généraliser la pratique en élevage.

### ■ 1.3. Programmation par influence directe sur l'embryon

#### a. Programmation par manipulation du contenu de l'œuf

La manipulation *in ovo* des nutriments est un moyen plus direct d'influencer le phénotype des descendants. Ainsi, un grand nombre d'articles rapportant l'utilisation de la supplémentation *in ovo* en nutriments pour améliorer la capacité des œufs à éclore, la croissance, la santé, ou la capacité de rétention en eau du filet chez les poulets ont été publiés (Wei *et al.*, 2011 ; Kadam *et al.*, 2013).

Une revue récente détaille par exemple l'influence de l'injection dans l'œuf de divers produits (acides aminés, hormones, probiotiques...) sur le développement et les phénotypes qui en résultent (Roto *et al.*, 2016).

Une autre façon de manipuler le contenu de l'œuf est d'enlever une partie du contenu d'albumen et de le remplacer par une solution saline stérile. Chez les poulets de chair par exemple, la sous-nutrition protéique a été explorée en enlevant 10 % de l'albumen des œufs fécondés avant l'incubation (Everaert *et al.*, 2013). Le poids des poussins à l'éclosion a diminué dans le groupe traité, qui présentait

un métabolisme protéique altéré. Dans une autre étude, les poules privées d'albumen pendant leur développement embryonnaire ont donné naissance à des poussins avec un poids corporel réduit jusqu'à l'âge de trois semaines, ce qui suggère des impacts multigénérationnels de la dénutrition protéique prénatale (Willems *et al.*, 2015).

En système commercial, l'élevage des reproducteurs et l'incubation des œufs sont fortement contrôlés, et la méthode de supplémentation *in ovo* pourrait y être adaptée avec succès.

Chez les lapins, l'importance de la période périconceptionnelle pour la programmation des descendants est aussi soulignée dans une étude démontrant l'impact d'une hyperglycémie dans la période de croissance folliculaire et de développement embryonnaire, sur la fonction placentaire et le développement fœtal à terme après que ces embryons ont été transférés dans des femelles non-hyperglycémiques (Rousseau-Ralliard *et al.*, 2018).

#### b. Acclimatation à la chaleur chez l'oiseau

Chez le poulet de chair, il est possible d'améliorer la tolérance à la chaleur en augmentant la température de démarrage de l'élevage à 38 °C au lieu de 30 °C pendant 24 h aux jours 3 ou 5 (Yahav et McMurtry, 2001). Cet accroissement post-natal de la thermo-tolérance impliquerait la reprogrammation épigénétique de plusieurs régulateurs de la température dans les neurones de l'aire préoptique de l'hypothalamus (Yossifoff *et al.*, 2008 ; Kisliouk *et al.*, 2014). Cependant ces traitements nécessitent de chauffer des volumes d'air importants en bâtiment et restent donc difficiles à mettre en place sur le terrain.

Un autre levier d'amélioration des capacités de thermorégulation des oiseaux a été identifié lors de l'embryogenèse, pendant la mise en place de l'axe hypothalamo-hypophysio-thyroïdien et surrénalien. La Thermo-Manipulation embryonnaire (TM) du poulet de chair correspond à une augmentation cyclique de la température d'incubation des œufs de 37,8 °C à

39,5 °C 12 heures par jour, pendant les jours 7 à 16 de l'incubation. Ce traitement relativement facile à appliquer améliore la résistance à la chaleur post-éclosion, jusqu'à 35 jours d'âge (Loyau *et al.*, 2015). Une réduction de la température des individus suite à la TM a été observée de l'éclosion jusqu'à 70 jours d'âge, associée à des différences de taux d'hormones thyroïdiennes plasmatiques participant à la régulation du métabolisme basal (Loyau *et al.*, 2013 ; Piestun *et al.*, 2013). Lors d'un stress thermique à 35 jours d'âge, une diminution de la mortalité de 50 % des individus TM mâles a été observée par rapport aux animaux contrôles (Piestun *et al.*, 2008). Les auteurs ont également observé des modifications des concentrations en corticostérone et hormones thyroïdiennes pendant le coup de chaleur allant dans le sens d'une réduction du stress et du métabolisme basal chez les poulets TM. Dans le muscle pectoral des poulets TM, ce traitement ne modifie l'expression que d'une trentaine de gènes en conditions d'élevage standard, mais induit des changements dans l'expression d'un grand nombre de gènes en cas de coup de chaleur ultérieur. Ceci pourrait être expliqué par une reprogrammation partielle de l'épigénome des animaux lors de la TM qui persisterait au cours du développement et conditionnerait une réponse adaptée en cas d'exposition ultérieure à un stress thermique (Loyau *et al.*, 2016).

Enfin, il est intéressant de noter que les expositions embryonnaires à des températures variables sont également étudiées pour leurs impacts sur la production autres que l'acclimatation à la température, tels que la croissance ou la santé des animaux (pour revue voir Loyau *et al.*, 2015). Notamment, l'exposition à des stimulations froides lors de l'incubation est associée à une réduction de l'incidence d'ascite chez les poulets de chair exposés au froid (Shinder *et al.*, 2011).

#### c. Influence des techniques de reproduction chez le lapin

Lors de la mise à la reproduction qui a lieu peu de temps après la mise bas, la réceptivité sexuelle et la fertilité des femelles sont réduites. Les stratégies mises en place dans les élevages pour

améliorer la reproduction des animaux incluent l'utilisation d'hormones pour stimuler la croissance folliculaire et l'ovulation (eCG). Il a été démontré chez les rongeurs que la stimulation hormonale seule peut induire des effets sur le développement embryonnaire (Duranthon et Chavatte-Palmer, 2018). Chez le lapin, le traitement de la mère à l'eCG réduit l'expression de gènes impliqués dans la réponse au stress oxydant de l'embryon (Arias-Alvarez *et al.*, 2013b) mais les effets à long terme n'ont pas été étudiés. Encore peu utilisées en élevage cunicole, les techniques de procréation médicalement assistée sont largement utilisées chez l'humain. Des études chez le lapin ont montré que les dynamiques de méthylation de l'ADN dans les embryons pré-implantatoires sont altérées par la culture *in vitro* (Reis e Silva *et al.*, 2012). De plus, d'autres travaux montrent que la congélation par vitrification des embryons de lapin modifie la méthylation du promoteur de POU5F1, un gène impliqué dans la pluripotence (Saenz-de-Juano *et al.*, 2014b) et affecte la fonction placentaire (Saenz-de-Juano *et al.*, 2014a).

Les exemples décrits ici illustrent les capacités de l'environnement précoce à « programmer » les phénotypes adultes mais, dans la plupart des cas, les mécanismes épigénétiques impliqués restent à décrire. Au-delà des travaux à mener dans ce domaine, étudier la transmission épigénétique des effets de l'environnement des reproducteurs sur les générations suivantes permettra en outre d'évaluer si les schémas de sélection pourraient être améliorés en tenant compte de ces phénomènes (encadré 1).

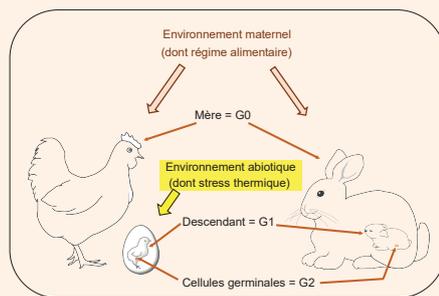
## 2. Microbiote et programmation

### ■ 2.1. Notions introductives

Les microbiotes, du fait de leur influence sur l'homéostasie de leurs hôtes, ont émergé ces dernières années comme des acteurs majeurs à considérer dans les recherches menées en médecine mais aussi en production animale. Les approches de séquençage à haut-débit qui se sont dévelop-

**Encadré 1. Effets multigénérationnels de l'environnement maternel.**

L'environnement parental a un effet sur la génération G1, et il est particulièrement évident chez les mammifères où le développement se déroule entièrement dans les voies génitales de la mère, tout d'abord librement dans l'oviducte et l'utérus (phase embryonnaire) puis par l'intermédiaire du placenta (phase foeto-placentaire), qui est un acteur majeur de la programmation. Les effets du régime maternel peuvent également se manifester dans la génération G2, puisque la génération G1 qui se développe porte les cellules germinales primordiales qui se développeront en un animal G2. L'environnement maternel peut donc affecter directement les deux générations suivantes, G1 et G2, mais pas la G3, à moins qu'il y ait eu une transmission épigénétique transgénérationnelle. Peu d'études « transgénérationnelles » existent chez les oiseaux (Guerrero-Bosagna *et al.*, 2018). La première à avoir démontré la transmission d'un effet de l'environnement sur trois générations concerne la caille (Leroux *et al.*, 2017) : deux « épilignées » de cailles ont été produites en injectant ou non dans les œufs, avant incubation, de la génistéine, une isoflavone naturelle dans le soja, modificatrice de la méthylation. Après 3 générations parallèles de reproduction, sans autre injection, plusieurs caractères ont été affectés par le traitement des ancêtres, comme l'âge au premier œuf (retardé de 8 jours) et des caractères de comportement. La variabilité génétique entre épilignées ayant été minimisée grâce à un dispositif de croisements « en miroir », les différences observées sont probablement dues, au moins en partie, à une transmission épigénétique transgénérationnelle. Chez le lapin, une étude a démontré que la vitrification des embryons et leur transfert s'accompagne dans la deuxième génération d'une augmentation de la taille des portées et du nombre de lapereaux nés vivants (Lavara *et al.*, 2014). Dans un modèle biomédical d'exposition à des gaz d'échappement diesel durant la gestation, des effets de l'exposition maternelle ont été observés sur la fonction placentaire et le métabolisme fœtal en deuxième génération (foetus et placentas G2) (Valentino *et al.*, 2016).



pées ces dernières années ont en effet autorisé une description du microbiote intestinal beaucoup plus exhaustive qu'auparavant, chez l'Homme puis chez les animaux d'élevage. Les progrès méthodologiques à cet égard ont été marqués par l'établissement d'un métagénome intestinal humain de référence (Qin *et al.*, 2010), qui a été suivi de métagénomiques de référence chez la souris (Xiao *et al.*, 2015), le porc (Xiao *et al.*, 2016), le rat (Pan *et al.*, 2018), le chien (Coelho *et al.*, 2018) et les bovins (Hess *et al.*, 2011 ; Li *et al.*, 2018 ; Stewart *et al.*, 2018). L'acquisition de ces métagénomiques autorise une caractérisation non seulement taxonomique des échantillons de microbiote, comme le permettent déjà les approches ciblant le gène de l'ARN ribosomique 16S, plus courantes (quelles espèces bactériennes sont présentes, en quelle quantité) mais aussi fonctionnelle (quels sont

les gènes présents, quelles fonctions remplissent-ils). Chez l'Homme ces progrès méthodologiques ont engendré une révolution dans notre compréhension de la physiologie humaine ; il est devenu clair que le microbiote intestinal forme avec son hôte une symbiose essentielle à la santé humaine (Gilbert *et al.*, 2018). Il en est de même chez les animaux d'élevage. Ainsi le microbiote intestinal est indispensable au développement de l'intestin et du système immunitaire à la naissance ; il synthétise des métabolites essentiels à son hôte, qui peuvent circuler dans tout l'organisme et réguler sa physiologie et son métabolisme ; il participe au bon fonctionnement du système immunitaire, aidant ainsi à combattre les infections ; et il a un effet de résistance à la colonisation intestinale par des microorganismes pathogènes. C'est pourquoi sa prise en compte est devenue essentielle

dans de nombreux domaines de la biologie (Calenge *et al.*, 2014).

On considère maintenant non plus seulement l'animal, mais l'holobionte, c'est-à-dire l'animal et ses microbiotes, dont le microbiote intestinal. Le microbiote intestinal a de fait un effet sur quasiment tous les phénotypes animaux classiquement étudiés : santé, bien-être, robustesse, efficacité alimentaire et résistance aux infections. Chez l'Homme comme chez les animaux d'élevage, il est clair qu'une bonne santé repose sur la présence d'un microbiote sain. Toute la difficulté est cependant de définir les caractéristiques d'un microbiote sain. Cette question fait l'objet de nombreux travaux de recherche, notamment chez l'Homme, qui comparent les microbiotes de personnes malades et de personnes saines pour identifier les éléments clés du microbiote qui distinguent les deux cohortes : espèces bactériennes, diversité, richesse, gènes, fonctions ou métabolites. Des travaux similaires sont actuellement menés chez les animaux d'élevage et nous donnent des indices sur ce qui constitue un microbiote sain dans un contexte d'élevage donné.

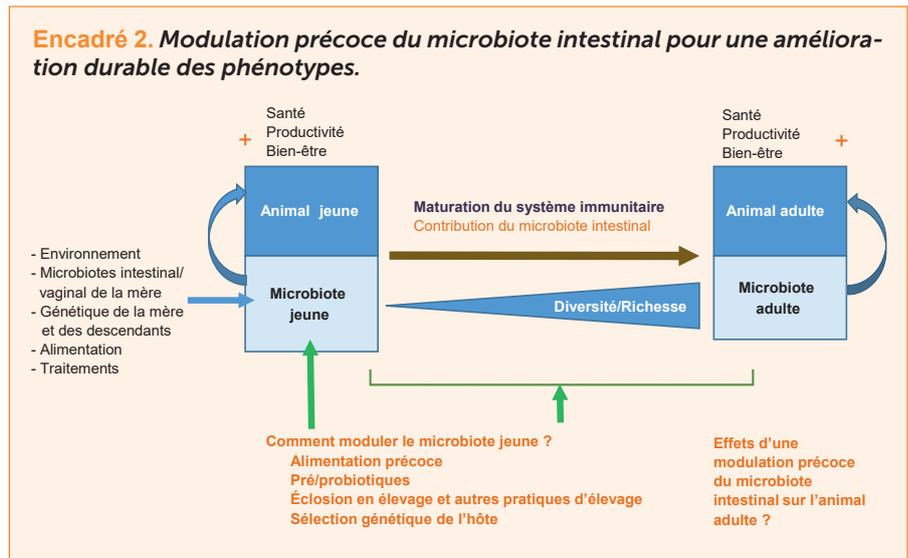
## ■ 2.2. Le microbiote intestinal précoce est-il important pour toute la vie de l'animal ?

L'une des raisons de l'intérêt croissant suscité dans le domaine de la production animale par les études du microbiote intestinal est la possibilité de le moduler pour tenter de modifier sa composition vers un état jugé favorable et ainsi réguler les phénotypes animaux d'intérêt, en particulier la santé et l'efficacité alimentaire. Nutrition, probiotiques, prébiotiques, pratiques d'élevage, génétique de l'hôte ont un effet plus ou moins documenté sur le microbiote intestinal et jouer sur ces facteurs devrait permettre de réguler ce dernier (Calenge *et al.*, 2014) (encadré 2). Un certain nombre de travaux chez la poule domestique et le porc documentent ainsi l'effet sur le microbiote d'antibiotiques, anticoccidiens, vaccins, pré ou probiotiques, levures ou encore génétique de l'hôte.

En particulier, la possibilité d'orienter précocement la composition du microbiote intestinal chez les animaux très jeunes pour influencer divers caractères phénotypiques suscite beaucoup d'intérêt. Le microbiote intestinal à la naissance n'étant pas encore constitué, la période péri-natale constitue une fenêtre d'intervention possible pour sa modulation, avec un effet supposé bénéfique à court et à long terme à la fois, comme on peut l'observer chez l'Homme (Arrieta *et al.*, 2014). La constitution du microbiote intestinal est en effet progressive, changeant en qualité comme en quantité de la naissance jusqu'à l'âge adulte pour rester stable en termes de nombre d'espèces bactériennes présentes, mais peut cependant fluctuer qualitativement selon les variations de l'environnement.

Chez l'Homme il est considéré qu'un microbiote adulte sain est résilient, c'est-à-dire qu'après une perturbation causant une diminution de sa richesse et de sa diversité (infection, prise d'antibiotiques), il revient, sinon à la même composition, du moins à une composition considérée comme saine, avec une diversité et une richesse comparables à celles qu'il possédait avant la perturbation. Tout laisse à penser qu'il en est de même chez les animaux d'élevage, bien que peu de travaux le démontrent. Il est donc crucial que les animaux d'élevage acquièrent un microbiote comportant une diversité et une richesse suffisantes pour être résilient. Sans cela, le microbiote risque de passer à un état de dysbiose, c'est-à-dire un déséquilibre écologique (perturbation qualitative et quantitative des espèces présentes) aux conséquences défavorables pour les caractères phénotypiques de l'animal (santé, performances).

Chez les mammifères d'élevage comme le porc, le processus naturel d'implantation du microbiote intestinal accompagne la maturation de l'immunité intestinale (encadré 2) et est fortement influencé par l'environnement et des facteurs biologiques (Everaert *et al.*, 2017). De plus, la colonisation microbienne de l'intestin est perturbée par le sevrage, surtout lorsqu'il est effectué à un âge très précoce, comme c'est le cas pour le porc. En effet, en partant d'une



composition initiale du microbiote dominée par des lactobacilles bien adaptés à l'apport de nutriments du lait maternel, le sevrage est accompagné d'un changement radical de la composition microbienne dans l'intestin avec une augmentation très significative de la présence de bactéries caractéristiques du microbiote « adulte », et notamment celles du genre *Prevotella* (Mach *et al.*, 2015). Ainsi, le microbiote des jeunes porcelets évolue après sevrage vers une composition plus complexe et notamment vers une structuration en deux entérotypes majeurs, qui par ailleurs ont été décrits comme associés aux variations de caractères de production (Mach *et al.*, 2015 ; Ramayo-Caldas *et al.*, 2016).

Chez les oiseaux, la colonisation du microbiote démarre essentiellement à l'éclosion, ce qui permet de définir *a priori* une fenêtre d'influence externe plus claire que chez les mammifères. Ainsi par exemple, une étude montre chez le poulet que la supplémentation précoce en probiotiques ou la vaccination contre les salmonelles, c'est-à-dire dès le premier jour de vie, affecte le microbiote plus tardif (14 et 28 jours) (Ballou *et al.*, 2016). Néanmoins les auteurs ne font pas de lien avec les phénotypes des animaux. Si tout laisse à penser que l'établissement précoce d'un microbiote favorable ne peut qu'aider au développement correct du système immunitaire et de l'appareil digestif, contribuant ne serait-ce que par ce biais à la robus-

tesse future de l'animal, peu de travaux le démontrent concrètement chez les animaux d'élevage. Chez le poulet, il est démontré que des animaux axéniques ont un répertoire de cellules T intestinales de moindre complexité, à la fois dans les intestins et dans la rate (Mwangi *et al.*, 2010), et une moindre production de cytokines ; néanmoins les conséquences de ce déficit sur la capacité de résistance aux infections et la robustesse au sens large restent à démontrer. Une autre étude montre que la réactivité émotionnelle chez la caille est réduite chez des animaux axéniques, démontrant ainsi le lien entre présence d'un microbiote intestinal et comportement des animaux (Kraimi *et al.*, 2018). Restent cependant à identifier les composantes du microbiote responsables de cet effet.

### ■ 2.3. Comment moduler le microbiote intestinal des jeunes ?

À défaut de bien connaître les caractéristiques d'un microbiote sain, il est généralement considéré que l'établissement précoce d'un microbiote complexe, c'est-à-dire riche et divers, est favorable à l'hôte. D'où l'importance du microbiote intestinal et du microbiote vaginal de la mère à la naissance, mais aussi de tous les microorganismes présents dans l'environnement (Everaert *et al.*, 2017) (encadré 2). Chez le poulet par exemple, il est démontré depuis longtemps que la présence d'un microbiote complexe d'animal adulte et sain

augmente la résistance des poussins à la colonisation intestinale par les salmonelles, par un mécanisme d'exclusion compétitive (Nurmi et Rantala, 1973). Plusieurs produits commerciaux exploitant le microbiote d'animaux adultes sains sont encore actuellement commercialisés et largement utilisés pour lutter contre les salmonelles. Les outils d'étude du microbiote actuellement disponibles devraient permettre bientôt d'identifier les causes de cette exclusion compétitive et les éléments clés du dialogue hôte-microbiote qui y conduisent. De façon plus générale, les conditions actuelles de production de poussins ont tendance à retarder l'exposition des animaux à un microbiote complexe. En particulier, l'alimentation des poussins n'a souvent lieu que 24 à 48 h après l'éclosion. La nutrition précoce des animaux, y compris la prise de pro- ou pré-biotiques, est actuellement une stratégie envisagée pour y remédier. Par ailleurs, certaines entreprises testent actuellement l'éclosion directe des œufs dans les élevages et non dans l'environnement aseptisé des couvoirs, afin de réduire le stress des animaux et favoriser l'établissement de ce microbiote. Néanmoins, peu de travaux étudient l'effet durable d'interventions précoces sur le microbiote.

Enfin, la transmission d'un microbiote favorable par la mère est un sujet d'étude actuel chez les animaux d'élevage. Le génotype de la mère, mais aussi la constitution de son propre microbiote influencent vraisemblablement celui de ses descendants. De plus, suite à la découverte de la présence de microorganismes dans le placenta avant la naissance, l'hypothèse d'une implantation prénatale a été formulée, même si cette idée demeure controversée.

## ■ 2.4. Conclusion : une piste prometteuse pour l'amélioration de la robustesse des animaux

L'environnement d'élevage des animaux à la naissance joue un rôle important dans la constitution du microbiote digestif, qui lui-même contribue à l'expression des phénotypes, en particulier ceux qui sont liés à la santé et aux

performances (encadré 2). Si beaucoup de travaux de recherche mentionnent un effet favorable de la modulation du microbiote intestinal sur la santé et la productivité de l'hôte, peu (voire aucun) font mention de l'effet à l'âge adulte d'interventions effectuées précocement sur le microbiote. C'est certainement un volet prometteur de recherches à développer. Les outils de métagénomique à présent disponibles seront à cet égard d'une aide considérable pour identifier les facteurs (microorganismes, espèces bactériennes, souches, gènes, fonctions, métabolites...) impliqués dans le dialogue moléculaire entre hôte et microbiote et les voies fonctionnelles activées.

## 3. Processus comportementaux

### ■ 3.1. Notions introductives

Le comportement animal, ou « l'ensemble des manifestations motrices observables d'un individu à un moment et dans un lieu particulier » (Campan et Scapini, 2002), a évolué ces dernières décennies d'une vision figée prédéterminée, basée sur un patrimoine génétique et des capacités neurologiques ou physiologiques, vers une vision évolutive où l'interaction de facteurs internes et externes à l'organisme façonne la gamme de réponses de l'individu aux facteurs de son environnement (Lickliter, 2007). Plus généralement, l'uniformité de certains comportements au sein d'une espèce n'implique pas forcément l'absence d'effets de l'expérience au cours du développement, comme l'ont montré plusieurs travaux de Gilbert Gottlieb chez les canards, et avant lui Zing-Yang Kuo dans les années 1920. Ce dernier fut l'un des premiers à proposer la possibilité que certains comportements des nouveau-nés, supposés « innés », seraient la conséquence d'expériences faites avant la naissance et ainsi que le comportement ne commencerait pas à la naissance (voir Lickliter, 2007 pour synthèse).

Le comportement joue un rôle très important dans l'adaptation de l'animal à son environnement. Il peut être vu comme l'intégration de toutes les perceptions qu'a l'individu à un

moment donné à la fois de la situation à laquelle il est confronté et de son état interne (physiologique et psychologique). Le comportement est également flexible et plus rapide à modifier que des traits morphologiques ou un processus physiologique (Kappeler *et al.*, 2013). Enfin, il peut se transmettre entre générations de façon directe chez les espèces sociales ou bénéficiant d'un soin parental, mais également grâce à des mécanismes épigénétiques.

Il existe différents mécanismes biologiques qui affectent le développement des comportements, dont plusieurs font appel à de l'apprentissage, à différents degrés (encadré 3). Dans la suite de cette partie, nous illustrerons les effets de l'expérience précoce sur le comportement chez diverses espèces animales en entrant par les facteurs environnementaux : habitat, alimentation, environnement social, et stress qui intègre souvent plusieurs de ces facteurs et qui est particulièrement considéré en élevage dans le cadre de l'amélioration du bien-être animal.

### 3.2. Facteurs environnementaux

#### a. Habitat

Lorsqu'on parle d'habitat, pour des animaux conduits en captivité, les effets précoces étudiés sont le plus souvent liés à l'enrichissement du milieu de vie, qui est supposé améliorer la flexibilité comportementale, les capacités cognitives et donc l'adaptation de l'animal à des situations nouvelles. En effet, confronter le jeune animal à une diversité de stimuli environnementaux, doit lui permettre d'acquérir une meilleure expérience de l'environnement auquel il pourra être confronté plus tard.

Dans la bibliographie, des espèces élevées en vue de réintroduction dans le milieu naturel ont fait l'objet de plusieurs études testant les impacts de l'enrichissement précoce sur les compétences et la flexibilité comportementale ultérieures (travaux de Salvanes et collaborateurs notamment chez les poissons). Ainsi, chez le cabillaud (*Gadus morhua*), le type d'environnement (nu ou enrichi avec des galets et des algues artificielles pendant 18 semaines) a modifié le comportement

**Encadré 3. Principaux processus d'apprentissage.**

L'apprentissage est un changement durable du comportement d'un individu, face à une situation, qui résulte d'une expérience préalable (Pearce, 2013 ; Darmaillacq et Lévy, 2015). L'apprentissage dépend à la fois des capacités cognitives de l'individu mais également des facteurs contextuels comme les processus sensoriels, motivationnels et moteurs.

*Apprentissages individuels*

– *Apprentissages associatifs* : capacité de l'animal à associer un événement à un autre (stimulus à réponse). On parle de conditionnement :

i) *Conditionnement classique* : association d'un Stimulus Neutre (SN) à un autre Stimulus Conditionnel (SC), entraînant une Réponse Inconditionnelle (RI de type réflexe). Permet à l'animal d'anticiper un événement négatif ou positif avant sa réalisation mais il reste passif.

ii) *Conditionnement opérant* : association d'un comportement avec un stimulus par le biais d'un effet favorable/défavorable (renforcement) qui influence la probabilité que le comportement se reproduise. L'animal apprend de façon active, par essai-erreur ou par un phénomène de compréhension soudaine (« *insight* »).

– *Apprentissages non associatifs (ou latents)* : reposent sur la simple exposition à un phénomène sans valence ou contingence particulière.

i) *Habituation (désensibilisation)* : diminution graduelle d'une réponse ou d'un comportement, suite à la présentation répétée d'un stimulus déclencheur. Plusieurs techniques d'élevage ou d'expérimentation visant à limiter le stress sont basées sur ce processus.

ii) *Apprentissage perceptif* : apprentissage permettant de définir par perception sensorielle (vision, audition, goût, toucher) les caractéristiques d'un stimulus et de les mémoriser. À la base notamment des apprentissages spatiaux (représentation de l'environnement).

iii) *Empreinte (imprégnation)* : processus durable de reconnaissance et d'attachement envers un facteur/objet/individu provoquant une préférence généralisée pour ce stimulus. Ne peut avoir lieu que pendant une courte période précoce (période sensible).

*Apprentissages sociaux*

Un apprenti observe le comportement d'un modèle vis-à-vis d'un stimulus et tente de reproduire le comportement.

– *Apprentissages par observation (ou vicariant)* : orienté vers le stimulus, par exemple un raton cherche à décortiquer une pomme de pin par observation de sa mère.

– *Apprentissages par imitation* : orienté vers la reproduction d'un comportement et non vers le stimulus qui l'a provoqué, par exemple un rat pousse un levier à gauche si un modèle le fait, bien qu'il soit aussi récompensé à droite.

Ces apprentissages ne sont pas exclusifs. Ils mobilisent différentes catégories de mémoires et des processus cognitifs variés et complexes. Par leur association, l'animal est capable de développer des représentations et des catégorisations de son environnement.

**b. Alimentation**

Selon le type de production, les animaux d'élevage ont des possibilités variables de composer leur régime alimentaire, mais d'un point de vue évolutif, la capacité qu'a le jeune animal à sélectionner des aliments nutritifs et à éviter des aliments toxiques est primordiale car un mauvais choix peut avoir des conséquences délétères voire mortelles. Il n'est donc pas étonnant que certains mécanismes favorisant la sélection d'un régime alimentaire approprié, aient évolué.

Dès la vie fœtale, l'alimentation de la mère peut influencer les préférences alimentaires du jeune, comme chez les ovins où les agneaux dont les mères ont reçu une ration enrichie en huile essentielle d'origan pendant la gestation ont une préférence plus marquée pour cette saveur que leurs congénères n'ayant pas eu cette expérience, jusqu'à l'âge d'au moins sept mois (Altbäcker *et al.*, 1995 ; Simitzis *et al.*, 2008). Ce type d'imprégnation par des saveurs avant la naissance n'est pas spécifique des mammifères. Chez le poulet, l'exposition à une saveur (fraise) pendant l'incubation (j15 à j20), notamment via une application de l'odeur sur la coquille a induit une préférence spécifique pour cette saveur ajoutée dans la litière ou dans l'eau de boisson, entre 2 et 4 jours après l'éclosion (Sneddon *et al.*, 1998). De même, le comportement alimentaire et la peur chez de jeunes poussins ont été affectés par l'alimentation de la mère (aliment présentant l'odeur du menhaden (poisson)) (Aigueperse *et al.*, 2013).

Après la naissance, un autre type d'apprentissage intervient pour orienter et façonner le comportement alimentaire : les apprentissages associatifs à la base de la théorie des apprentissages alimentaires. Chez les ruminants, de nombreux travaux ont étudié ces capacités et leurs facteurs de variation. Ces animaux (bovins, ovins, caprins) sont ainsi capables d'établir des aversions pour des aliments induisant des conséquences négatives (malaise gastro-intestinal, faible digestibilité...), et inversement des préférences pour les aliments associés à des récompenses énergétiques, protéiques, minérales

de groupe des poissons ultérieurement, lorsque les animaux étaient confrontés aux deux types d'environnements. Les poissons issus de l'environnement enrichi formaient un banc en environnement nu mais étaient plus dispersés quand ils avaient la possibilité de se cacher. En revanche, les poissons issus de l'environnement nu n'ont pas montré ce type de flexibilité comportementale (Salvanes *et al.*, 2007). Le changement de comportement de groupe des poissons du traitement enrichi

serait adaptatif car en zone nue, la protection vient du groupe, tandis qu'elle vient du camouflage lorsque des abris sont disponibles. En termes de capacités d'apprentissage, une autre étude chez les saumons (*Salmo salar*) a montré qu'un enrichissement du milieu avec des galets et des structures flottantes, de 10 à 12 mois d'âge, s'est traduit par une meilleure capacité d'apprentissage spatial des poissons, comparée à celle des individus n'ayant pas eu cette expérience (Salvanes *et al.*, 2013).

ou ayant des propriétés médicinales (Provenza, 1995 ; Ginane *et al.*, 2005 ; Juhnke *et al.*, 2012). La nature, le nombre et l'intensité des conséquences, la familiarité avec l'aliment ou encore le comportement des congénères sont autant de facteurs qui impactent la force et la durabilité de l'apprentissage. Pour le jeune animal, les premières expériences vécues créent une dichotomie entre ce qui est familier et non familier (Provenza et Villalba, 2006). Par la suite, la « valeur » d'un aliment nouveau (notamment son statut de sécurité) pourra être anticipée en regard des expériences passées, *via* des processus de généralisation et catégorisation (Ginane et Dumont, 2011).

En élevage, des problèmes d'acceptabilité de nouveaux aliments lors de transitions alimentaires sont fréquemment rencontrés, comme chez les porcelets au sevrage (Langendijk *et al.*, 2007) en raison d'une néophobie alimentaire. Une diversité alimentaire précoce devrait sans doute être plus considérée pour faciliter ces transitions. Pour aller dans ce sens, Catanese *et al.* (2012) ont montré que des ovins tendaient ainsi à accepter plus rapidement des saveurs ou des aliments nouveaux lorsqu'ils avaient reçu un régime diversifié dans le jeune âge, indiquant une néophobie plus transitoire (Catanese *et al.*, 2012). Au-delà des expériences individuelles par essai-erreur, le modèle social est un facteur important du développement des préférences alimentaires. L'observation des congénères peut en effet aider considérablement le jeune animal à déterminer quoi, où et comment consommer (Galef et Giraldeau, 2001) et à élaborer son répertoire alimentaire de façon plus rapide et plus durable (Biquand et Biquand-Guyot, 1992) que s'il devait tester par lui-même les différents aliments disponibles. À titre d'illustration, une étude d'adoption croisée a montré que des chevreaux élevés par une chèvre de race Damascus (consommant plus de *Pistacia lentiscus* (riche en tannins) que la race Mamber), sélectionnent plus ce fourrage que ceux élevés par une mère de race Mamber, indépendamment de leur propre race. L'apprentissage (social) semble donc ici être plus important que la génétique dans l'élaboration des préférences alimentaires (Glasser *et al.*, 2009).

### c. Environnement social

Le comportement social est une composante importante de l'adaptation à des challenges chez les espèces qui vivent en groupe, comme c'est le cas de la plupart de nos espèces d'élevage. Selon ses caractéristiques, l'environnement social peut permettre de tamponner les effets d'un stress ou à l'inverse de créer lui-même un stress aux effets délétères potentiellement importants (Sachser *et al.*, 2011). En élevage, nombreux sont les challenges liés à l'environnement social qui peuvent affecter les capacités futures de l'individu à s'adapter à des variations de son environnement (social mais pas seulement) : absence de la mère, modification(s) de la composition ou de la densité des groupes, isolement, etc. Suivant le caractère social de l'espèce considérée, plusieurs acteurs sociaux peuvent influencer le jeune : parents, fratrie ou congénères. La mère reste un acteur majeur et sa présence en élevage devient un enjeu important ces dernières années ; nous ferons donc un focus sur son rôle.

Comme pour l'alimentation, l'expérience sociale commence dès la gestation/formation de l'œuf, et un stress social prénatal peut induire des modifications comportementales chez les jeunes, comme une augmentation du niveau d'anxiété, avec parfois des effets différents chez les mâles et les femelles (rat : Brunton et Russell, 2010 ; cochon d'inde : Sachser *et al.*, 2011 ; voir également Brunton, 2013 pour revue). Par exemple, chez ces derniers, les filles présentaient une masculinisation comportementale et neurobiologique tandis que les mâles présentaient une infantilisation. Chez les porcs ayant expérimenté un stress prénatal, on a pu observer une plus grande réactivité au sevrage, des réponses de stress plus longues suite à un mélange d'individus, ainsi qu'une occurrence plus forte de comportements maternels anormaux, en comparaison d'individus témoins (Jarvis *et al.*, 2006). Chez la caille, Guibert *et al.* (2010) ont montré qu'une instabilité sociale pendant la formation de l'œuf conduisait à des cailleaux plus émotifs, probablement par modification hormonale de la composition des œufs. Également, dans la

continuité des travaux de Gottlieb (1991), Lickliter et Lewkowicz (1995) ont montré chez les cailleaux qu'en absence de stimulations prénatales *via* les autres membres de la nichée, les poussins juste éclos n'exprimaient pas les réponses typiques de leur espèce aux sollicitations maternelles. Cela illustre le fait que l'environnement périnatal normal produit ce que les auteurs appellent une « canalisation » du comportement en fournissant au jeune une gamme de stimulations sensorielles à une période optimale (pour une attention particulière à ces stimulations), qui permettront le développement perceptif propre à l'espèce (Gottlieb, 1991 ; Lickliter, 2007).

Après la naissance, on retrouve un effet de la présence/composition de la fratrie sur le phénotype des jeunes, comme une plus grande émotivité observée chez les rats élevés dans de petites fratries, malgré un même maternage que dans les grandes fratries (Dimitantos *et al.*, 2007). On retrouve des résultats similaires chez les canetons et les poussins (Gaioni, 1982 ; Jones et Harvey, 1987). L'interprétation est qu'il y aurait un stress précoce lié à une compétition plus importante au sein des grandes fratries, qui programmerait les jeunes à être plus résistants lors de futures situations stressantes. Une autre période sensible identifiée par les travaux de Kaiser et Sachser (Sachser *et al.*, 2011 pour revue) est l'adolescence, qui représente un stade de la vie de l'individu potentiellement stressant et dangereux. Nous utilisons ici le terme employé par les auteurs, et renvoyons le lecteur à la synthèse de Spear (2000) consacrée à ce sujet. L'adolescence, qui peut être définie comme la période s'étendant de la puberté à la maturité sexuelle ou à l'arrêt de la croissance, est associée à certains comportements comme une recherche de la nouveauté, la prise de risques ou une augmentation des interactions sociales, qui permettent au jeune de prendre son indépendance. Les différents travaux réalisés par Kaiser et Sachser sur les cochons d'inde indiquent l'existence d'une relation causale entre les expériences sociales stressantes vécues à l'adolescence, l'agressivité à l'âge adulte et le

degré de stress social. Ce serait *via* ces expériences stressantes à l'adolescence que les jeunes mâles apprendraient les règles sociales nécessaires pour s'adapter à leurs congénères (capacité à évaluer l'adversaire et à se soumettre aux mâles de rangs supérieurs afin d'éviter les affrontements et les blessures associées). On peut voir dans ces influences une dimension adaptative *via* une préparation de l'individu aux futurs challenges environnementaux.

Un point particulièrement important de l'environnement social est la mère. Sa simple absence/présence peut avoir des conséquences fortes sur le développement du comportement des jeunes. Une privation maternelle peut induire par exemple des déficits sociaux, conduisant à une augmentation de l'agressivité et une baisse de motivation sociale, une émotivité plus importante et l'apparition de stéréotypies (Bertin et Richard-Yris, 2005 ; Shimmura *et al.*, 2010 ; Veissier *et al.*, 2013). Lorsqu'elle est présente, la mère et ses caractéristiques influencent les jeunes, comme dans l'étude d'adoption croisée chez la caille où l'émotivité des jeunes était liée à celle de leur mère adoptive, avant d'être affectée par leur lignée (sélectionnée sur l'émotivité) (Houdelier *et al.*, 2011), de façon similaire à l'exemple des chèvres Mamber et Damascus cité dans la section précédente. Ceci met en évidence une influence postnatale directe de la mère sur le développement phénotypique des jeunes, *via* deux mécanismes parallèles : *i*) le soin qu'elle leur donne, en apportant une base de sécurité (« *maternal care* », exemple du léchage/toilettage des jeunes chez la souris, Francis *et al.*, 1999), et *ii*) le modèle qu'elle représente avec une transmission non génétique de certains comportements par observation ou imitation (cf. encadré 3 et Formanek *et al.*, 2008 ; Aigueperse *et al.*, 2018).

#### d. Stress

Le concept de stress décrit une réponse biologique de l'organisme lui permettant de s'adapter rapidement à une situation de déséquilibre et de rétablir son équilibre interne *via* des modifications physiologiques, neurobiologiques et comportementales. Malgré cette fonction adaptative, une

activation prolongée de la réponse au stress peut avoir des effets délétères sur l'organisme (Abbott *et al.*, 2003). Le stress est connu pour être un puissant modulateur des processus d'apprentissage et de mémoire (Silberman *et al.*, 2016). Ainsi, des jeunes nés de mères stressées présentent des difficultés d'apprentissage spatial (Lindqvist *et al.*, 2007 ; Coulon *et al.*, 2015), avec toutefois une modulation par le génotype de la mère. Également, le stress prénatal pourrait prédisposer les individus à développer des phénotypes anxieux ou dépressifs (Weinstock, 2001), indiquant des effets aussi sur le développement des comportements socioémotionnels (Veenema, 2009). Néanmoins, le stress dans le jeune âge ne doit pas être vu uniquement comme un facteur défavorable. Il peut améliorer la résilience plutôt que la vulnérabilité de l'animal, notamment dans une situation stressante ultérieure (Langenhof et Komdeur, 2018). Par exemple, des poulets soumis à un stress d'isolement pendant les trois premières semaines après l'éclosion ont montré de meilleures performances d'apprentissage que leurs congénères non soumis à ce stress, suggérant une meilleure capacité d'adaptation dans une situation stressante (Goerlich *et al.*, 2012).

## 4. Coûts et bénéfices de l'élaboration précoce des phénotypes

### ■ 4.1. Valeur adaptative

Dans les parties précédentes, divers exemples ont montré comment l'expérience précoce peut orienter les phénotypes et les capacités d'adaptation des animaux. Les recherches sur ces effets ont notamment mené à l'utilisation du terme « programmation » avec la notion sous-jacente que cette programmation prépare le jeune individu aux challenges qu'il pourra rencontrer ultérieurement, et donc qu'elle possède une certaine valeur adaptative.

Dans la bibliographie sur le stress, certains auteurs ont discuté ce point en posant la question de savoir si les effets des stress précoces sur les phénotypes ultérieurs seraient de simples

conséquences « pathologiques » (*i.e.* un effet secondaire, délétère, d'un stress maternel) ou s'ils auraient une valeur adaptative. Ces auteurs privilégient la deuxième option car les bénéfices sont souvent supérieurs aux coûts (Groothuis *et al.*, 2005 ; Sachser *et al.*, 2011). Également, la généralité de l'influence de l'expérience précoce au sein de plusieurs taxa est un argument en faveur d'une sélection des mécanismes impliqués et donc d'une valeur adaptative. Il est probable néanmoins que les deux mécanismes existent, avec des relations de cause à effet qui peuvent avoir ou pas une valeur adaptative, avoir une valeur adaptative sur le court terme sans forcément en avoir une sur le long terme, ou dans un environnement mais pas dans d'autres (par exemple un stress précoce qui induit une vigilance et une hyperactivité chez le jeune lui conférant un avantage dans un environnement où sa survie est menacée, mais un désavantage lorsqu'elle ne l'est pas). De manière similaire, les changements épigénétiques induits par l'environnement peuvent être perçus comme une faculté d'adaptation à court terme : ils permettent une plasticité phénotypique de l'individu directement soumis au stress et potentiellement de ses descendants sans nécessité de modifier la séquence d'ADN. En ce sens, ils induisent une réponse aux variations de l'environnement plus souple et plus rapide que celle permise par le génome seul (Kelly *et al.*, 2012).

Le challenge est alors d'appréhender les événements et expériences précoces qui pourront conférer un avantage adaptatif ou un désavantage, selon le type d'animal et le(s) type(s) d'environnement au(x)quel(s) il sera confronté tout au long de sa carrière de production. C'est cette connaissance, qui n'est encore que fragmentaire, qui permettra d'aller vers des recommandations en termes de pratiques.

### ■ 4.2. Programmation, plasticité et réversibilité

Si l'on considère que l'expérience précoce peut « préparer » ou « programmer » le jeune animal à l'environnement qu'il rencontrera plus tard, plusieurs éléments doivent être considérés.

Un premier élément concerne la sensibilité aux stimuli environnementaux dans le jeune âge. On peut comprendre qu'une trop grande sensibilité à l'environnement précoce puisse mener à une inadaptation ; pour que l'environnement précoce module les phénotypes de façon adaptative, la fenêtre de temps et la gamme de stimuli devront être, respectivement, la plus longue et la plus variée possible. Néanmoins, pour des espèces à durée de vie longue, il reste peu probable que les stimuli environnementaux précoces soient des prédicteurs adéquats de l'environnement futur (Burton et Metcalfe, 2014). Certains auteurs ont alors proposé que les effets de l'environnement précoce ne seraient pas basés sur une prédiction de l'environnement futur, mais plutôt de l'état somatique futur de l'individu (Nettle *et al.*, 2013), lui conférant une capacité à faire face à d'autres environnements.

La plasticité phénotypique peut être définie comme la diversité des phénotypes observables à partir d'un même génotype, permise par la flexibilité des processus de développement *via* une sensibilité à l'environnement (notamment précoce ; voir Langenhof et Komdeur (2018) pour revue). Si à l'échelle d'une population cette plasticité crée de la variabilité et donc un potentiel adaptatif, à l'échelle de l'individu, l'orientation de son phénotype peut réduire son adaptabilité à d'autres environnements et d'autres challenges (par exemple Sachser *et al.*, 2011). D'un autre côté, l'environnement prénatal peut à travers l'expérience de la mère, signaler les conditions de vie future du jeune et donc mener à un développement plus adaptatif de certains traits ou comportements (Henriksen *et al.*, 2011), d'où en élevage, l'intérêt d'être vigilant lors des périodes de gestation. L'adaptabilité peut être améliorée si la gamme de stimuli rencontrés précocement est grande : les enrichissements (de différents types, par exemple habitat, alimentation) dans le jeune âge ont montré des effets positifs sur la plasticité de l'individu et sa capacité à gérer de nouveaux challenges (Salvanes *et al.*, 2007).

Ceci est particulièrement intéressant en élevage, où les milieux de vie sont appauvris voire très appauvris dans un certain nombre de cas. Comme décrit précédemment, l'environnement précoce peut également être modulé *via* l'environnement des parents pour améliorer l'adaptation des descendants *via* des phénomènes épigénétiques (acclimatation, modification du régime alimentaire...).

Enfin, deux autres éléments doivent être considérés dans la réflexion sur les relations entre programmation et plasticité : ce sont la durabilité des effets et leur réversibilité. Si l'on considère une orientation délibérée des phénotypes par l'environnement précoce en élevage, il faut que les effets soient durables, dans la limite de la durée de vie de l'animal en production ou de la période spécifique à laquelle on souhaite certains effets. Les effets d'une expérience précoce peuvent perdurer, depuis quelques jours, à plusieurs mois, plusieurs années, voire à la génération suivante (Burton et Metcalfe, 2014). En termes d'adaptation, la réversibilité est également très importante car les individus peuvent se trouver dans des environnements auxquels ils n'ont pas été préparés. Quelques études montrent qu'une telle réversibilité, ou du moins une atténuation des effets, est possible. Ainsi, chez des agneaux stressés chroniquement, un enrichissement du milieu *a posteriori* permet d'améliorer le biais cognitif négatif lié aux stress précoces, en induisant un jugement plus « optimiste » lors de situations ambiguës (Destrez *et al.*, 2014).

Chez le rat, il a également été montré que les soins maternels jouent sur le transcriptome hippocampique du jeune et sur le développement de comportements liés au stress, mais qu'une partie de ces différences d'expression de gènes peut être réversible, ce qui s'exprime lors de tests comportementaux (Weaver *et al.*, 2006).

## Conclusion

Les divers exemples présentés dans cette revue montrent que les expé-

riences précoces sont nombreuses et peuvent affecter une grande variété de mécanismes impliqués dans la construction de l'individu, et ce dans un temps relativement court. Ces éléments nous questionnent sur les conséquences des pratiques d'élevage, où, en partie par ignorance ou sous-estimation de leur importance dans le développement des individus, des étapes potentiellement essentielles sont altérées ou supprimées (absence du modèle maternel, isolement...). D'un autre côté, l'existence de ces influences précoces nous offre une opportunité d'agir pour tenter de développer les capacités d'adaptation des animaux, et nous questionne donc sur les bénéfices qu'il pourrait y avoir à (re)considérer ces étapes importantes dans les pratiques.

Plus précisément, compte tenu notamment de l'évolution actuelle du climat, une meilleure compréhension des mécanismes épigénétiques gouvernant la réponse de l'embryon aux températures élevées et aux modifications de l'alimentation parentale pourrait ouvrir de nouvelles voies pour améliorer l'adaptation des animaux à ces nouvelles contraintes. Un deuxième levier d'amélioration des performances *via* l'environnement précoce pourrait passer par une caractérisation des relations entre microbiote et génome de l'hôte, donnant des pistes d'action pour en optimiser les effets. Enfin, l'enrichissement du milieu, *i.e.* l'apport de stimuli environnementaux permettant d'améliorer le fonctionnement biologique d'un animal (Newberry, 1995), est un moyen d'augmenter les expériences (environnementales, sociales, alimentaires...) de l'animal et pourrait développer ses capacités d'apprentissage et limiter sa sensibilité physiologique, immunitaire ou comportementale.

Un apport de connaissances complémentaires est toutefois nécessaire pour mieux appréhender les conséquences de pratiques appliquées dans le jeune âge, à la fois à court et long terme, afin d'optimiser le rapport entre les coûts potentiels (de mise en œuvre notamment) et les bénéfices pour l'éleveur et l'animal.

## Références

- Abbott D.H., Keverne E.B., Bercovitch F.B., Shively C.A., Mendoza S.P., Saltzman W., Snowdon C.T., Ziegler T.E., Banjevic M., Garland T., Sapolsky R.M., 2003. Are subordinates always stressed? A comparative analysis of rank differences in cortisol levels among primates. *Horm. Behav.*, 43, 67-82.
- Aigueperse N., Calandreau L., Bertin A., 2013. Maternal diet influences offspring feeding behavior and fearfulness in the precocial chicken. *PLoS One*, 8, e77583.
- Aigueperse N., Pittet F., Nicolle C., Houdelier C., Lumineau S., 2018. Maternal care affects chicks' development differently according to sex in quail. *Dev. Psychobiol.*, 1-9.
- Altbäcker V., Hudson R., Bilkó Á., 1995. Rabbit-mothers' Diet Influences Pups' Later Food Choice. *Ethology*, 99, 107-116.
- Arias-Alvarez M., Garcia-Garcia R.M., Lorenzo P.L., Gutierrez-Adan A., Sakr O.G., Gonzalez-Bulnes A., Rebollar P.G., 2013a. Embryo gene expression in response to maternal supplementation with glyco-genic precursors in the rabbit. *Anim. Reprod. Sci.*, 142, 173-182.
- Arias-Alvarez M., Garcia-Garcia R.M., Rebollar P.G., Gutierrez-Adan A., Lopez-Bejar M., Lorenzo P.L., 2013b. Ovarian response and embryo gene expression patterns after nonsuperoovulatory gonadotropin stimulation in primiparous rabbits does. *Theriogenology*, 79, 323-330.
- Arrieta M.C., Stiemsma L.T., Amenyogbe N., Brown E.M., Finlay B., 2014. The intestinal microbiome in early life: health and disease. *Front. Immunol.*, 5, 427.
- Ballou A.L., Ali R.A., Mendoza M.A., Ellis J.C., Hassan H.M., Croom W.J., Koci M.D., 2016. Development of the Chick Microbiome: How Early Exposure Influences Future Microbial Diversity. *Front. Vet. Sci.*, 3, 2.
- Bertin A., Richard-Yris M.A., 2005. Mothering during early development influences subsequent emotional and social behaviour in Japanese quail. *J. Exp. Zool. A Comp. Exp. Biol.*, 303, 792-801.
- Biquand S., Biquand-Guyot V., 1992. The influence of peers, lineage and environment on food selection of the criollo goat (*Capra hircus*). *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 34, 231-245.
- Brun J.M., Bernadet M.D., Cornuez A., Leroux S., Bodin L., Basso B., Davail S., Jaglin M., Lessire M., Martin X., Sellier N., Morisson M., Pitel F., 2015. Influence of grand-mother diet on offspring performances through the male line in Muscovy duck. *BMC Genet.*, 16, 145.
- Brunton P.J., 2013. Effects of maternal exposure to social stress during pregnancy: consequences for mother and offspring. *Reproduction*, 146, R175-189.
- Brunton P.J., Russell J.A., 2010. Prenatal social stress in the rat programmes neuroendocrine and behavioural responses to stress in the adult offspring: sex-specific effects. *J. Neuroendocrinol.*, 22, 258-271.
- Burton T., Metcalfe N.B., 2014. Can environmental conditions experienced in early life influence future generations? *Proc. Biol. Sci.*, 281, 20140311.
- Calenge F., Martin C., Le Floc'h N., Phocas F., Morgavi D., Rogel-Gaillard C., Quéré P., 2014. Intégrer la caractérisation du microbiote digestif dans le phénotypage de l'animal de rente : vers un nouvel outil de maîtrise de la santé en élevage ? *INRA Prod. Anim.*, 27, 209-222.
- Calini F., Sirri F., 2007. Breeder Nutrition and Offspring Performance. *Braz. J. Poultry Sci.*, 9, 77 - 83.
- Campan R., Scapini F., 2002. Ethologie, approche systémique du comportement. De Boeck Université, Bruxelles, 742p.
- Cardoso J.R., Bao S.N., 2009. Morphology of reproductive organs, semen quality and sexual behaviour of the male rabbit exposed to a soy-containing diet and soy-derived isoflavones during gestation and lactation. *Reprod. Domest. Anim.*, 44, 937-942.
- Catanese F., Distel R.A., Provenza F.D., Villalba J.J., 2012. Early experience with diverse foods increases intake of nonfamiliar flavors and feeds in sheep. *J. Anim. Sci.*, 90, 2763-2773.
- Coelho L.P., Kultima J.R., Costea P.I., Fournier C., Pan Y., Czarnecki-Maulden G., Hayward M.R., Forslund S.K., Schmidt T.S.B., Descombes P., Jackson J.R., Li Q., Bork P., 2018. Similarity of the dog and human gut microbiomes in gene content and response to diet. *Microbiome*, 6, 72.
- Coulon M., Nowak R., Andanson S., Petit B., Levy F., Boissy A., 2015. Effects of prenatal stress and emotional reactivity of the mother on emotional and cognitive abilities in lambs. *Dev. Psychobiol.*, 57, 626-636.
- Darmaillacq A.S., Lévy F., 2015. Éthologie animale : Une approche biologique du comportement. De Boeck Supérieur, 247p.
- Destrez A., Deiss V., Leterrier C., Calandreau L., Boissy A., 2014. Repeated exposure to positive events induces optimistic-like judgment and enhances fearfulness in chronically stressed sheep. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 154, 30-38.
- Dimitsantos E., Escorihuela R.M., Fuentes S., Armario A., Nadal R., 2007. Litter size affects emotionality in adult male rats. *Physiol. Behav.*, 92, 708-716.
- Dumont B., Gonzalez-Garcia E., Thomas M., Fortun-Lamothe L., Ducrot C., Dourmad J.Y., Tichit M., 2014. Forty research issues for the redesign of animal production systems in the 21<sup>st</sup> century. *Animal*, 8, 1382-1393.
- Dupont C., Ralliard-Rousseau D., Tarrade A., Faure C., Dahirel M., Sion B., Brugnon F., Levy R., Chavatte-Palmer P., 2014. Impact of maternal hyperlipidic hypercholesterolaemic diet on male reproductive organs and testosterone concentration in rabbits. *J. Dev. Orig. Health Dis.*, 5, 183-188.
- Duranthon V., Chavatte-Palmer P., 2018. Long term effects of ART: What do animals tell us? *Mol. Reprod. Dev.*, 85, 348-368.
- Esteves P.J., Abrantes J., Baldauf H.M., BenMohamed L., Chen Y., Christensen N., Gonzalez-Gallego J., Giacani L., Hu J., Kaplan G., Keppler O.T., Knight K.L., Kong X.P., Lanning D.K., Le Pendu J., de Matos A.L., Liu J., Liu S., Lopes A.M., Lu S., Lukehart S., Manabe Y.C., Neves F., McFadden G., Pan R., Peng X., de Sousa-Pereira P., Pinheiro A., Rahman M., Ruvoen-Clouet N., Subbian S., Tunon M.J., van der Loo W., Vaine M., Via L.E., Wang S., Mage R., 2018. The wide utility of rabbits as models of human diseases. *Exp. Mol. Med.*, 50, 66.
- Everaert N., Metayer-Coustard S., Willemsen H., Han H., Song Z., Ansari Z., Decuyper E., Buyse J., Tesseraud S., 2013. The effect of albumen removal before incubation (embryonic protein under-nutrition) on the post-hatch performance, regulators of protein translation activation and proteolysis in neonatal broilers. *Br. J. Nutr.*, 110, 265-274.
- Everaert N., Van Cruchten S., Weström B., Bailey M., Van Ginneken C., Thymann T., Pieper R., 2017. A review on early gut maturation and colonization in pigs, including biological and dietary factors affecting gut homeostasis. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 233, 89-103.
- Fischer B., Chavatte-Palmer P., Viebahn C., Navarrete Santos A., Duranthon V., 2012. Rabbit as a reproductive model for human health. *Reproduction*, 144, 1-10.
- Formanek L., Houdelier C., Lumineau S., Bertin A., Richard-Yris M., 2008. Maternal Epigenetic Transmission of Social Motivation in Birds. *Ethology*, 114, 817-826.
- Fortun-Lamothe L., 2006. Energy balance and reproductive performance in rabbit does. *Anim. Reprod. Sci.*, 93, 1-15.
- Francis D., Diorio J., Liu D., Meaney M.J., 1999. Nongenomic transmission across generations of maternal behavior and stress responses in the rat. *Science*, 286, 1155-1158.
- Gaioni S.J., 1982. Distress call alternation in peking ducklings (*Anas platyrhynchos*). *Anim. Behav.*, 30, 774-789.
- Galef B.G., Giraldeau L.A., 2001. Social influences on foraging in vertebrates: causal mechanisms and adaptive functions. *Anim. Behav.*, 61, 3-15.
- Gilbert J.A., Blaser M.J., Caporaso J.G., Jansson J.K., Lynch S.V., Knight R., 2018. Current understanding of the human microbiome. *Nat. Med.*, 24, 392-400.
- Ginane C., Dumont B., 2011. Do sheep (*Ovis aries*) categorize plant species according to botanical family? *Anim. Cogn.*, 14, 369-376.
- Ginane C., Duncan A.J., Young S.A., Elston D.A., Gordon I.J., 2005. Herbivore diet selection in response to simulated variation in nutrient rewards and plant secondary compounds. *Anim. Behav.*, 69, 541-550.

- Glasser T.A., Ungar E.D., Landau S.Y., Perevolotsky A., Muklada H., Walker J.W., 2009. Breed and maternal effects on the intake of tannin-rich browse by juvenile domestic goats (*Capra hircus*). *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 119, 71-77.
- Goerlich V.C., Natt D., Elfving M., Macdonald B., Jensen P., 2012. Transgenerational effects of early experience on behavioral, hormonal and gene expression responses to acute stress in the precocial chicken. *Horm. Behav.*, 61, 711-718.
- Gottlieb G., 1991. Experiential canalization of behavioral developments: results. *Dev. Psychol.*, 27, 35-39.
- Groothuis T.G., Muller W., von Engelhardt N., Carere C., Eising C., 2005. Maternal hormones as a tool to adjust offspring phenotype in avian species. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 29, 329-352.
- Guerrero-Bosagna C., Morisson M., Liaubet L., Rodenburg T.B., de Haas E.N., Kostal L., Pitel F., 2018. Transgenerational epigenetic inheritance in birds. *Environ. Epigenet.*, 4, dvy008.
- Guibert F., Richard-Yris M.A., Lumineau S., Kotschal K., Guemene D., Bertin A., Mostl E., Houdelier C., 2010. Social instability in laying quail: consequences on yolk steroids and offspring's phenotype. *PLoS One*, 5, e14069.
- Henriksen R., Rettenbacher S., Groothuis T.G., 2011. Prenatal stress in birds: pathways, effects, function and perspectives. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 35, 1484-1501.
- Hess M., Szczyrba A., Egan R., Kim T.W., Chokhawala H., Schroth G., Luo S., Clark D.S., Chen F., Zhang T., Mackie R.I., Pennacchio L.A., Tringe S.G., Visel A., Woyke T., Wang Z., Rubin E.M., 2011. Metagenomic discovery of biomass-degrading genes and genomes from cow rumen. *Science*, 331, 463-467.
- Houdelier C., Lumineau S., Bertin A., Guibert F., De Margerie E., Augery M., Richard-Yris M.A., 2011. Development of fearfulness in birds: genetic factors modulate non-genetic maternal influences. *PLoS One*, 6, e14604.
- Hue-Beauvais C., Chavatte-Palmer P., Aujean E., Dahirel M., Laigre P., Pechoux C., Bouet S., Devinoy E., Charlier M., 2011. An obesogenic diet started before puberty leads to abnormal mammary gland development during pregnancy in the rabbit. *Dev. Dyn.*, 240, 347-356.
- Hue-Beauvais C., Koch E., Chavatte-Palmer P., Galio L., Chat S., Letheule M., Rousseau-Ralliard D., Jaffrezic F., Laloe D., Aujean E., Revillon F., Lhotellier V., Gertler A., Devinoy E., Charlier M., 2015. Milk from dams fed an obesogenic diet combined with a high-fat/high-sugar diet induces long-term abnormal mammary gland development in the rabbit. *J. Anim. Sci.*, 93, 1641-1655.
- Hue-Beauvais C., Miranda G., Aujean E., Jaffrezic F., Devinoy E., Martin P., Charlier M., 2017. Diet-induced modifications to milk composition have long-term effects on offspring growth in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 95, 761-770.
- Jarvis S., Moinard C., Robson S.K., Baxter E., Ormandy E., Douglas A.J., Seckl J.R., Russell J.A., Lawrence A.B., 2006. Programming the offspring of the pig by prenatal social stress: neuroendocrine activity and behaviour. *Horm. Behav.*, 49, 68-80.
- Jones R.B., Harvey S., 1987. Behavioural and adrenocortical responses of domestic chicks to systematic reductions in group size and to sequential disturbance of companions by the experimenter. *Behav. Proc.*, 14, 291-303.
- Juhnke J., Miller J., Hall J.O., Provenza F.D., Villalba J.J., 2012. Preference for condensed tannins by sheep in response to challenge infection with *Haemonchus contortus*. *Vet. Parasitol.*, 188, 104-114.
- Kadam M.M., Barekatin M.R., Bhanja S.K., Iji P.A., 2013. Prospects of in ovo feeding and nutrient supplementation for poultry: the science and commercial applications—a review. *J. Sci. Food Agric.*, 93, 3654-3661.
- Kappeler P.M., Barrett L., Blumstein D.T., Clutton-Brock T.H., 2013. Constraints and flexibility in mammalian social behaviour: introduction and synthesis. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 368, 20120337.
- Kelly S.A., Panhuis T.M., Stoehr A.M., 2012. Phenotypic plasticity: molecular mechanisms and adaptive significance. *Comp. Physiol.*, 2, 1417-1439.
- Kisliouk T., Cramer T., Meiri N., 2014. Heat stress attenuates new cell generation in the hypothalamus: a role for miR-138. *Neuroscience*, 277, 624-636.
- Kraimi N., Calandreau L., Biesse M., Rabot S., Guitton E., Velge P., Leterrier C., 2018. Absence of Gut Microbiota Reduces Emotional Reactivity in Japanese Quails (*Coturnix japonica*). *Front. Physiol.*, 9, 603.
- Langendijk P., Bolhuis J.E., Laurensen B.F.A., 2007. Effects of pre- and postnatal exposure to garlic and aniseed flavour on pre- and postweaning feed intake in pigs. *Livest. Sci.*, 108, 284-287.
- Langenhof M.R., Komdeur J., 2018. Why and how the early-life environment affects development of coping behaviours. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 72, 34.
- Lavara R., Baselga M., Marco-Jimenez F., Vicente J.S., 2014. Long-term and transgenerational effects of cryopreservation on rabbit embryos. *Theriogenology*, 81, 988-992.
- Leroux S., Gourichon D., Leterrier C., Labruno Y., Coustham V., Riviere S., Zerjal T., Coville J.L., Morisson M., Minvielle F., Pitel F., 2017. Embryonic environment and transgenerational effects in quail. *Genet. Sel. Evol.*, 49, 14.
- Lesuisse J., Li C., Schallier S., Climaco W.L.S., Bautil A., Everaert N., Buyse J., 2018. Multigenerational effects of a reduced balanced protein diet during the rearing and laying period of broiler breeders. 1. Performance of the F1 breeder generation. *Poult. Sci.*, 97, 1651-1665.
- Leveille P., Tarrade A., Dupont C., Larcher T., Dahirel M., Pomerol E., Cordier A.G., Picone O., Mandon-Pepin B., Jolivet G., Levy R., Chavatte-Palmer P., 2014. Maternal high-fat diet induces follicular atresia but does not affect fertility in adult rabbit offspring. *J. Dev. Orig. Health Dis.*, 5, 88-97.
- Li J., Zhong H., Ramayo-Caldas Y., Terrapon N., Lombard V., Potocki-Veronese G., Estellé J., Popova M., Yang Z., Zhang H., Li F., Tang S., Chen W., Chen B., Li J., Guo J., Martin C., Maguin E., Xu X., Yang H., Wang J., Madsen L., Kristiansen K., Henrissat B., Ehrlich S.D., Morgavi D.P., 2018. A catalog of microbial genes from the bovine rumen reveals the determinants of herbivory. *BioRxiv*. DOI: <https://doi.org/10.1101/272690>
- Lickliter R., 2007. The dynamics of development and evolution: insights from behavioral embryology. *Dev. Psychobiol.*, 49, 749-757.
- Lickliter R., Lewkowicz D.J., 1995. Intersensory experience and early perceptual development: attenuated prenatal sensory stimulation affects postnatal auditory and visual responsiveness in bobwhite quail chicks (*Colinus virginianus*). *Dev. Psychol.*, 31, 609-618.
- Lindqvist C., Janczak A.M., Natt D., Baranowska I., Lindqvist N., Wichman A., Lundeberg J., Lindberg J., Torjesen P.A., Jensen P., 2007. Transmission of stress-induced learning impairment and associated brain gene expression from parents to offspring in chickens. *PLoS One*, 2, e364.
- Lopez-Tello J., Arias-Alvarez M., Jimenez-Martinez M.A., Garcia-Garcia R.M., Rodriguez M., Lorenzo Gonzalez P.L., Bermejo-Poza R., Gonzalez-Bulnes A., Garcia Rebollar P., 2017. Competition for Materno-Fetal Resource Partitioning in a Rabbit Model of Undernourished Pregnancy. *PLoS One*, 12, e0169194.
- Lorenzo P.L., Garcia-Garcia R.M., Arias-Alvarez M., Rebollar P.G., 2014. Reproductive and nutritional management on ovarian response and embryo quality on rabbit does. *Reprod. Domest. Anim.*, 49, 49-55.
- Loyau T., Berri C., Bedrani L., Metayer-Coustard S., Praud C., Duclos M.J., Tesseraud S., Rideau N., Everaert N., Yahav S., Mignon-Grasteau S., Collin A., 2013. Thermal manipulation of the embryo modifies the physiology and body composition of broiler chickens reared in floor pens without affecting breast meat processing quality. *J. Anim. Sci.*, 91, 3674-3685.
- Loyau T., Bedrani L., Berri C., Metayer-Coustard S., Praud C., Coustham V., Mignon-Grasteau S., Duclos M.J., Tesseraud S., Rideau N., Hennequet-Antier C., Everaert N., Yahav S., Collin A., 2015. Cyclic variations in incubation conditions induce adaptive responses to later heat exposure in chickens: a review. *Animal*, 9, 76-85.
- Loyau T., Hennequet-Antier C., Coustham V., Berri C., Leduc M., Crochet S., Sannier M., Duclos M.J., Mignon-Grasteau S., Tesseraud S., Brionne A., Metayer-Coustard S., Moroldo M., Lecardonnell J., Martin P., Lagarrigue S., Yahav S., Collin A., 2016. Thermal manipulation of the chicken embryo triggers differential gene expression in response to a later heat challenge. *BMC Genomics*, 17, 329.

- Mach N., Berri M., Estelle J., Levenez F., Lemonnier G., Denis C., Leplat J.J., Chevaleyre C., Billon Y., Dore J., Rogel-Gaillard C., Lepage P., 2015. Early-life establishment of the swine gut microbiome and impact on host phenotypes. *Environ. Microbiol. Rep.*, 7, 554-569.
- Manal A.F., Tony M.A., Ezzo O.H., 2010. Feed restriction of pregnant nulliparous rabbit does: consequences on reproductive performance and maternal behaviour. *Anim. Reprod. Sci.*, 120, 179-186.
- Menchetti L., Brecchia G., Canali C., Cardinali R., Polisca A., Zerani M., Boiti C., 2015. Food restriction during pregnancy in rabbits: effects on hormones and metabolites involved in energy homeostasis and metabolic programming. *Res. Vet. Sci.*, 98, 7-12.
- Moran E.T., 2007. Nutrition of the developing embryo and hatchling. *Poult. Sci.*, 86, 1043-1049.
- Morisson M., Coustham V., Frésard L., Collin A., Zerjal T., Métayer-Coustard S., Bodin L., Minvielle F., Brun J.-M., Pitel F., 2017. Nutritional Programming and Effect of Ancestor Diet in Birds. In: *Handbook of Nutrition, Diet, and Epigenetics*. Patel V., Preedy V. (Eds). Springer International Publishing, Cham, 1-18.
- Mwangi W.N., Beal R.K., Powers C., Wu X., Humphrey T., Watson M., Bailey M., Friedman A., Smith A.L., 2010. Regional and global changes in TCR [alpha] [beta] T cell repertoires in the gut are dependent upon the complexity of the enteric microflora. *Dev. Comp. Immunol.*, 34, 406-417.
- Nettle D., Frankenhuis W.E., Rickard I.J., 2013. The evolution of predictive adaptive responses in human life history. *Proc. Biol. Sci.*, 280, 20131343.
- Newberry R.C., 1995. Environmental enrichment: Increasing the biological relevance of captive environments. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 44, 229-243.
- Nurmi E., Rantala M., 1973. New aspects of Salmonella infection in broiler production. *Nature*, 241, 210-211.
- Pan H., Guo R., Zhu J., Wang Q., Ju Y., Xie Y., Zheng Y., Wang Z., Li T., Liu Z., Lu L., Li F., Tong B., Xiao L., Xu X., Li R., Yuan Z., Yang H., Wang J., Kristiansen K., Jia H., Liu L., 2018. A gene catalogue of the Sprague-Dawley rat gut metagenome. *Gigascience*, 7.
- Pearce J.M., 2013. *Animal Learning and Cognition*, 3rd Edition: An Introduction. In: Psychology Press.
- Picone O., Laigre P., Fortun-Lamothe L., Archilla C., Peynot N., Ponter A.A., Berthelot V., Cordier A.G., Duranthon V., Chavatte-Palmer P., 2011. Hyperlipidic hypercholesterolemic diet in prepubertal rabbits affects gene expression in the embryo, restricts fetal growth and increases offspring susceptibility to obesity. *Theriogenology*, 75, 287-299.
- Piestun Y., Shinder D., Ruzal M., Halevy O., Brake J., Yahav S., 2008. Thermal manipulations during broiler embryogenesis: effect on the acquisition of thermo-tolerance. *Poult. Sci.*, 87, 1516-1525.
- Piestun Y., Druyan S., Brake J., Yahav S., 2013. Thermal manipulations during broiler incubation alter performance of broilers to 70 days of age. *Poult. Sci.*, 92, 1155-1163.
- Provenza F., 1995. Postingestive Feedback as an Elementary Determinant of Food Preference and Intake in Ruminants. *J. Range Manage.*, 48, 2-17.
- Provenza F.D., Villalba J.J., 2006. Foraging in domestic herbivores: linking the internal and external milieu. In: *Feeding in domestic vertebrates: from structure to behaviour*. Bells V. (Ed.), CABI Publishing, 210-240.
- Qin J., Li R., Raes J., Arumugam M., Burgdorf K.S., Manichanh C., Nielsen T., Pons N., Levenez F., Yamada T., Mende D.R., Li J., Xu J., Li S., Li D., Cao J., Wang B., Liang H., Zheng H., Xie Y., Tap J., Lepage P., Bertalan M., Batto J.M., Hansen T., Le Paslier D., Linneberg A., Nielsen H.B., Pelletier E., Renault P., Sicheritz-Ponten T., Turner K., Zhu H., Yu C., Li S., Jian M., Zhou Y., Li Y., Zhang X., Li S., Qin N., Yang H., Wang J., Brunak S., Dore J., Guarner F., Kristiansen K., Pedersen O., Parkhill J., Weissenbach J., Bork P., Ehrlich S.D., Wang J., 2010. A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature*, 464, 59-65.
- Ramayo-Caldas Y., Mach N., Lepage P., Levenez F., Denis C., Lemonnier G., Leplat J.J., Billon Y., Berri M., Dore J., Rogel-Gaillard C., Estelle J., 2016. Phylogenetic network analysis applied to pig gut microbiota identifies an ecosystem structure linked with growth traits. *ISME J.*, 10, 2973-2977.
- Reis e Silva A.R., Bruno C., Fleuret R., Daniel N., Archilla C., Peynot N., Lucci C.M., Beaujean N., Duranthon V., 2012. Alteration of DNA demethylation dynamics by in vitro culture conditions in rabbit pre-implantation embryos. *Epigenetics*, 7, 440-446.
- Rodriguez M., Garcia-Garcia R.M., Arias-Alvarez M., Millan P., Febrel N., Formoso-Rafferty N., Lopez-Tello J., Lorenzo P.L., Rebollar P.G., 2018. Improvements in the conception rate, milk composition and embryo quality of rabbit does after dietary enrichment with n-3 polyunsaturated fatty acids. *Animal*, 1-9.
- Roto S.M., Kwon Y.M., Ricke S.C., 2016. Applications of In Ovo Technique for the Optimal Development of the Gastrointestinal Tract and the Potential Influence on the Establishment of Its Microbiome in Poultry. *Front. Vet. Sci.*, 3, 63.
- Rousseau-Ralliard D., Couturier-Tarrade A., Thieme R., Brat R., Rolland A., Boileau P., Aubrière M.C., Daniel N., Dahirel M., Derisoud E., Fournier N., Schindler M., Duranthon V., Fischer B., Santos AN., Chavatte-Palmer P., 2018. A short periconceptual exposure to maternal type-1 diabetes is sufficient to disrupt the feto-placental phenotype in a rabbit model. *Mol Cell Endocrinol.* (early version: doi: <https://doi.org/10.1016/j.mce.2018.10.010>).
- Sachser N., Hennessy M.B., Kaiser S., 2011. Adaptive modulation of behavioural profiles by social stress during early phases of life and adolescence. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 35, 1518-1533.
- Saenz-de-Juano M.D., Marco-Jimenez F., Schmaltz-Panneau B., Jimenez-Trigos E., Viudes-de-Castro M.P., Penaranda D.S., Jouneau L., Lecardonnel J., Lavara R., Naturil-Alfonso C., Duranthon V., Vicente J.S., 2014a. Vitrification alters rabbit foetal placenta at transcriptomic and proteomic level. *Reproduction*, 147, 789-801.
- Saenz-de-Juano M.D., Penaranda D.S., Marco-Jimenez F., Vicente J.S., 2014b. Does vitrification alter the methylation pattern of OCT4 promoter in rabbit late blastocyst? *Cryobiology*, 69, 178-180.
- Salvanes A.G.V., Moberg O., Braithwaite V.A., 2007. Effects of early experience on group behaviour in fish. *Anim. Behav.*, 74, 805-811.
- Salvanes A.G., Moberg O., Ebbesson L.O., Nilsen T.O., Jensen K.H., Braithwaite V.A., 2013. Environmental enrichment promotes neural plasticity and cognitive ability in fish. *Proc. R. Soc. B.*, 280, 20131331.
- Shimmura T., Kamimura E., Azuma T., Kansaku N., Uetake K., Tanaka T., 2010. Effect of broody hens on behaviour of chicks. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 126, 125-133.
- Shinder D., Ruzal M., Giloh M., Druyan S., Piestun Y., Yahav S., 2011. Improvement of cold resistance and performance of broilers by acute cold exposure during late embryogenesis. *Poult. Sci.*, 90, 633-641.
- Silberman D.M., Acosta G.B., Zorrilla Zubilete M.A., 2016. Long-term effects of early life stress exposure: Role of epigenetic mechanisms. *Pharmacol. Res.*, 109, 64-73.
- Simitzis P.E., Deligeorgis S.G., Bizelis J.A., Fegeros K., 2008. Feeding preferences in lambs influenced by prenatal flavour exposure. *Physiol. Behav.*, 93, 529-536.
- Simitzis P.E., Symeon G.K., Kominakis A.P., Bizelis I.A., Chadio S.E., Abas Z., Deligeorgis S.G., 2015. Severe maternal undernutrition and post-weaning behavior of rabbits. *Physiol. Behav.*, 141, 172-179.
- Sinclair K.D., Rutherford K.M., Wallace J.M., Brameld J.M., Stoger R., Alberio R., Sweetman D., Gardner D.S., Perry V.E., Adam C.L., Ashworth C.J., Robinson J.E., Dwyer C.M., 2016. Epigenetics and developmental programming of welfare and production traits in farm animals. *Reprod. Fertil. Dev.*, 28, 1443-1478.
- Skinner M.K., 2011. Environmental epigenetic trans-generational inheritance and somatic epigenetic mitotic stability. *Epigenetics*, 6, 838-842.
- Sneddon H., Hadden R., Hepper P.G., 1998. Chemosensory learning in the chicken embryo. *Physiol. Behav.*, 64, 133-139.
- Spear L.P., 2000. The adolescent brain and age-related behavioral manifestations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 24, 417-463.
- Stewart R.D., Auffret M.D., Warr A., Wiser A.H., Press M.O., Langford K.W., Liachko I., Snelling T.J., Dewhurst R.J., Walker A.W., Roehe R., Watson M., 2018. Assembly of 913 microbial genomes from metagenomic sequencing of the cow rumen. *Nat. Commun.*, 9, 870.
- Tarrade A., Rousseau-Ralliard D., Aubrière M.C., Peynot N., Dahirel M., Bertrand-Michel J., Aguirre-Lavin T., Morel O., Beaujean N., Duranthon V., Chavatte-Palmer P., 2013. Sexual dimorphism of the feto-placental phenotype in response to a high fat and control maternal diets in a rabbit model. *PLoS One*, 8, e83458.

Tarrade A., Panchenko P., Junien C., Gabory A., 2015. Placental contribution to nutritional programming of health and diseases: epigenetics and sexual dimorphism. *J. Exp. Biol.*, 218, 50-58.

Theunissen P.T., Beken S., Beyer B., Breslin W.J., Cappon G.D., Chen C.L., Chmielewski G., de Schaepdrijver L., Enright B., Foreman J.E., Harrouk W., Hew K.W., Hoberman A.M., J.Y.H., Knudsen T.B., Laffan S.B., Makris S.L., Martin M., McNerney M.E., Siezen C.L., Stanislaus D.J., Stewart J., Thompson K.E., Tornesi B., Van der Laan J.W., Weinbauer G.F., Wood S., Piersma A.H., 2017. Comparing rat and rabbit embryo-fetal developmental toxicity data for 379 pharmaceuticals: on systemic dose and developmental effects. *Crit. Rev. Toxicol.*, 47, 402-414.

Valentino S.A., Tarrade A., Aioun J., Mourier E., Richard C., Dahirel M., Rousseau-Ralliard D., Fournier N., Aubriere M.C., Lallemand M.S., Camous S., Guinot M., Charlier M., Aujean E., Al Adhami H., Fokkens P.H., Agier L., Boere J.A., Cassee F.R., Slama R., Chavatte-Palmer P., 2016. Maternal exposure to diluted diesel engine exhaust alters placental function and induces intergenerational effects in rabbits. *Part. Fibre Toxicol.*, 13, 39.

Veenema A.H., 2009. Early life stress, the development of aggression and neuroendocrine and neurobiological

correlates: what can we learn from animal models? *Front. Neuroendocrinol.*, 30, 497-518.

Veissier I., Caré S., Pomiès D., 2013. Suckling, weaning, and the development of oral behaviours in dairy calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 147, 11-18.

Weaver I.C.G., Meaney M.J., Szyf M., 2006. Maternal care effects on the hippocampal transcriptome and anxiety-mediated behaviors in the offspring that are reversible in adulthood. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 103, 3480-3485.

Wei X.J., Ni Y.D., Lu L.Z., Grossmann R., Zhao R.Q., 2011. The effect of equol injection in ovo on posthatch growth, meat quality and antioxidation in broilers. *Animal*, 5, 320-327.

Weinstock M., 2001. Alterations induced by gestational stress in brain morphology and behaviour of the offspring. *Prog. Neurobiol.*, 65, 427-451.

Willems E., Koppenol A., De Ketelaere B., Wang Y., Franssens L., Buyse J., Decuypere E., Everaert N., 2015. Effects of nutritional programming on growth and metabolism caused by albumen removal in an avian model. *J. Endocrinol.*, 225, 89-100.

Xiao L., Feng Q., Liang S., Sonne S.B., Xia Z., Qiu X., Li X., Long H., Zhang J., Zhang D., Liu C., Fang Z., Chou J., Glanville J., Hao Q., Kotowska D., Colding C., Licht T.R., Wu D., Yu J., Sung J.J., Liang Q., Li J., Jia H., Lan Z., Tremaroli V., Dworkowski P., Nielsen H.B., Backhed F., Dore J., Le Chatelier E., Ehrlich S.D., Lin J.C., Arumugam M., Wang J., Madsen L., Kristiansen K., 2015. A catalog of the mouse gut metagenome. *Nat. Biotechnol.*, 33, 1103-1108.

Xiao L., Estelle J., Kiilerich P., Ramayo-Caldas Y., Xia Z., Feng Q., Liang S., Pedersen A.O., Kjeldsen N.J., Liu C., Maguin E., Dore J., Pons N., Le Chatelier E., Prifti E., Li J., Jia H., Liu X., Xu X., Ehrlich S.D., Madsen L., Kristiansen K., Rogel-Gaillard C., Wang J., 2016. A reference gene catalogue of the pig gut microbiome. *Nat. Microbiol.*, 16161.

Yahav S., McMurtry J.P., 2001. Thermotolerance acquisition in broiler chickens by temperature conditioning early in life--the effect of timing and ambient temperature. *Poult. Sci.*, 80, 1662-1666.

Yossifoff M., Kisliouk T., Meiri N., 2008. Dynamic changes in DNA methylation during thermal control establishment affect CREB binding to the brain-derived neurotrophic factor promoter. *Eur. J. Neurosci.*, 28, 2267-2277.

## Résumé

Les animaux d'élevage sont confrontés à de multiples contraintes environnementales auxquelles ils doivent s'adapter. De plus en plus d'études s'intéressent à l'impact de l'environnement précoce sur les phénotypes des animaux et leurs capacités à s'adapter aux différents challenges rencontrés ultérieurement. Dans cette revue, nous nous intéressons aux connaissances actuelles sur l'influence de l'environnement précoce sur la construction et la variabilité des phénotypes et de l'adaptation des animaux d'élevage à leur milieu, en prenant des exemples dans différentes espèces. Nous nous focalisons sur les rôles de trois contributeurs importants de la construction des phénotypes : les mécanismes épigénétiques, le microbiote et les processus comportementaux. Les mécanismes épigénétiques, qui modulent l'expression du génome sous l'effet de perturbations environnementales intervenues pendant le développement, peuvent induire une variété de phénotypes dont les caractéristiques peuvent perdurer jusqu'à l'âge adulte, voire se transmettre à la génération suivante. La constitution du microbiote digestif est elle aussi très dépendante de l'environnement précoce, et joue un rôle important dans l'expression des phénotypes, notamment dans le domaine de la santé. Enfin, l'expérience précoce influence considérablement le comportement de l'animal, en particulier ses capacités d'apprentissage, qui peuvent lui conférer une meilleure adaptation à des situations nouvelles ultérieures. Les études menées dans ces domaines permettent de définir de nouveaux leviers d'action pour tenter d'optimiser les capacités d'adaptation de nos animaux, notamment par les voies de l'alimentation des animaux jeunes ou de leurs parents voire de leurs grands-parents, de l'acclimatation pendant le développement, ou plus généralement par des modifications de l'environnement, en particulier de l'environnement social.

## Abstract

### **Role of the early environment in phenotypic variability and adaptation of animals to their environment**

*Farm animals face multiple environmental constraints to which they must adapt. More and more studies are investigating the impact of the early environment on animal phenotypes and their ability to adapt to the various challenges encountered later. Here we review current knowledge on the influence of the early environment on the construction and variability of phenotypes and adaptation of farm animals to their environment, taking examples from different species. We focus on the roles of three major contributors to the construction of phenotypes: epigenetic mechanisms, microbiota, and behavioural processes. Epigenetic mechanisms, which modulate genome expression under the influence of environmental disturbances during development, can induce a variety of phenotypes whose characteristics can persist into adulthood, or even be transmitted to the next generation. The constitution of the digestive microbiota is also highly dependent on the early environment, and plays an important role in the expression of phenotypes, especially in the field of animal health. Finally, early experiences greatly influence an animal's behaviour, especially its learning abilities, which can give it a better chance of adapting to new situations later on. The studies carried out in these fields make it possible to define new levers for action to try to optimise the adaptability of our animals, in particular through the feeding of young animals or their parents or even grandparents, acclimatisation during development, or more generally through changes in the environment, in particular the social environment.*

PITEL F., CALENGE F., AIGUEPERSE N., FABRELLAS J.E., COUSTHAM V., CALANDREAU L., MORISSON M., CHAVATTE-PALMER P., GINANE C., 2019. Rôle de l'environnement précoce dans la variabilité des phénotypes et l'adaptation des animaux d'élevage à leur milieu. In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 247-262.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2467>



# Gérer la diversité animale dans les systèmes d'élevage : laquelle, comment et pour quels bénéfices ?

Marie-Angéline MAGNE<sup>1</sup>, Marie-Odile NOZIÈRES-PETIT<sup>2</sup>, Sylvie COURNUT<sup>3</sup>, Émilie OLLION<sup>4</sup>, Laurence PUILLET<sup>5</sup>, David RENAUDEAU<sup>6</sup>, Laurence FORTUN-LAMOTHE<sup>7</sup>

<sup>1</sup>AGIR, Université de Toulouse, ENSFEA, INRA, INPT, INP- EI PURPAN, 31320, Castanet-Tolosan, France

<sup>2</sup>INRA, UMR SELMET, 2 place Viala, 34000, Montpellier, France

<sup>3</sup>Université Clermont Auvergne, AgroParisTech, Inra, Irstea, VetAgro Sup, UMR Territoires, F-63000, Clermont-Ferrand, France

<sup>4</sup>ISARA-Lyon, équipe AGE 23 Rue Jean Baldassini, 69007, Lyon, France

<sup>5</sup>UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France

<sup>6</sup>INRA, UMR PEGASE, Agrocampus Ouest, 35590, St Gilles, France

<sup>7</sup>GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, ENVT, 31320, Castanet-Tolosan, France

Courriel : marie-angelina.magne@inra.fr

■ La biodiversité, et en particulier, la diversité animale est présentée comme un levier prometteur pour adapter les systèmes d'élevage aux aléas et opérer leur transition agroécologique. Pourtant, la majorité des éleveurs, conseillers, enseignants et chercheurs ont des difficultés à l'envisager comme un atout dans la gestion des élevages. Nous proposons un cadre conceptuel et des pistes pour aider à analyser la diversité animale et ses modalités de gestion en élevage pour la valoriser.

## Introduction

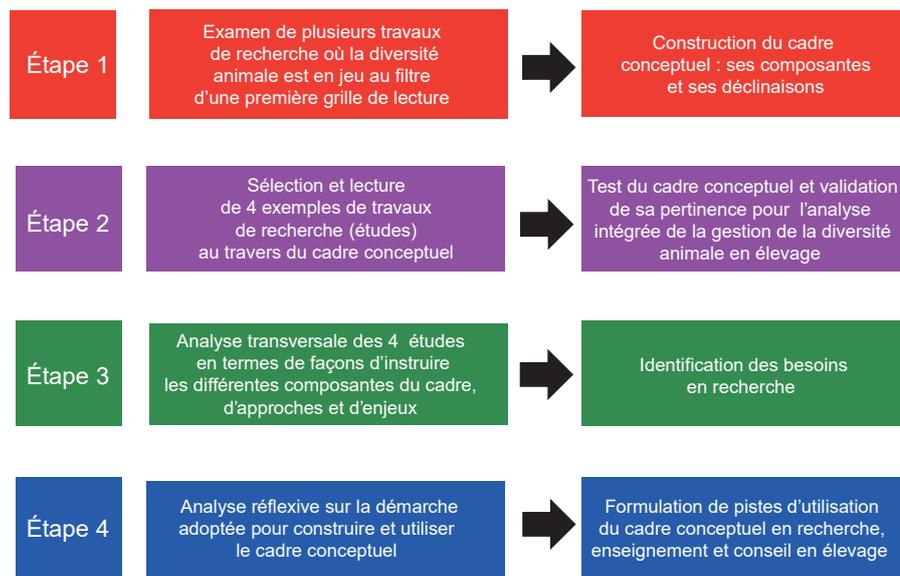
Durant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, le développement de l'élevage sur un modèle productiviste a permis une augmentation de la production animale grâce à *i*) la sélection des plantes et des animaux sur des traits de production ; *ii*) l'utilisation d'intrants (aliments concentrés, produits phyto-zoo-sanitaires...) permettant de réduire l'hétérogénéité environnementale et les effets des facteurs limitants la production ; et *iii*) la standardisation et rationalisation des modes de production ainsi que la spécialisation des fermes et des régions (Mazoyer, 1982). Les limites de ce modèle sont aujourd'hui bien documentées (Brussaard *et al.*, 2015 ; Duru et Therond, 2015). Premièrement, il a contribué au déclin de la biodiversité,

dont celui de l'agrobiodiversité, entendue comme la diversité des végétaux cultivés et des animaux domestiques (Altieri, 1987), ce qui, à terme, remet en cause la capacité d'adaptation des systèmes de production aux changements globaux (Hoffmann, 2013). Deuxièmement, l'augmentation à court terme de la productivité qu'il permet est souvent négativement corrélée à la productivité à long terme (Weiner, 2003). À titre d'exemple, la forte productivité animale des vaches laitières, permise grâce à la sélection sur la production laitière annuelle, a entraîné une détérioration des performances de reproduction (Mackey *et al.*, 2007 ; Sørensen *et al.*, 2008), de la longévité (Knaus, 2009), une plus grande sensibilité aux problèmes sanitaires (Olténacu et Broom, 2010), aux variations de l'environnement climatique (Gauly *et al.*,

2013) et aux fluctuations des apports alimentaires (Delaby *et al.*, 2009).

Face à ces limites, les orientations et les pratiques agricoles ont été infléchies par exemple en intégrant des aptitudes fonctionnelles dans les schémas de sélection des vaches laitières (Phocas *et al.*, 2014). Cependant la capacité de ces évolutions à s'affranchir de ces limites est questionnée. C'est pourquoi, des systèmes d'élevage alternatifs ont émergé, mettant en évidence la nécessité et la faisabilité d'une transition agroécologique en élevage. L'agroécologie repose notamment sur l'hypothèse que la biodiversité, et en particulier l'agrobiodiversité est un levier essentiel pour assurer la durabilité des fermes d'élevage et pour accroître leurs capacités d'adaptation dans des environnements non

**Figure 1.** La démarche séquentielle suivie pour construire, tester et tirer profit du cadre conceptuel pour l'analyse intégrée de la gestion de la diversité animale en élevage.



optimaux et variables (Darnhofer *et al.*, 2010 ; Biggs *et al.*, 2012 ; Dumont *et al.*, 2013 ; Duru *et al.*, 2015). Si des travaux en font la preuve, la grande majorité porte sur l'agrobiodiversité végétale, et notamment celles des prairies (Damour *et al.*, 2018). Ceux portant sur l'agrobiodiversité animale (appelée diversité animale ci-après) sont moins nombreux, plus récents et éparés. Nous faisons l'hypothèse que cette situation résulte d'abord d'un manque de formalisation partagée par les zootechniciens de ce que recouvre la notion de diversité animale et de sa gestion à l'échelle des systèmes d'élevage.

Cet article vise donc à développer un cadre conceptuel pour analyser de manière intégrée la gestion de la diversité animale à l'échelle des systèmes d'élevage et à proposer des pistes de recherche pour identifier les conditions dans lesquelles elle est bénéfique sur le long terme. Pour cela, nous avons mis en œuvre une démarche séquentielle en quatre étapes (figure 1).

La première étape a consisté à examiner plusieurs travaux de recherche dans lesquels la diversité animale en élevage était en jeu à partir d'une première grille de lecture construite selon notre expertise. Elle a permis de stabiliser les différentes composantes du cadre conceptuel et d'en identifier

leurs déclinaisons (partie 1 de l'article). La deuxième étape a consisté à sélectionner quatre études (exemples de recherche) et à les instancier selon le cadre développé. Ces études ont été sélectionnées pour être contrastées en termes de diversité animale considérée et de façon et degré d'instruction des différentes composantes du cadre. Cette étape a permis de tester le cadre conceptuel et d'en montrer la pertinence pour

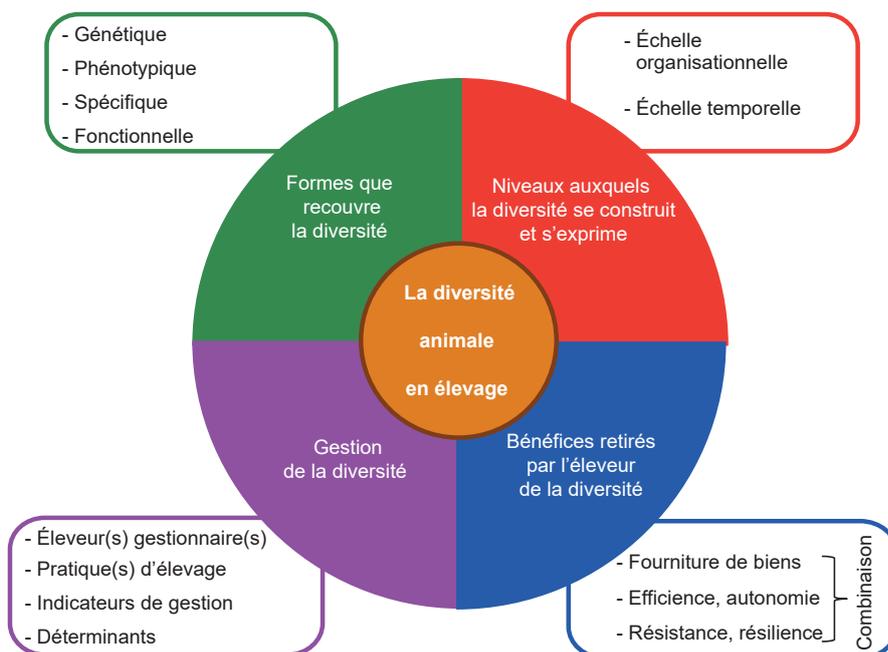
analyser l'ensemble de ce que recouvre la gestion de la diversité animale en élevage dans chaque étude (partie 2). La troisième étape a consisté en l'analyse croisée de ces quatre études. Elle a permis d'identifier des régularités et des différences dans les façons d'instruire les différentes composantes du cadre et de faire émerger des besoins en recherche pour analyser de manière intégrée la gestion de la diversité animale en élevage (partie 3). La dernière étape a consisté en une analyse réflexive sur la démarche adoptée pour construire et utiliser le cadre pour formuler quelques pistes d'utilisation de ce dernier dans la recherche, l'enseignement et le conseil en élevage (partie 4).

## 1. Présentation du cadre conceptuel pour analyser la diversité animale et ses modes de gestion en élevage

Le cadre conceptuel que nous proposons comprend quatre composantes (figure 2).

Deux composantes (en haut, figure 2) visent à analyser la diversité animale en interrogeant à la fois la forme qu'elle

**Figure 2.** Cadre conceptuel pour analyser de manière intégrée la gestion de la diversité animale en élevage.



prend (§ 1.1) et les niveaux organisationnel et temporel auxquels elle se construit et s'exprime (§ 1.2). Les deux autres composantes (en bas, figure 2) visent à analyser les modalités de gestion de la diversité animale en élevage (§ 1.3) et le(s) bénéfice(s) qu'en retire ou en attend l'éleveur (§ 1.4). Nous précisons que si le niveau de la population animale est fondamental pour gérer sur le long terme la diversité animale au sein des espèces et des races, nous focalisons ici sur sa gestion à l'échelle du système d'élevage. Dès lors, les populations animales sont vues comme des ressources à disposition de l'éleveur pour acquérir de la diversité animale qu'il doit ensuite utiliser, entretenir et valoriser au sein de son élevage.

### ■ 1.1. Les différentes formes de la diversité animale

La diversité est le caractère de ce qui est varié, hétérogène, différent. Cette notion s'oppose à celles d'uniformité, d'homogénéité et de ressemblance.

La *diversité génétique* désigne le degré de variété (ou polymorphisme) des gènes au sein d'une même espèce, race ou lignée. Elle est le support de la sélection génétique qui a pour principe de choisir, parmi la variabilité existante, les animaux porteurs des versions (ou allèles) favorables aux gènes d'intérêt comme reproducteurs ; ceci pour transmettre ces allèles favorables d'une génération à une autre et donc permettre l'amélioration génétique de la population animale concernée (espèce, race ou lignée). Les gènes d'intérêt peuvent concerner des caractères de production ou des aptitudes fonctionnelles telles que la résistance à des agents pathogènes ou la capacité de reproduction dans un milieu donné pour améliorer la robustesse des animaux (Phocas *et al.*, 2017 ; § 2.4). La diversité génétique est également le support d'actions de conservation et de valorisation de races à petits effectifs (Audiot, 1995).

La *diversité phénotypique* décrit la variabilité des traits observables et mesurables pour un animal. Ces caractères peuvent être physiologiques (gabarit, couleur de la robe, cornes),

physiologiques (âge, parité, efficacité digestive, production de lait, poids, conformation...), comportementaux (activité au pâturage, relation à l'Homme), ou biochimiques (groupes sanguins). Elle est le résultat conjoint de la diversité génétique et des effets de l'environnement physique, chimique et social. La diversité phénotypique (âge, poids, conformation...) peut induire une diversité de produits animaux à mettre sur le marché.

La *diversité spécifique* renvoie aux associations d'espèces animales en élevage. Des études ont portées sur les associations bovins-ovins (Cournut *et al.*, 2012 ; Meisser *et al.*, 2013 ; D'Alexis *et al.*, 2014) et bovins-équins (Martin-Rosset et Trillaud-Geyl, 2011). À l'inverse, peu d'études portent sur les associations entre espèces de ruminants et espèces monogastriques alors que ces deux catégories d'animaux ont des rôles complémentaires dans la chaîne alimentaire au sein des écosystèmes (ingestion de fourrages et dégradation des polymères des constituants pariétaux des végétaux vs ingestion de graines et tubercules et dégradation des autres constituants, respectivement).

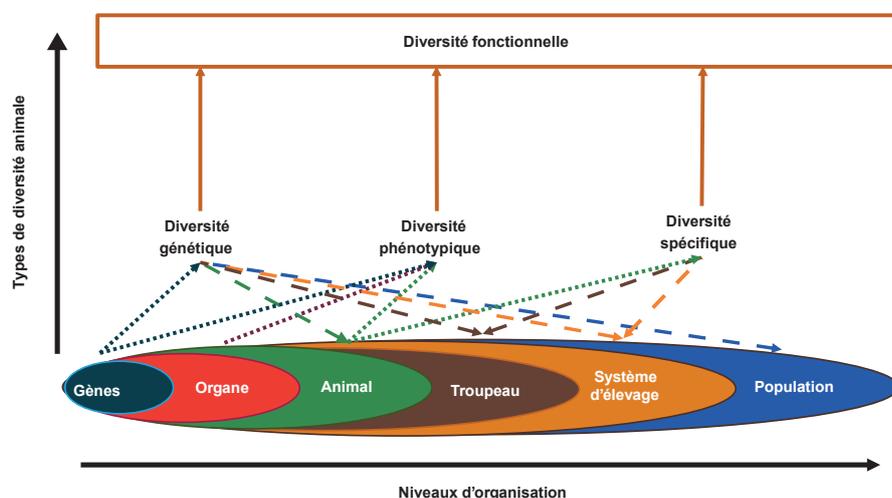
Enfin, potentiellement supportée par les trois précédentes formes de diversité (figure 3), la *diversité fonctionnelle* est mentionnée comme celle intéressante en élevage (Tichit *et al.*, 2011).

Elle renvoie à l'association d'entités animales ayant des fonctionnements (ou aptitudes) biologiques ou écologiques différents (par exemple, race à viande vs race laitière) ou des réponses biologiques et écologiques à des perturbations différentes (par exemple, phénotype tolérant au stress climatique vs phénotype sensible). À titre d'exemple, en aquaculture le fonctionnement de l'écosystème est optimisé par un assemblage fonctionnel entre espèces de poissons (détritivores, végétariens, carnivores) aux caractéristiques, fonctions et habitats complémentaires (reproduction, thermophilie, alimentation ; Néori *et al.*, 2004).

### ■ 1.2. Les niveaux organisationnels et temporels auxquels la diversité animale se construit et s'exprime

Les différentes formes de diversité animale, leur coexistence voire leur emboîtement au sein des systèmes d'élevage sont liées au fait que ces derniers sont des systèmes biologiques pilotés (ou systèmes biotechniques ; Dedieu *et al.*, 2008). Ces systèmes sont en effet constitués d'un emboîtement de niveaux d'organisation du vivant. Le fonctionnement et la dynamique d'ensemble résultent du fonctionnement et de la dynamique de chacun des niveaux d'organisation sous-jacents et de leurs

**Figure 3.** Les différentes formes de diversité animale et les niveaux d'organisation où elle se construit et s'exprime.



Flèches en pointillés : niveaux d'organisation où la diversité se construit ; Flèches en tirets : niveaux d'organisation où la diversité animale s'exprime ; Flèches pleines : diversité fonctionnelle supportée par les autres formes de diversité animale.

interactions, pilotés par les pratiques de l'éleveur. Ainsi, le fonctionnement dynamique d'un atelier de production animale résulte de celui des groupes d'animaux qui le composent. Le fonctionnement dynamique d'un animal résulte de celui des différents systèmes d'organes qui le composent (organes du système digestif, reproducteur, respiratoire...). À cet emboîtement de niveaux d'organisation du vivant s'ajoute un emboîtement des échelles de temps. En effet, le fonctionnement dynamique des systèmes d'élevage repose sur des processus spécifiques à chaque niveau d'organisation s'inscrivant différemment dans le temps. Par exemple, alors qu'au niveau cellulaire, les processus métaboliques s'opèrent à l'échelle de la minute, au niveau du troupeau, le processus de renouvellement s'opère à l'échelle de plusieurs années.

Pour caractériser la diversité animale en élevage et la gérer pour en tirer parti sur le long terme, il est utile d'appréhender la complexité liée à l'intrication de ces différents niveaux. Il s'agit de distinguer (figure 3) : *i*) le niveau organisationnel et temporel auxquels se construit la diversité animale, à savoir les niveaux auxquels des éléments constitutifs interagissent par le biais de processus biologiques ; et *ii*) le niveau organisationnel et temporel auxquels la diversité animale s'exprime, à savoir le niveau plus englobant auquel la diversité animale est bénéfique pour le système. L'analyse du niveau où se construit la diversité animale est liée à sa forme (§1.1). L'analyse du niveau où elle s'exprime permet de comprendre ses modalités de gestion (§1.3) et les bénéfices qui en sont attendus/retirés par l'éleveur (§1.4).

Dans les modèles d'élevage développés pour tester les bénéfices à retirer de certaines modalités de gestion de la diversité animale, ces niveaux d'organisation et de temps sont clairement identifiés. Par exemple, en élevage caprin, la question de l'intérêt de la diversité animale pour la résilience du troupeau a été abordée en construisant un modèle combinant le niveau animal et le niveau troupeau (Tichit *et al.*, 2012). Le niveau animal, à l'échelle d'une campagne de production, est celui où se construit

la diversité phénotypique des chèvres selon leurs stratégies d'allocation des ressources alimentaires aux fonctions biologiques de reproduction et de lactation. Les chèvres « généralistes » ont de bonnes performances de reproduction (90 % taux de mise bas) et des performances laitières moyennes (700 L/lactation) quel que soit l'environnement. Les chèvres « spécialistes » ont des performances de reproduction moyennes (70 % de taux de mise bas) et des performances laitières élevées en environnement favorable (1 000 L) et faibles en environnement défavorable (600 L). Le troupeau, à l'échelle de plusieurs campagnes de production, est le niveau d'organisation où la diversité des animaux s'exprime et où les bénéfices qui en sont retirés sont évalués. Ainsi, les simulations ont montré que la diversité phénotypique des chèvres dans le troupeau, à savoir la combinaison de chèvres « spécialistes » et « généralistes », est bénéfique pour diminuer la variabilité interannuelle de la production laitière du troupeau en réponse à des variations de l'environnement.

### ■ 1.3. La gestion de la diversité animale en élevage

Décrire et comprendre la gestion de la diversité animale nécessite d'identifier le(s) gestionnaire(s) de cette diversité, les modalités de gestion c'est-à-dire ici les pratiques d'élevage liées à la diversité, les indicateurs de gestion et les déterminants de ces modalités de gestion.

L'éleveur, ou le collectif de travail de la ferme, est le premier acteur gestionnaire de la diversité animale en élevage. Cependant, selon l'organisation de la sélection dans la filière de production considérée, il est utile de spécifier le type d'éleveur concerné. C'est particulièrement le cas en filière porcine ou avicole où il est utile d'identifier comment est gérée la diversité animale à chacun des étages que sont les sélectionneurs, les multiplicateurs ou les producteurs (§ 2.4).

L'éleveur gère la diversité animale *via* une combinaison de pratiques : des pratiques de conduite de troupeaux (reproduction, santé, alimentation), des pratiques de configuration de troupeaux

(renouvellement, réforme, gestion des accouplements...), et des pratiques de commercialisation (exploitation et valorisation d'un ensemble de produits animaux : animaux vendus en vif pour la reproduction ou pour l'engraissement, lait, œuf, viande, poisson et leurs dérivés). Ces pratiques permettent de créer ou acquérir la diversité animale, de l'utiliser (l'orienter, la valoriser, la segmenter) et de la renouveler ou pas (la réduire, l'amplifier, la maintenir). Ainsi, un éleveur vendant l'ensemble de ses agneaux sous Signe de l'Identification de la Qualité et de l'Origine à une organisation de producteurs, peut chercher à réduire la diversité phénotypique dans son élevage, en groupant les naissances et/ou complétant de manière plus importante les agneaux doubles, de façon à construire des lots de vente les plus homogènes possibles en poids, conformation et état de gras. À l'opposé, un éleveur vendant des agneaux en vente directe peut chercher à augmenter la diversité phénotypique par l'organisation des naissances et l'élevage des jeunes, en particulier par les pratiques de reproduction et d'alimentation, de façon à avoir tout au long de l'année des animaux hétérogènes, adaptés à des consommateurs individuels qui expriment des demandes différentes (Nozières, 2014). Parmi les pratiques d'élevage, le choix des animaux reproducteurs, l'alimentation différenciée entre lots ou les pratiques d'allotement sont les plus mobilisées pour gérer la diversité. Cette gestion s'organise à différents niveaux, à différents moments d'une année ou d'une série d'années, et dans l'espace (§ 1.2). Ainsi, dans des systèmes d'élevage associant bovins et ovins, les surfaces peuvent être pâturées de façon séparée, alternée ou simultanée, suivant les objectifs de l'éleveur en matière de niveaux de production de chacun des troupeaux et de valorisation des ressources (§ 2.3). Dans d'autres situations, les pratiques mises en œuvre par l'éleveur peuvent ne pas tenir compte de la diversité animale. C'est le cas des éleveurs qui alimentent toutes les vaches laitières de leur troupeau de manière identique même si elles sont de race et/ou de potentiel laitier différent (§ 2.2). Enfin, il nous semble pertinent de distinguer la diversité animale subie, c'est-à-dire celle qui découle du

fonctionnement du système d'élevage mais « sans être voulue », de la diversité animale pilotée, c'est-à-dire celle qui fait l'objet d'une gestion basée sur des objectifs et des indicateurs, formalisés ou non.

Pour mettre en œuvre ces pratiques de gestion de la diversité animale, l'éleveur collecte, recherche et organise un certain nombre d'informations, internes et externes au système d'élevage (Magne *et al.*, 2011). Les données collectées sur le système biotechnique renvoient d'abord à la façon dont il perçoit et caractérise la diversité animale aux niveaux où elle se construit et où elle s'exprime pour lui (et pour ses interlocuteurs ; § 1.2). Mais sont également convoquées des informations sur l'environnement physique, social et économique de l'élevage, et sur la façon dont la diversité animale évolue sous l'effet des modifications de l'environnement. Tout ou partie de ces informations peuvent être formalisées au travers d'indicateurs. Les indicateurs de performances zootechniques, tels que les niveaux de production laitière et leurs variations interannuelles sur la ferme ou entre fermes mais aussi les index de sélection construits à l'échelle d'une population animale sélectionnée, peuvent être mobilisés.

Le choix des pratiques mises en œuvre pour gérer la diversité animale dépend de deux types de déterminants selon qu'ils sont internes à l'élevage ou à l'éleveur (valeurs, normes et objectifs de l'éleveur) ou externes (orientation des filières, ressources disponibles dans l'environnement). Ces déterminants constituent des facteurs freinant ou facilitant la mise en œuvre des pratiques de gestion de la diversité animale en élevage. Ainsi les organismes et entreprises de sélection animale, en structurant fortement la variabilité génétique disponible parmi les reproducteurs mis sur le marché, peuvent freiner l'utilisation de la diversité animale en élevage. De même, les structures d'achat des produits d'élevage en aval émettent, vis-à-vis des élevages, une demande d'animaux homogènes ou hétérogènes selon les circuits et les périodes, voire les accompagnent techniquement ou simplement par incita-

tion financière dans la construction de leur offre. La gestion de la diversité des produits, à leur échelle, complète celle effectuée par l'éleveur. Cela permet de faire coïncider globalement au sein de la filière l'offre de produits animaux, par essence inégalement répartie, fluctuante et aléatoire dans le temps et dans l'espace, à une demande (consommation) constante et concentrée dans les centres urbains (Malassis, 1979).

#### ■ 1.4. Les bénéfices retirés par l'éleveur de la gestion de la diversité animale

La quatrième composante du cadre renvoie aux bénéfices potentiels retirés ou attendus de la gestion de la diversité animale en élevage. Le bénéficiaire que nous considérons est l'éleveur, bien qu'il en existe d'autres (les organismes de sélection, les acteurs de la société civile...). Les bénéfices sont les avantages que l'éleveur retire des processus biologiques et écologiques assurés/supportés par la diversité animale gérée.

Le premier bénéfice concerne l'amélioration de la fourniture de biens (produits animaux, coproduits animaux...) et la construction d'un produit brut, nécessaire pour élaborer un revenu. La gestion de la diversité animale peut ainsi permettre d'élargir la gamme de biens à un instant *t* et sur une campagne *via* la complémentarité des cycles de production et d'améliorer la qualité et la quantité des biens produits *via* la complémentarité fonctionnelle qu'elle supporte. Par exemple, mobiliser la diversité raciale au sein de troupeaux de bovins laitiers permet de produire du lait en quantité tout en gardant une bonne qualité laitière, et en valorisant convenablement les produits carnés grâce à la complémentarité des aptitudes des races de type spécialiste et généraliste (§ 2.2). De même, le pâturage mixte de génisses et de chèvres permet d'améliorer le gain de poids des chèvres et la production animale globale tout en améliorant la gestion des pâturages (D'Alexis *et al.*, 2014).

Le deuxième bénéfice relève de l'amélioration de l'efficacité du système d'élevage, définie ici comme le rapport entre

les produits obtenus et les ressources utilisées à cette fin. Lorsque l'on focalise sur la valorisation des ressources internes à la ferme, alors l'efficacité intègre l'autonomie. Ainsi, la diversité animale dans les élevages peut être un moyen de mieux valoriser les ressources disponibles (ressources alimentaires pour les animaux, main-d'œuvre, foncier, équipement) sur la ferme. Elle peut consister en la complémentarité entre les éléments du système dans le but « *d'exploiter au mieux toute la gamme des ressources et des conditions offertes* » (Reboud et Malezieux, 2015). Ainsi l'association d'ovins à viande et de vaches laitières sur une même ferme permet de mieux valoriser la diversité des ressources herbagères (dans l'espace et dans le temps), les deux espèces ayant ni les mêmes comportements ni les mêmes besoins alimentaires ni les mêmes sensibilités aux strongles gastro-intestinaux. L'association d'espèces aux cycles de production différents peut permettre d'être plus efficace en travail en le répartissant sur la campagne de production.

Un troisième bénéfice potentiel de la gestion de la diversité animale concerne l'amélioration de la résilience du système d'élevage, définie ici comme sa capacité à se maintenir, mais aussi à s'adapter à des évolutions de son environnement (Dedieu et Ingrand, 2010). La diversité animale peut, en effet, permettre de tamponner un aléa, qu'il soit climatique, économique, sanitaire ou zootechnique, et offrir des possibilités d'adaptation et de transformation du système d'élevage (Darnhofer *et al.*, 2010 ; Nozières *et al.*, 2011). Ainsi, la diversité spécifique ovin-bovin permet de réajuster les ressources herbagères et le stock aux besoins des animaux (Cournut *et al.*, 2012) en cas d'aléas climatique, et la diversité phénotypique gérée par la conduite des ovins (reproduction, alimentation et allotement) permet d'adapter la commercialisation aux évolutions du marché (Nozières et Moulin, 2016).

Si chacun de ces trois types de bénéfices peut être évalué indépendamment l'un de l'autre, il ressort que c'est souvent la recherche d'une combinaison entre eux qui est attendue ou retirée de la gestion de la diversité animale dans les élevages (§ 3 et 4).

## 2. Lecture de quatre études traitant de la diversité animale en élevage au filtre du cadre conceptuel proposé

Pour comprendre quelle diversité animale est bénéfique en élevage et les conditions dans lesquelles elle peut l'être, il est utile de considérer l'ensemble des quatre composantes du cadre conceptuel proposé. Pour démontrer cela, nous utilisons le cadre

conceptuel pour rendre compte de quatre travaux de recherche menés à l'INRA (et appelés études par la suite) et traitant de la diversité animale et de sa gestion en élevage (tableau 1).

### ■ 2.1. Étude 1. Points de vue des éleveurs de bovins laitiers sur la diversité intra-troupeau et ses bénéfiques

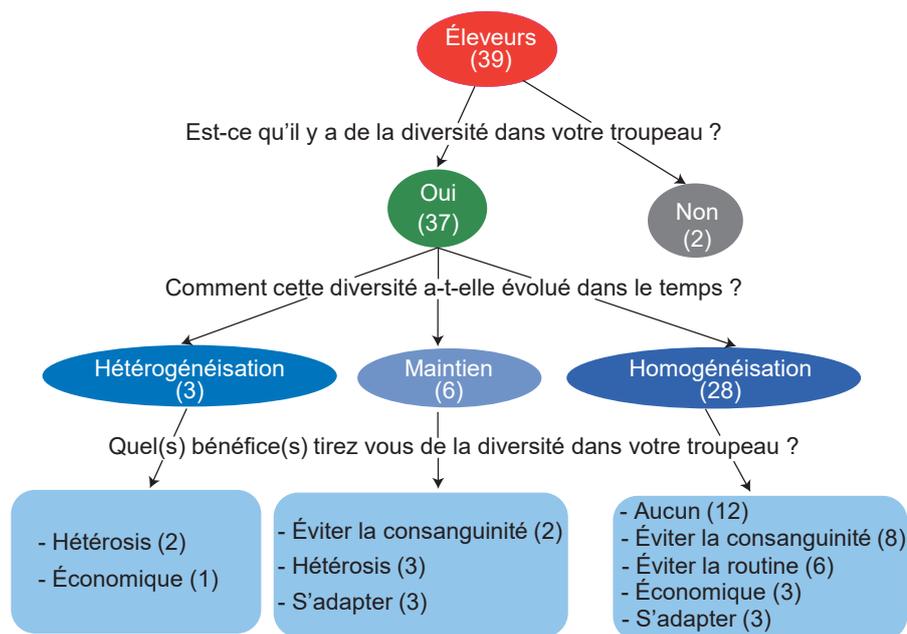
Ollion (2015) décrit la manière dont les éleveurs de vaches laitières caractérisent les formes de diversité animale dans leur élevage, comment cette

diversité a évolué dans le temps, sous quelle(s) influence(s), et enfin quels bénéfices ils en retirent. Ce travail questionne la diversité intra-spécifique du point de vue des éleveurs eux-mêmes. Il se base sur un échantillon d'élevages composé de 25 troupeaux comportant une seule race – mono-race – (11 en race Holstein, 7 en race Montbéliarde, 6 en Normande, 1 en Ferrandaise), 9 troupeaux comportant plusieurs races – multi-races – (5 mixant les races Holstein et Montbéliarde, 2 mixant les races Holstein et Normande, 1 mixant les races Holstein et Simmental et

**Tableau 1.** Présentation des quatre études au regard du cadre conceptuel proposé pour décrire et comprendre la diversité animale dans les systèmes d'élevage.

Type de production animale	Formes de diversité animale	Niveaux auxquels la diversité se construit et s'exprime		Bénéfices retirés de la diversité animale	Gestion de la diversité animale : modalité (M), indicateur (I) ou déterminants (D)
		Organisationnel	Temporel		
Étude 1. Bovins laitiers	Génotype et Phénotype	Animal → Troupeau,	De la carrière de l'animal à la campagne en cours	Production de biens (via hétérosis, complémentarité lait/viande, volume lait et taux) ; Efficience (économique, au travail) ; Résilience (aléas climatique)	M : diversité subie vs. pilotée I : diversité comportementale, génétique, physiologique, performance D : Éviter la consanguinité et la routine ; rechercher l'hétérosis
Étude 2. Bovins laitiers	Génotype et Fonction	Animal → Troupeau	Année (campagne)	Production de biens (lait/viande, qualité/quantité lait) ; Efficience (en concentrés) ; Résilience (capacité à se renouveler) ; Compromis entre bénéfiques	M : trois modes de gestion selon le degré de renouvellement de la diversité animale (la réduire, segmenter, amplifier) et le type d'utilisation/valorisation (complémentarité de production et efficience) I : diversité fonctionnelle supportée par les races D : degré de rationalisation du système
Étude 3. Bovins laitiers et ovins à viande	Espèce	Troupeau → système d'élevage	Année (campagne)	Production de biens (lait de vache/viande d'agneaux ; production fourragère) ; Efficience (alimentaire, travail, économique) ; Résilience (aléas climatique, économique)	M : intensité de complémentarité entre espèces I : diversité spécifique ovin viande-bovin lait D : Organisation du travail, degré de rationalisation du système, valorisation sous AOP
Étude 4. Porc	Génotype et phénotype	Animal → Troupeau	Bande	Efficience économique pour la filière (entreprises de sélection) ; Résistance vis-à-vis de stress thermique et efficience économique pour les éleveurs commerciaux	M : trier et orienter les reproducteurs selon leur phénotype de robustesse à la chaleur I : prédictors de la robustesse des porcs à la chaleur D : recherche de rationalisation des systèmes d'élevage et de la filière

**Figure 4.** Réponses de 39 éleveurs de bovins laitiers sur les dynamiques d'évolution et les bénéfices retirés de la diversité animale au sein de leur troupeau.



1 mixant Holstein, Montbéliarde et Abondance, avec des effectifs autres que la race Holstein allant de 10 à 75 % du troupeau) et 5 troupeaux en croisement, avec des effectifs de vaches croisées allant de 50 à 100 % du troupeau sur des schémas de croisement allant de 3 à 5 voies utilisant des races variées (Holstein, Normande, Jersiais, Montbéliarde, Rouge scandinave, Holstein Néozélandaise, Brunes des Alpes).

Quasiment tous les éleveurs ( $n = 37/39$ ) considèrent avoir de la diversité dans leur troupeau (figure 4).

Dans leurs discours, ils abordent la diversité sous deux formes : génétique et phénotypique. Une majorité d'éleveurs (24/39) mentionne l'origine génétique des animaux comme critère de diversité intra-troupeau avec des éleveurs qui distinguent leurs vaches selon leur origine maternelle (19/39) « *Olympe, eh ben, toutes ses filles, elles ont le même caractère, elles vont être dociles* », et ceux qui les caractérisent selon l'origine paternelle (5/39) « *il y a des taureaux qui nous déçoivent et d'autres où, on ne misait pas forcément dessus, et on a 4-5 filles et il n'y a rien à redire* ». Certains éleveurs associent la diversité à l'origine génétique des animaux à travers des races différentes

ou des croisements ( $n = 15$ ) « *c'est plus rancunier que les noires les rouges, les abondances, ça a plus de caractère* ». Les éleveurs la caractérisent la diversité phénotypique de leurs animaux selon des critères physiologiques (morphologie, robe, cornage,  $n = 31/39$ ), comportementaux (caractère, tempérament, comportement alimentaire ;  $n = 18/39$ ), capacité à moduler la production laitière en cas d'aléas ( $n = 34/39$ ) ou physiologiques (qualité et quantité de lait), âge, longévité, compromis de performance (par exemple, lait vs fertilité ou lait vs longévité,  $n = 9$ ).

Parmi les 37 éleveurs mentionnant avoir de la diversité dans leur troupeau, 28 ont cependant constaté qu'elle s'était réduite dans le temps, pour certains de manière consciente et volontaire, pour d'autres, plutôt de manière subie et difficilement explicable. Après analyse des pratiques d'élevage, il ressort que cette réduction résulte de pratiques de conduite de troupeaux (sélection du renouvellement, réforme, gestion des accouplements) orientées par la recherche d'une vache « idéale », et donc basées sur des règles de décisions uniformes pour l'ensemble des animaux du troupeau. Chez les neuf autres éleveurs, la diversité a été maintenue ou augmentée (pour trois éleveurs) dans

le temps par la pratique du croisement entre races laitières dans le troupeau.

Vingt-cinq éleveurs parmi les 37 soulignent qu'ils retirent différents bénéfices du maintien de la diversité intra-troupeau (figure 4). Ainsi, la diversité comportementale et physiologique des animaux leur permet de faciliter la gestion de la consanguinité et donc d'améliorer l'efficacité au travail. Cette gestion passe par le maintien d'une base génétique assez large pour le renouvellement des femelles et le choix de mâles d'origine diversifiée. La diversité raciale (4/37) permet d'améliorer la fourniture de biens du système d'élevage lorsque les races ont des orientations productives contrastées : quantité (Holstein) vs qualité du lait (Montbéliarde, Simmental), ou conjuguent une image touristique (Abondance) et de bonnes performances de production (Holstein). La diversité permet aussi de mieux gérer les aléas (6/37) ou de s'adapter au marché : réorientation de la production vers plus de quantité ou de matière utile selon les prix, possibilité de tamponner l'effet d'aléas de nature variée « *Ce que je dis, c'est que si t'as des années aléatoires, des situations alimentaires qui sont pas optimales, sur un troupeau très mélangé, certains animaux vont résister mieux que d'autres, et si la situation s'inverse, ça sera l'inverse. Ça doit donner un peu d'amortissement, amortir un peu les diverses fluctuations* ».

## ■ 2.2. Étude 2. Modes de gestion et bénéfices retirés de troupeaux bovins laitiers multi-races

Magne *et al.* (2016) ont étudié les performances et les modes de gestion de troupeaux bovins lait multi-races en Aveyron, soit 16 % des élevages du contrôle laitier du département en 2010. La diversité animale étudiée ici est la diversité fonctionnelle supportée par la diversité génétique (race spécialiste vs généraliste). La race Holstein (Ho) est qualifiée de race spécialiste en lait et les autres races, parmi lesquelles la Montbéliarde (Mb), la Normande (No), la Simmental (Si) et la Brune (Br) sont qualifiées de races généralistes. Un troupeau est dit multi-race (TMR) si : *i*) il est

composé de vaches des deux types de races et *ii*) aucun des deux types de race ne représente plus de 80 % de l'effectif total du troupeau. L'analyse des performances individuelles des vaches des deux types de races au sein de 22 TMR (parmi lesquels 13, 3, 3, 3 combinent de la Ho avec respectivement des Mb, Si, Br et No) confirme une complémentarité fonctionnelle des deux types de races sur certains traits. Ainsi, intra-troupeau, les vaches de type spécialiste ont produit plus de lait (en moyenne + 1 137 kg/an) pour une durée de lactation plus longue (en moyenne + 38 j) que les vaches de type généraliste. Inversement, ces dernières ont produit du lait avec des teneurs en protéines (en moyenne + 2,1 g/kg) et en matières grasses (en moyenne + 2,2 g/kg) plus élevées et avaient un rang de lactation légèrement plus long (+ 5 mois).

Les bénéfices retirés de la gestion de la diversité des types de races au sein de TMR ont été évalués en comparant les performances de l'ensemble des TMR du contrôle laitier aveyronnais ( $n = 83$ ) à celles des Troupeaux monoRaces de type Spécialiste (405 TRS) et de type Généralistes (117 TRG) (tableau 2).

Les TMR présentent un profil de performances intéressant entre production de lait (quantité et taux), reproduction (résilience au sens de capacité à se

renouveler) et efficacité en concentrés relativement aux troupeaux mono-races. En effet, s'ils produisent moins de lait que les TRS, ils sont plus économes en concentrés, ont de meilleures performances de reproduction et des taux protéiques supérieurs. S'ils ont des performances de reproduction inférieures au TRG, ils produisent plus de lait, avec des taux équivalents et ont une meilleure efficacité en concentrés tout en étant aussi économes en concentrés. En revanche, les TMR n'offrent pas d'avantages en termes de santé de la mamelle par rapport aux troupeaux mono-races.

L'analyse des pratiques d'élevage dans les 22 TMR a permis d'identifier trois groupes d'éleveurs ayant différentes façons d'utiliser, de renouveler et de valoriser la diversité raciale ( $Gi = 1$  à 3). Le choix de la race Ho a toujours pour finalité une production de lait en quantité important ; le choix de la race généraliste associée est liée à une complémentarité fonctionnelle différente ciblée au niveau des élevages de chaque groupe. Le groupe 1 compte six élevages. Dans ces élevages, les races généralistes sont la Si (2 élevages), la No (2 élevages) ou la Br (2 élevages). Trois élevages sont à dominante Ho (*i.e.* comptent entre 60 et 80 % de Ho) et trois à dominante d'une race généraliste. Ces éleveurs utilisent la race généraliste pour sa complémentarité

fonctionnelle à la race Ho en termes de reproduction et d'aptitude à produire du lait avec des taux élevés à partir de ressources fourragères locales et de peu de concentrés. Trois de ces éleveurs cherchent à combiner ces aptitudes et un bon niveau de production dans un nouveau génotype *via* du croisement laitier alternatif. En lien avec leur quête d'efficacité alimentaire, ces éleveurs pratiquent des vêlages tardifs (les génisses valorisant des ressources fourragères à faible valeur alimentaire) et distribuent les concentrés sur la base des besoins des vaches de types généralistes qu'ils sélectionnent sur la production de lait. Le groupe 2 compte huit élevages. Les races généralistes présentes sont la Mb, la Br, la Si, la No dans respectivement quatre, deux, deux et un élevages. Cinq élevages sont à dominante Ho et trois ont des proportions équilibrées entre Ho et races généralistes. Pour ces éleveurs, la complémentarité fonctionnelle des deux races résulte de l'aptitude à produire du volume de lait de la race de type spécialiste et de la mixité de production lait/viande de la race de type généraliste. Ces éleveurs segmentent certaines de leurs pratiques en fonction du type de race : *i*) ils pratiquent du croisement viande sur en moyenne 30 % des vaches de type généraliste pour optimiser l'aptitude bouchère de leurs veaux alors qu'ils le pratiquent peu

**Tableau 2.** Performances moyennes de 83 Troupeaux Multi-Races (TMR), troupeaux mono-races constitués d'animaux de type spécialiste (405 TRS) ou de type généraliste (117 TRG) en Aveyron en 2010.

Performances exprimées en moyennes (écart type)	TRS	TMR*	TRG**
Quantité de lait/VL (kg/an)	7 497 <sup>a</sup> (1 091)	6 457 <sup>b</sup> (1 059)	6 028 <sup>c</sup> (879)
Taux protéique (g/kg)	33,1 <sup>c</sup> (0,9)	33,6 <sup>b</sup> (1,2)	34,9 <sup>a</sup> (1,1)
Taux butyreux (g/kg)	41,8 <sup>b</sup> (1,6)	42 <sup>ab</sup> (1,8)	42,5 <sup>a</sup> (2,1)
Taux de cellules somatiques (1 000 cellules/mL)	266,9 <sup>a</sup> (100,2)	265,8 <sup>a</sup> (105,2)	205,8 <sup>b</sup> (86,3)
Intervalle Vêlage Vêlage (jours)	430 <sup>a</sup> (30)	414 <sup>b</sup> (26)	399 <sup>c</sup> (27)
Concentré distribué (kg/VL/an)	1 747 <sup>a</sup> (416)	1 537 <sup>b</sup> (397)	1 581 <sup>b</sup> (342)
Efficacité en concentré (g/kg de lait)	234 <sup>b</sup> (52)	239 <sup>b</sup> (50)	266 <sup>a</sup> (64)

a, b, c : les moyennes affectées d'une lettre différente diffèrent au seuil de  $P < 0,05$ .

\*Parmi les 83 TMR, 53 ont pour race dominante, la race Ho, 19 la race Mb, 5 la race Br et 6 la race Si.

\*\*Parmi les 117 TRG, 50 sont composés de Mb, 34 de Si, 32 de Br et 1 de No.

sur la Ho, et seulement en cas d'échec à plus de 3 IA ; ii) quatre d'entre eux pratiquent un vêlage précoce sur les vaches Ho et un vêlage tardif pour les vaches de type généraliste ; iii) ils ajustent les quantités de concentrés distribués en fonction de la production de lait des vaches. Le groupe 3 compte huit élevages : sept sont composées de Ho-Mb et un de Ho-Br. Quatre élevages sont à dominante Ho, trois ont des proportions équilibrées entre les deux races et un est à dominante la race généraliste. La complémentarité fonctionnelle à la production de lait de la Ho que les éleveurs de ce groupe recherchent est la résistance aux maladies de la race généraliste. Ils ciblent leurs pratiques sur la conduite des vaches Ho et cherchent à réduire le degré de dissemblance entre les deux types races pour intensifier la production laitière et rationaliser le travail. Un éleveur pratique même le croisement d'absorption. L'âge au pre-

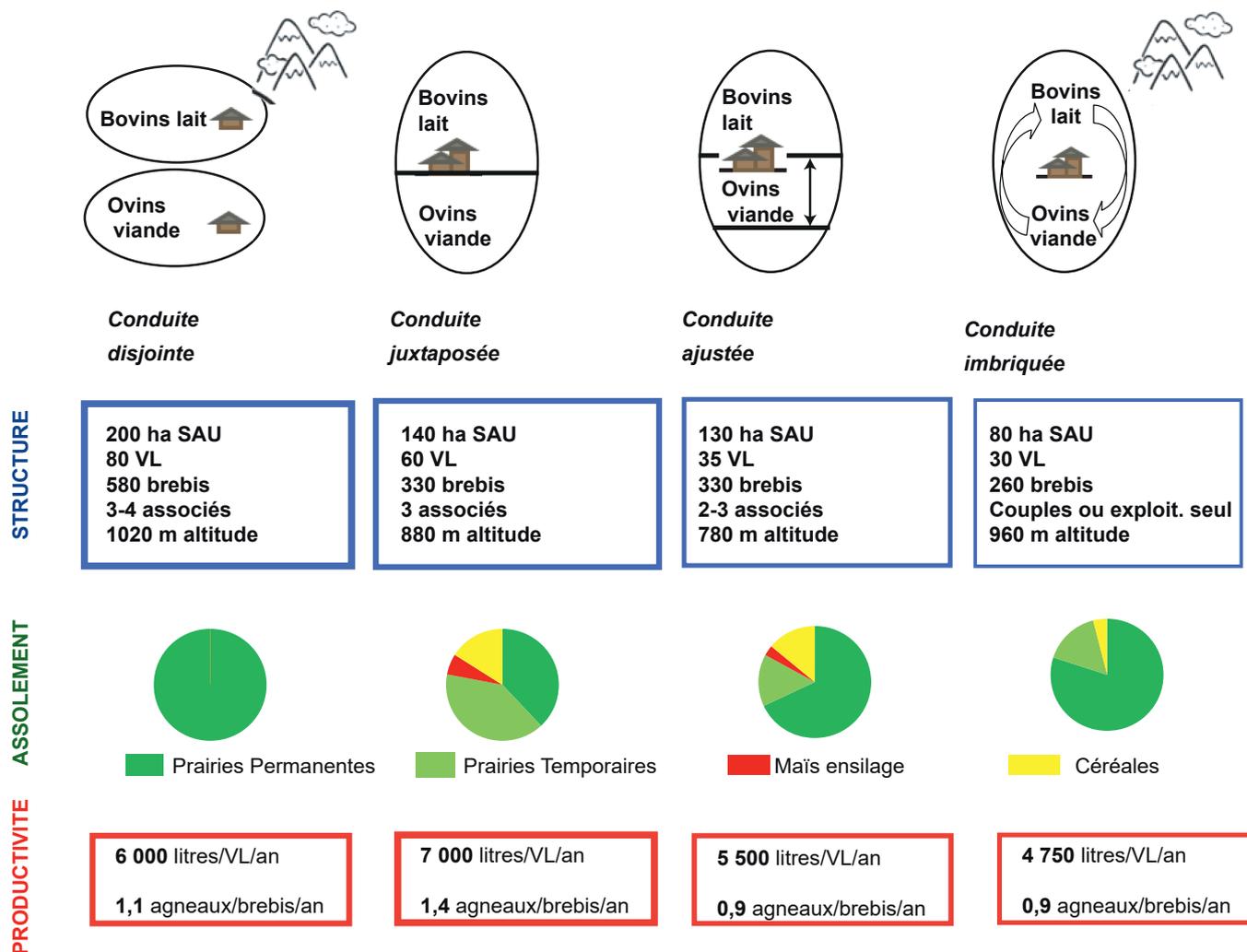
mier vêlage est à 24 mois pour toutes les vaches afin de réduire les périodes improductives et d'empêcher l'engraissement des vaches généralistes. Les quantités de concentrés sont adaptées au niveau de production quelle que soit la race. Les éleveurs veillent à maintenir la composition des races qu'ils ont dans leur troupeau car ils ont investi dans la génétique des deux races.

L'analyse comparée des performances des élevages dans ces trois groupes conforte l'idée que la complémentarité entre volume de lait produit et efficacité en concentrés sont les bénéfices retirés des TMR : les trois groupes ne présentent pas de différences significatives en termes de performances hormis pour le volume de lait/VL/an ( $G3 > G2 > G1$ ) et l'efficacité en concentré ( $G1 = G3 < G2$ ). Les bénéfices en termes de production de viande n'ont pu être évalués faute de données.

### ■ 2.3. Étude 3. Modes de gestion d'élevage associant des bovins laitiers et des ovins à viande

Cournut *et al.* (2012) ont analysé les modes de gestion de 18 élevages auvergnats associant des bovins laitiers et des ovins à viande. Ils ont caractérisé l'organisation dans l'espace et le temps des interactions entre espèces animales ainsi qu'entre animaux et ressources végétales, en lien avec les caractéristiques structurelles de la ferme et les objectifs de production de l'éleveur. Ils ont aussi précisé les leviers mobilisés par les éleveurs en cas d'aléas climatiques. Quatre modes de gestion d'élevage ont été discriminés selon la configuration du pâturage entre les deux troupeaux, et le niveau d'intensification des surfaces en lien avec le niveau de productivité des animaux (figure 5). Dans ces modes de gestion

Figure 5. Quatre modes de gestion d'élevage combinant des bovins laitiers et ovins à viande en Auvergne.



qui expriment des niveaux différents d'imbrication des deux troupeaux, les leviers mobilisés en cas d'aléas climatiques ne sont pas les mêmes.

Dans la conduite dite « disjointe » (3 fermes), les deux espèces sont conduites de façon séparée sur des sites différents ayant chacun leur siège. La priorité est donnée à la qualité du lait de vaches pour la fabrication de fromage AOP (Saint-nectaire, Fourme d'Ambert), et à la production de lait de vaches et de viande ovine à l'herbe en altitude. Ces systèmes extensifs à base de prairies permanentes, ont un faible chargement animal (0,8 UGB/ha de SFP). Les éleveurs mobilisent la diversité spécifique pour utiliser au mieux les ressources herbagères d'altitude qui permettent de produire dans les filières de qualité. Ils utilisent les estives qu'ils font pâturer par les brebis et les génisses, comme levier de résilience aux aléas climatiques. Dans la conduite « juxtaposée » (5 fermes), les surfaces allouées aux deux espèces sont séparées mais proches du siège d'exploitation. La priorité est donnée à la productivité (en moyenne 7 000 L de lait par vache et par an et conduite ovine en 3 agnelages en 2 ans), grâce à un assolement où les prairies temporaires productives, les céréales et le maïs prennent une part importante. Le chargement animal est le plus important de l'échantillon (1,1 UGB/ha de SFP) et le recours à l'achat de fourrage est fréquent en cas d'aléas climatiques. La mixité d'espèce est utilisée pour étaler sur l'année la fourniture de produits des deux espèces en quantité. Les ressources fourragères sont gérées de façon intensive et vise à satisfaire les besoins des deux troupeaux : la complémentarité fonctionnelle des deux espèces au pâturage est peu mobilisée. Dans la conduite « ajustée » (6 fermes), les brebis ont leurs propres parcelles de pâturage mais pâturent aussi celles dédiées aux vaches après leur passage afin de nettoyer les refus. La priorité est donnée à la sécurisation économique en misant sur une large gamme de produits (lait et fabrication de fromage, veaux croisés et agneaux légers produits à faibles coûts), en améliorant la valorisation (agriculture biologique et/ou vente directe)

en diversifiant les activités (agrotourisme), et en recherchant l'autonomie alimentaire (assolement comprenant des céréales et des prairies temporaires et chargement animal faible : 0,7 UGB/ha de SFP). Dans ces élevages la gestion des deux troupeaux permet d'élargir la gamme des produits fournis *via* la fabrication de fromage de vache et la diversification des produits ovins. La complémentarité fonctionnelle des espèces au pâturage est mobilisée *via* du pâturage alterné et éventuellement mixte. En cas d'aléas climatiques, les ajustements se font sur le troupeau ovin et couvrent un large champ allant de la modification des ressources fourragères qui leur sont allouées, jusqu'à la réduction de son effectif. Enfin, dans la conduite « imbriquée » (4 fermes), toutes les parcelles peuvent être pâturées par l'une ou l'autre des espèces et le pâturage alterné est majoritairement pratiqué. L'assolement comprend un peu de céréales et de prairies temporaires et le chargement est faible (0,7 UGB/ha de SFP). La priorité est de simplifier l'organisation du travail et de valoriser la qualité des produits à partir de l'utilisation de ressources fourragères locales (efficacité). La gestion de la complémentarité sur les ressources s'étend ici à l'ensemble des ressources disponibles. Dans ces fermes, c'est la faible exigence productive pour les animaux des deux espèces qui permet de résister en cas d'aléas.

Ce travail montre que les bénéfices retirés de l'existence d'une diversité interspécifique dans ces élevages diffèrent selon ses modalités de gestion et notamment selon les équilibres recherchés par les éleveurs entre production, efficacité et résilience.

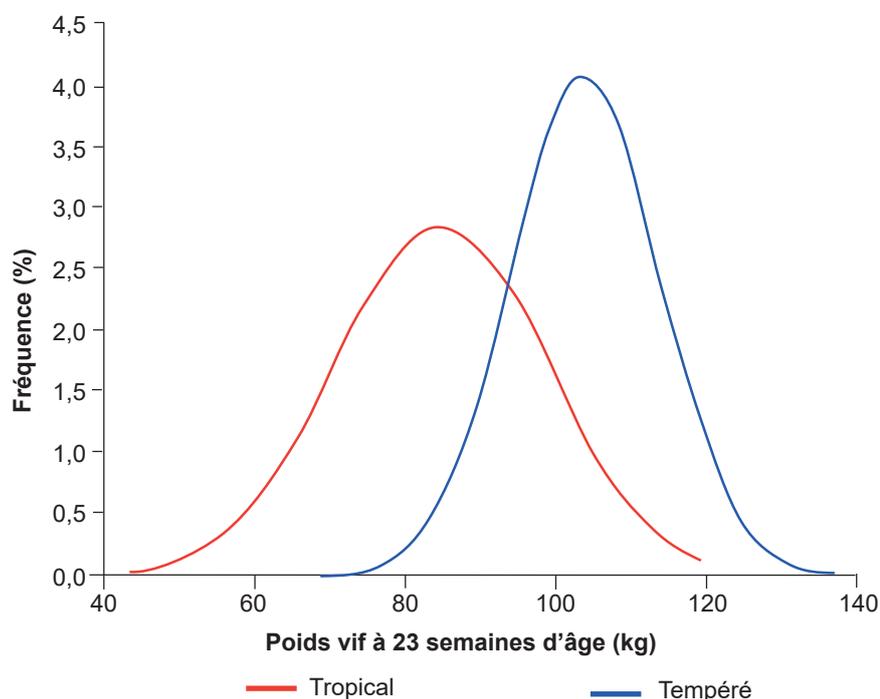
#### ■ 2.4. Étude 4 : Gestion de la diversité phénotypique de la tolérance à la chaleur dans élevages porcins

Dans les élevages commerciaux de porcs, les perturbations environnementales et plus particulièrement climatiques ne permettent pas d'exprimer pleinement le potentiel génétique des animaux ce qui entraîne une perte d'efficacité économique. La recherche d'une plus grande robustesse des

animaux, définie ici comme la capacité pour un animal à exprimer son potentiel génétique dans une large gamme d'environnements, est donc devenue une priorité pour la filière et plus particulièrement pour les éleveurs sélectionneurs et multiplicateurs. Or, la sensibilité à la chaleur des porcs varie généralement d'un animal à l'autre à l'intérieur d'une même lignée avec certains animaux ayant une croissance plus faible et plus variable dans l'environnement tropical par rapport au climat tempéré (figure 6). Caractériser et utiliser cette variabilité pour catégoriser les animaux selon leur robustesse a constitué l'objet de cette étude. Les bénéfices attendus sont l'amélioration de la résilience et de l'efficacité économique des systèmes d'élevage (multiplicateurs ou producteurs) en rendant les performances des animaux moins sensibles aux variations de l'environnement climatique.

L'objet de cette étude a consisté à fournir des outils pour identifier dans une population d'animaux, les individus les moins sensibles à la chaleur (*i.e.* les plus robustes) à l'aide de biomarqueurs obtenus dans des matrices facilement accessibles (sang, salives, fèces). Ainsi Dou *et al.* (2017) montrent qu'il est possible d'identifier avec une bonne précision des animaux robustes ou sensibles à la chaleur à partir d'une simple prise de sang et l'analyse du métabolome plasmatique. En termes de gestion en élevage, sous réserve de validation, ces biomarqueurs pourraient être utilisés par les multiplicateurs pour orienter la diversité phénotypique des reproducteurs en évitant (par exemple) d'exporter des animaux sensibles dans des régions chaudes. La capacité de ces biomarqueurs à prédire un phénotype complexe comme la sensibilité à la chaleur pourrait être également utilisée pour identifier les marqueurs génétiques ayant une influence sur ce caractère d'intérêt et les utiliser dans des programmes de sélection avec la construction d'un index de robustesse des animaux reproducteurs. Dans les élevages commerciaux, cette diversité phénotypique sera à gérer par le choix des reproducteurs adaptés au contexte climatique ciblé.

**Figure 6.** Distribution du poids vif à 23 semaines d'âge dans deux populations de porcs de même lignée (backcross LW<sub>x</sub>CR) et élevés en conditions tempérées (bleu, n = 634 porcs) ou en conditions tropicales (orange, n = 664 porcs ; Adapté de Rosé et al. 2017).



### 3. Analyse transversale des études et perspectives de recherche

L'analyse des quatre études montre que la diversité animale est instruite de manière souvent incomplète au regard des quatre composantes du cadre

conceptuel. Ainsi l'étude 4 se centre essentiellement sur les deux premières composantes du cadre (formes de diversité animale et niveau d'organisation où elle existe) car son enjeu est de caractériser de manière objective la diversité fonctionnelle des porcs (la thermotolérance) aux échelles où elle se construit, à partir de la définition de

prédicteurs destinés à outiller sa gestion en élevage. Cette étude est donc en amont de la caractérisation des modalités de gestion et de l'évaluation des bénéfices en élevage.

Les trois autres études se focalisent principalement sur les deux autres composantes du cadre conceptuel, à savoir la gestion de la diversité animale dans les élevages et les bénéfices qui en sont retirés. En revanche, pour caractériser ces deux composantes, les approches adoptées dans ces trois études sont différentes (tableau 3). Les études 1 et 3 reposent exclusivement sur une approche à dire d'éleveurs alors que l'étude 2 combine l'approche à dire d'éleveurs avec des analyses quantitatives à partir de données de performances issues des élevages. Ainsi, concernant la caractérisation de la diversité animale en élevage, l'étude 1 contribue à identifier les indicateurs réellement utilisés par les éleveurs pour cela dans leur troupeau de vaches laitières, mais sans les objectiver, ni tester leur validité. Dans les études 2 et 3, la caractérisation de la diversité animale est définie *a priori* à partir des complémentarités fonctionnelles théoriques des espèces (étude 3) ou des types de race (étude 2). La validité de cette complémentarité fonctionnelle est testée *a posteriori* à partir de l'évaluation des performances entre type de races au sein des troupeaux multi-races dans

**Tableau 3.** Types d'approche scientifique adoptée dans chacune des quatre études instanciées selon le cadre et contribution de chacune d'elles à trois fronts de recherche identifiés pour analyser de manière intégrée la diversité animale en élevage.

		Étude 1 Bovins lait	Étude 2 Bovins laitiers multi-race	Étude 3 Bovins laitiers et ovins à viande	Étude 4 Porc
Type d'approche scientifique développée	À dire d'éleveurs	X	X	X	
	Données troupeaux, animaux		X		X
Les fronts de recherche	Caractériser la diversité animale et comprendre les mécanismes sous-jacents	**	**	*	***
	Caractériser les modes de gestion de la diversité animale	*	***	***	
	Évaluer les bénéfices	***	***	*	

Le nombre d'étoiles traduit le degré de contribution de chacune des quatre études aux trois fronts de recherche identifiés comme structurant les travaux menés sur la gestion de la diversité animale en élevage : \* marginal ; \*\* important ; \*\*\* très important.

l'étude 2 ou à dire d'éleveurs dans l'étude 3. Enfin, les études 1 et 3 identifient les bénéfices retirés de la gestion de la diversité animale dans les élevages à partir de ce qu'en disent les éleveurs. À l'inverse, l'étude 2 les évalue à partir de la comparaison des performances de troupeaux multi-races à celles des troupeaux mono-races d'une part et de la comparaison des performances des troupeaux multi-races selon leurs modes de gestion d'autre part.

Ce positionnement des études sur les quatre composantes du cadre traduit des contributions partielles de ces études à trois fronts de recherche : caractériser la diversité animale et comprendre les mécanismes biologiques et écologiques sous-jacents ; caractériser les modalités de gestion pertinentes pour tirer parti de la diversité animale en élevage ; évaluer les bénéfices retirés de la gestion de diversité animale en élevage et leurs combinaisons (tableau 3). S'il convient de mieux articuler ces fronts de recherche, l'analyse des quatre études et de la littérature nous amène à formuler ci-après des besoins de recherche pour chacun d'eux.

### ■ 3.1. Mieux caractériser et comprendre la diversité animale pour la gérer en élevage

Deux besoins de recherche ont été identifiés pour caractériser et comprendre la diversité animale en élevage.

Le premier porte sur une meilleure description et compréhension de la diversité fonctionnelle et de ses liens avec les autres formes de diversité (figure 2). En effet, les quatre études montrent qu'en zootechnie, ce qui est en jeu est plus la diversité fonctionnelle supportée par d'autres formes de diversité animale que ces dernières en tant que telles. Ainsi, associer deux espèces au pâturage ne présente d'intérêt que si elles ont des aptitudes au pâturage complémentaires (préférences alimentaires, hauteur d'herbe pâturée...) leur permettant de contribuer différemment au fonctionnement de l'élevage (par exemples, rôle de régulation des dynamiques de végétations dans le temps et

l'espace, rôle de régulation des strongles gastro-intestinaux). Cela conforte l'idée soutenue en écologie, zootechnie et en agronomie (Petchey *et al.*, 2004 ; Tichit *et al.*, 2011 ; Duru *et al.*, 2013 respectivement) selon laquelle la diversité fonctionnelle est plus intéressante à étudier que la richesse spécifique.

Le second besoin de recherche identifié est intimement lié au précédent. Il s'agit d'affiner les variables (par exemple, traits morphologiques, comportementaux... ; performances zootechniques individuelle ; paramètres/marqueurs biologiques) utilisées pour catégoriser les groupes fonctionnels (ou décrire la diversité fonctionnelle) présents en élevage en s'appuyant sur la compréhension des mécanismes biologiques et écologiques sous-jacents. Plusieurs limites ressortent dans les façons de partitionner l'ensemble les animaux présents dans l'élevage en groupes fonctionnels ; elles résultent d'un manque de variables faciles d'accès en amont pour réaliser ce partitionnement. C'est tout l'enjeu de l'étude 1 qui vise à identifier des biomarqueurs facilement dosables dans les matrices telles que le sang et l'urine pour partitionner les porcs selon leur thermotolérance. Dans les études 2 et 3 les individus sont partitionnés sur la base d'une complémentarité fonctionnelle théorique des animaux, hypothèse qui n'est pas toujours testée faute de données de performances disponibles en élevage. L'élevage de précision devrait aider à dépasser cette limite, en assurant le suivi, en routine, de paramètres phénotypiques ou génétiques utiles. De plus, les cadres développés en écologie par Biggs *et al.* (2012) et Viggliozzo (1994) pour décrire la biodiversité pourraient permettre d'affiner le partitionnement et la caractérisation des entités animales dans un élevage. Ces auteurs proposent de distinguer : la variété de ces entités, à savoir leur nature et leur nombre ; leur abondance relative ; leur degré de dissemblance ; et la nature et l'intensité des interactions entre elles. La variété renvoie aux formes de diversité animale dans le cadre conceptuel proposé et est utilisée dans les quatre études analysées. En revanche, l'abondance relative n'est traitée que dans l'étude 2 à travers la part de vaches généralistes et de spé-

cialistes dans les troupeaux multi-races. Le degré de dissemblance renvoie aux variables utilisées pour partitionner les animaux en groupes fonctionnels (par exemple la réponse aux stress thermique des porcs dans l'étude 1, les différences d'aptitudes biologiques des vaches de races généraliste et spécialiste dans l'étude 2). Enfin, la nature et l'intensité des interactions entre entités renvoie à des effets de complémentarité fonctionnelle qui ont été identifiées dans les études analysées. Par exemple la complémentarité au pâturage des brebis allaitantes et vaches laitières dans les troupeaux mixtes ou la complémentarité entre le volume de lait et le taux des matières utiles pour les troupeaux multi-races. D'autres natures d'interactions telles que celles utilisées en écologie (neutralisme, coopération, compétition, apprentissage...) restent à décrire et documenter pour les systèmes d'élevage. Ces cadres nous semblent pertinents pour mieux caractériser la diversité animale, quel que soit le niveau organisationnel considéré : atelier, troupeau, ferme, territoire, pays.

### ■ 3.2. Caractériser les modes de gestion de la diversité animale pertinents pour en tirer parti sur le long terme

Nous formalisons trois enjeux de recherche visant à mieux caractériser les modalités de gestion de la diversité animale pertinents pour en tirer parti sur le long terme.

Le premier enjeu consiste à approfondir les effets des pratiques d'élevage élémentaires ou combinées sur la diversité animale en élevage et inversement en intégrant différents pas de temps et niveaux d'organisation. En effet, il ressort un manque de formalisation des combinaisons de pratiques qui permettent de créer la diversité animale, de l'utiliser/la valoriser et de la renouveler dans le temps. Les trois modes d'élevage des troupeaux multi-races de bovins laitiers constituent une tentative en ce sens. Il s'agit aussi de raisonner les effets des pratiques de gestion de la diversité animale sur le long terme et à différents niveaux d'organisation selon la filière de production

considérée (producteur, multiplicateur, sélectionneur d'une part, échelle élevage et population d'autre part). À titre d'exemple, dans l'étude 4, les biomarqueurs de sensibilité à la chaleur ont été développés pour trier les reproducteurs avant leur vente dans les élevages producteurs. Ainsi, selon l'origine géographique (tempérée ou tropicale) ou la saison, les éleveurs multiplicateurs auront un outil pour valoriser la diversité animale dans leur élevage et fournir des animaux reproducteurs ou de la semence, adaptés aux conditions climatiques des élevages producteurs. Cela conduira à réduire la diversité des robustesses au stress thermique des animaux intra-élevage producteurs mais à maintenir une diversité à l'échelle de la population (quel que soit l'étage considéré). Dans le futur, ces biomarqueurs pourraient être utilisés comme des phénotypes pour la recherche de marqueurs génétiques en lien avec la tolérance à la chaleur. L'exploitation de ces derniers dans des schémas de sélection permettrait de sélectionner des animaux moins sensibles aux variations de conditions climatiques. Ce processus de sélection pourrait conduire à réduire la diversité animale au sein de la population mais aussi potentiellement dans les élevages qui préféreront des porcs robustes quel que soit l'environnement climatique. Enfin, tout comme pour l'intégration culture-élevage (Moraine *et al.*, 2017), l'échelle spatiale (intra-ferme, petits collectifs de fermes, région...) à laquelle penser la gestion de la diversité animale en élevage se pose. L'échelle supra-ferme permettrait de s'affranchir des verrouillages relatifs à la spécialisation des filières, des élevages et des compétences des éleveurs. Mais elle nécessite de dépasser d'autres verrous organisationnels pour reconcevoir, en collectif, des pratiques de configuration, de conduite et de valorisation des animaux à l'échelle des fermes pour valoriser la diversité animale à l'échelle du territoire.

Le deuxième enjeu de recherche porte sur l'analyse des reconfigurations du travail (physique, humain et cognitif) des éleveurs, induites par la gestion de diversité animale en élevage. Dans les études 1 et 3, le travail conditionne certains choix de pratiques de gestion

de la diversité animale. Dans la littérature, la gestion de la diversité dans les systèmes agricoles est souvent mentionnée comme associée à une nécessaire réorganisation du travail (Duru *et al.*, 2015 ; Darnhofer *et al.*, 2010). Cependant, aucune étude n'en apporte la preuve notamment quand il s'agit de gestion de la diversité animale en élevage. Il convient d'étudier le travail dans ses dimensions *i)* organisationnelle : comment est organisée dans l'espace et dans le temps l'adéquation entre tâches à réaliser pour gérer la diversité et la main-d'œuvre disponible ; et *ii)* cognitive : quelles informations les éleveurs mobilisent-ils pour gérer la diversité animale ? comment construisent-ils de nouveaux indicateurs de pilotage et réajustent-ils leurs objectifs en fonction des bénéfices retirés ?

Le dernier enjeu de recherche est d'identifier les freins et leviers à la gestion de la diversité animale en élevage. Dans les études analysées, certains facteurs semblent ressortir comme freinant ou facilitant la gestion de la diversité animale intra-élevage (par exemple, organisation et libéralisation des marchés, organisation de la sélection génétique, normes de l'éleveur...). Cependant, peu d'études portent explicitement sur l'analyse de ces freins et leviers à la gestion de la diversité animale intra-élevage (Magne *et al.*, 2017). L'enjeu est alors de les identifier et catégoriser selon qu'ils renvoient à des facteurs : humains (valeurs, normes, connaissance...), socioéconomiques (organisation des marchés...), technologiques (techniques de phénotypage...), biophysiques (niveau d'exposition à des aléas climatiques, économiques, sanitaires...). Il s'agit aussi de les analyser du point de vue des éleveurs mais aussi de celui d'acteurs de l'environnement sociotechnique de l'élevage.

### ■ 3.3. Évaluer les bénéfices retirés de la gestion de la diversité animale en élevage

L'analyse comparée des quatre études montre qu'un effort de recherche doit porter sur l'évaluation des bénéfices retirés de la gestion de la diversité animale en élevage afin d'élargir la preuve de

son intérêt. En effet, dans l'étude 4, le bénéfice attendu est la résilience des élevages naisseurs-engraisseurs dotés d'animaux plus robustes vis-à-vis d'un stress thermique. Il s'agira de vérifier s'ils sont effectivement plus résilients que lorsqu'ils abritaient des animaux présentant différents degrés de robustesse. De même, dans les études 1 et 3, il s'agit d'objectiver l'évaluation des bénéfices que disent retirer les éleveurs de la gestion de la diversité animale dans leurs élevages. Nous formulons deux enjeux de recherche.

Le premier porte sur l'évaluation des combinaisons de bénéfices retirés de la gestion de la diversité animale en élevage. En effet, les études montrent que ce qui est attendu ou retiré de la gestion de la diversité animale dans les élevages est le plus souvent une combinaison de plusieurs bénéfices (production de biens, résilience, efficacité, autonomie en intrants, qualité de vie au travail) et non un seul. Ces combinaisons renvoient par ailleurs à des compromis que sont prêts à faire les éleveurs. Pour conduire ces évaluations, des questions méthodologiques se posent, de même ordre que celles posées par les évaluations multicritères (Lairez *et al.*, 2017). Cela interroge notamment les dispositifs et méthodes à développer pour respectivement acquérir et traiter des données de performances des troupeaux qui sont de différentes natures (santé, reproduction, production de différents produits, qualité des produits, efficacité et qualité du travail...), et relèvent de niveaux temporels et d'organisation différents.

Le deuxième enjeu de recherche consiste à mieux intégrer la coévolution entre les pratiques d'élevage, la diversité animale et les performances du système dans l'évaluation des bénéfices retirés de la gestion de diversité animale en élevage. La coévolution met en avant deux points clefs : évaluer les bénéfices retirés : *i)* au regard des modalités de gestion de la diversité animale mises en œuvre par les éleveurs ; *ii)* sur des pas de temps moyens à longs pour intégrer les dynamiques des processus biologiques à l'origine de la diversité animale et de leur interaction avec les pratiques d'élevage. Ce dernier point

est particulièrement important lorsqu'on cherche à évaluer la résilience retirée de la gestion de la diversité animale en élevage. Cependant, les dispositifs de recherche ne sont pas toujours adaptés (ou disponibles) pour une évaluation sur le long terme. Les suivis d'élevage et la modélisation/simulation constituent des outils prometteurs pour cela. La modélisation présente en plus l'intérêt de pouvoir dissocier la composante décisionnelle de la composante biologique de l'élevage (Tichit *et al.*, 2011 ; Blanc *et al.*, 2013).

## 4. Implications scientifiques et pratiques

### ■ 4.1. Un cadre intégrateur et support de discussion entre acteurs

Le cadre conceptuel que nous proposons constitue une carte mentale d'éléments à intégrer et questionner pour gérer la diversité animale en élevage. Son instanciation sur des cas d'étude constitue un support de discussion entre experts de différents horizons pour concevoir des actions à mettre en œuvre pour pouvoir la gérer dans les systèmes d'élevage. L'instanciation du cadre sur différents travaux de recherche a permis d'engager des discussions entre chercheurs en zootechnie s'inscrivant dans des enjeux de recherche différents et travaillant sur des systèmes d'élevage différents. Cet espace de discussion qu'offre le cadre d'analyse peut être ouvert à d'autres chercheurs et plus largement à d'autres acteurs de l'élevage.

Il serait utile de le partager et de le mettre en discussion avec des chercheurs en :

*i) zootechnie* mais travaillant sur des espèces ou productions qui n'ont pas été étudiées en tant que telles ici (ex : volailles ou poissons). Cela permettrait de conforter la généralité du cadre proposé et de faire émerger des différences dans la gestion de la diversité entre type de production (ex : monogastriques vs ruminants) ou des types de complémentarités fonctionnelles intra ou interspécifiques non

identifiées dans les études analysées dans cet article ;

*ii) génétique* pour mutualiser et articuler les travaux menés sur la diversité animale aux échelles que sont les systèmes d'élevage et les populations animales (Phocas *et al.*, 2017). En effet, il ressort que ces deux niveaux de création, d'organisation et d'utilisation de la diversité animale sont intimement liés alors qu'ils sont souvent pensés indépendamment ;

*iii) microbiologie et médecine vétérinaire* d'une part et *agronomie* d'autre part pour mieux formaliser les liens/rerelations entre la diversité animale élevée et la biodiversité associée. Cette dernière peut être une diversité microbienne hébergée dans l'animal (*cf.* synthèse de Calenge *et al.*, 2014 sur les liens entre microbiote et phénotype animal), une diversité microbienne hébergée dans le milieu environnant de l'animal (bâtiment, pâture) ou bien encore une diversité végétale cultivée ou non ;

*iv) sciences humaines et sociales*, plus particulièrement en économie pour évaluer les bénéfices retirés de la diversité animale en élevage et en sciences de gestion ou sociologie pour comprendre les déterminants sociotechniques et sociologiques des modes de gestion de la diversité animale en élevage.

Le cadre peut être aussi utilisé entre chercheurs et acteurs de l'élevage (éleveurs, conseillers, organismes de sélection, opérateurs de l'aval de la filière...) pour faire exprimer et faire-valoir les différents points de vue (convergences et divergences) et les intégrer dans les processus de co-conception de modes de gestion de la diversité animale.

### ■ 4.2. Contribution et implications pour former et conseiller en élevage

Cet article n'est pas une revue exhaustive des travaux sur la diversité animale en élevage et n'a pas vocation à définir les « bonnes pratiques de sa gestion en élevage », laquelle doit être pensée en contexte. En revanche, le cadre

conceptuel développé ambitionne d'être générique et donc utilisable dans différents contextes d'élevage et par différents acteurs de l'élevage notamment les enseignants et les conseillers.

Ainsi, le cadre et plus globalement la démarche d'utilisation qui en est faite dans le papier, présente un fort potentiel pédagogique, ceci pour trois raisons. D'abord, le cadre structure le raisonnement de la gestion de la diversité animale en élevage autour de quatre composantes univoques (figure 2). Ensuite, les quatre études instanciées sur ces quatre composantes constituent des cas concrets aidant à l'appropriation du cadre. Enfin, l'analyse transversale de ces études permet d'extraire des régularités et des différences dans les modes de gestion de la diversité animale en élevage. Ces trois éléments facilitent l'apprentissage et la compréhension d'un objet complexe (Barth, 2013), comme l'est la gestion de la diversité animale en élevage. Le cadre peut être utilisé par les enseignants en zootechnie de l'enseignement supérieur ou technique agricole pour former les apprenants à décliner concrètement l'un des concepts clefs de l'agroécologie qu'est la biodiversité dans la gestion des systèmes d'élevage. Former les futurs éleveurs et conseillers en élevage à considérer la diversité animale comme une ressource pour gérer les élevages dans une perspective agroécologique est d'ailleurs clairement explicité comme un enjeu d'apprentissage dans les référentiels de diplômes de l'enseignement technique agricole français. Enfin, le cadre constitue un outil pour faire échanger les apprenants sur les freins et les appuis actuels à la gestion de la diversité animale en élevage. Ce faisant, il offre l'opportunité d'imaginer des leviers d'action techniques, organisationnels, cognitifs, économiques pour dépasser ces freins.

Pour les conseillers en élevage, les quatre études déclinées sur le cadre conceptuel constituent des exemples concrets de gestion de la diversité animale dans les systèmes d'élevage et montrent que cette diversité peut être pilotée et être bénéfique pour les

éleveurs. Cela permet de contrebalancer la vision souvent négative que ces acteurs ont de la diversité animale en élevage, laquelle est plutôt subie et à réduire car non bénéfique/viable dans le contexte économique actuel. À titre d'exemple, dans le conseil, les troupeaux de bovins laitiers multi-races sont souvent considérés comme des troupeaux en transition vers des troupeaux mono-races ou comme une conséquence de l'achat d'un second troupeau alors que pour nombre d'éleveurs, ils présentent des bénéfices et sont à maintenir. Par ailleurs, le cadre conceptuel peut être utilisé par et avec les conseillers pour repenser collectivement les données à recueillir en élevage pour produire des références sur les bénéfices (ou non) à gérer de la diversité animale en élevage. Il serait alors utile que les structures de conseil construisent et suivent dans le long terme des réseaux d'élevages basés sur de la diversité animale et pour cela qu'elles bénéficient de soutiens financiers.

## Conclusion

Dans cet article, nous développons, à partir de travaux de recherche menés à l'INRA, un cadre conceptuel original pour analyser de manière intégrée la diversité animale et ses modalités de gestion à l'échelle des systèmes d'élevage et nous proposons des pistes de recherche pour identifier les conditions dans lesquelles elle est bénéfique sur le long terme. Nous formalisons ainsi ce que recouvre la diversité animale en élevage, concept clef de l'agroécologie mais que les acteurs de l'élevage y compris les chercheurs ont des difficultés à s'emparer. En déclinant le cadre sur quatre cas d'études, nous illustrons les formes que peut prendre la diversité animale, à différents niveaux organisationnel et temporel, la manière dont elle peut être gérée en élevage et les bénéfices qui peuvent en être retirés. Ce cadre conceptuel constitue un outil pour intégrer des connaissances produites ou à produire sur la gestion

de la diversité animale en élevage et un support de discussion pour penser les projets de recherche et de recherche-développement à venir. Il constitue aussi un outil pour former et accompagner les éleveurs à concevoir et développer des modalités de gestion de la diversité animale en élevage qui sont bénéfiques sur le long terme pour eux et dans leurs contextes.

## Remerciements

Nous dédions cet article à Muriel Tichit qui nous a quittés en avril 2019. Directrice de recherche à l'INRA au sein du département Sciences pour l'Action et le Développement, docteure en zootechnie, elle a conduit des travaux pionniers sur le rôle et les services rendus par la biodiversité en agriculture.

Muriel, merci pour l'héritage scientifique que tu nous laisses sur cette thématique et qui a ouvert de grandes perspectives de recherche.

## Références

- Altieri M.A., 1987. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*. Westview Press, Boulder CO, USA, 227p.
- Audiot A., 1995. *Races d'hier pour l'élevage de demain 1995*, 1<sup>re</sup> Édition, INRA Éditions, Paris, France, 229p.
- Biggs R., Schlüter M., Biggs D., Bohensky E.L., BurnSilver S., Cundill G., Dakos V., Daw T.M., Evans L.S., Kotschy K., Leitch A.M., Meek C., Quinlan A., Raudsepp-Hearne C., Robards M.D., Schoon M.L., Schultz L., West P.C., 2012. Toward principles for enhancing the resilience of ecosystem services. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 37, 421-448.
- Blanc F., Ollion E., Puillet L., Delaby L., Ingrand S., Tichit M., Friggens N.C., 2013. Évaluation quantitative de la robustesse des animaux et du troupeau : quels principes retenir ? *Renc. Rech. Rum.*, 20, 265-272.
- Brussaard L., Caron P., Campbell B., Lipper L., Mainka S., Rabbinge R., Babin D., Pulleman M., 2015. Reconciling biodiversity conservation and food security : scientific challenges for a new agriculture. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 2, 34-42.
- Cournut S., Conrard A., Bertrand J., Ingrand S., 2012. Intérêt de la mixité d'espèces pour accroître la flexibilité des élevages : l'exemple des élevages bovin lait + ovin viande en Auvergne. *Renc. Rech. Rum.*, 19, 273-276.
- D'Aleix S., Sauvart D., Boval M., 2014. Mixed grazing systems of sheep and cattle to improve liveweight gain: a quantitative review. *J. Agricult. Sci.*, 152, 655-666.
- Damour G., Navas M.L., Garnier, E., 2018. A revised trait-based framework for agroecosystems including decision rules. *J. Appl. Ecol.*, 55, 12-24.
- Darnhofer I., Bellon S., Dedieu B., Milestad R., 2010. Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. *Agron. Sustain. Dev.*, 30, 545-555.
- Dedieu B., Ingrand S., 2010. Incertitude et adaptation : cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage. In : *Robustesse, rusticité, flexibilité, plasticité, résilience... les nouveaux critères de qualité des animaux et des systèmes d'élevage*. Sauvart D., Perez J.M. (Éds). Dossier, INRA Prod. Anim., 23, 81-90.
- Dedieu B., Faverdin P., Dourmad J.Y., Gibon A., 2008. Système d'élevage, un concept pour raisonner les transformations de l'élevage. In : *Numéro spécial, 20 ans de recherches en productions animales à l'INRA*. Charley B., Herpin P., Perez J.M. (Éds). INRA Prod. Anim. 21, 45-58.
- Delaby L., Faverdin P., Michel G., Disenhaus C., Peyraud J.L., 2009. Effect of different feeding strategies on lactation performance of Holstein and Normande dairy cows. *Animal*, 3, 891-905.
- Dou S., Villa-Vialaneix N., Liaubet L., Billon Y., Giorgi M., Gilbert H., Gourdière J.L., Riquet J., Renaudeau D., 2017. 1H NMR-Based metabolomic profiling method to develop plasma biomarkers for sensitivity to chronic heat stress in growing pigs. *PLoS ONE* 12(11): e0188469.
- Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Thomas M., Tichit M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, 7, 1028-1043.
- Duru M., Therond O., 2015. Livestock system sustainability and resilience in intensive production zones : which form of ecological modernization ? *Reg. Environ. Change*, 15, 1651-1665.
- Duru M., Jouany C., Roux X., Navas M.L., Cruz P., 2013. From a conceptual framework to an operational approach for managing grassland functional diversity to obtain targeted ecosystem services: Case studies from French mountains. *Renew. Agr. Food Syst.*, 29, 239-254.
- Duru M., Therond O., Martin G., Martin-Clouaire R., Magne M.A., Justes E., Journet E.P., Aubertot J.N., Savary S., Bergez J.E., Sarthou J.P., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 35, 1259-1281.
- Gauly M., Bollwein H., Breves G., Brügemann K., Dänicke S., Daş G., Demeler J., Hansen H., Isselstein J., König S., Lohölter M., Martinsohn M., Meyer U., Potthoff M., Sanker C., Schröder B., Wrage N., Meibaum B., von Samson-Himmelstjerna G., Stinshoff H., Wrenzycki C., 2013. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe – a review. *Animal*, 7, 843-859.

- Hoffmann I., 2013. Adaptation to climate change—exploring the potential of locally adapted breeds. *Animal*, 7, 346-362.
- Knaus W., 2009. Dairy cows trapped between performance demands and adaptability. *J. Sci. Food Agric.*, 89, 1107-1114.
- Lairez J., Feschet P., Botreau R., Bockstaller C., Fortun-Lamothe L., Bouvarel I., Aubin J., 2017. L'évaluation multicritère des systèmes d'élevage pour accompagner leurs évolutions : démarches, enjeux et questions soulevées. *INRA Prod. Anim.*, 30, 255-268.
- Mackey D.R., Gordon A.W., McCoy M.A., Verner M., Mayne C.S., 2007. Associations between genetic merit for milk production and animal parameters and the fertility performance of dairy cows. *Animal*, 1, 29-43.
- Magne M.A., Cerf, M., Ingrand, S., 2011. Comment les éleveurs choisissent-ils et utilisent-ils des informations pour conduire leur exploitation ? *Cah. Agric.*, 20, 421-427.
- Magne M.A., Thénard V., Mihout S., 2016. Initial insights on the performances and management of dairy cattle herds combining two breeds with contrasting features. *Animal*, 10, 892-901.
- Magne M.A., Ollion E., Cournot S., Mugnier S., Sabatier R., 2017. Some key research questions about the interest of animal diversity for the agroecological transition of livestock farming systems. In: *First Agroecol. Europe Forum Fostering synergies between movement, Science and Practice*, 25-27 October 2017, Lyon, France, p70.
- Malassis L., 1979. *Economie agro-alimentaire : tome I : économie de la consommation et de la production agroalimentaire*. Édition Cujas, Paris, France, 437p.
- Martin-Rosset W., Trillaud-Geyl C., 2011. Pâturage associé des chevaux et des bovins sur des prairies permanentes : premiers résultats expérimentaux, *Fourrages*, 207, 211-214.
- Mazoyer M.L., 1982. Origines et mécanismes de reproduction des inégalités régionales de développement agricole en Europe. *Écon. Rurale.*, 150, 25-33.
- Meisser M., Frey C.F., Deléglise C., Mosimann E., 2013. Pâturage mixte bovins – ovins en moyenne montagne : trois années d'essai dans le Jura suisse. *Fourrages*, 216, 305-311.
- Moraine M., Duru M., Therond O., 2017. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels. *Renew. Agric. Food Syst.*, 32, 43-56.
- Néori A., Chopin T., Troell M., Buschmann A.H., Kraemer G.P., Halling C., Shpigel M., Yarish C., 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*, 231, 361-391.
- Nozières M.O., 2014. La commercialisation des produits, source de flexibilité pour les éleveurs ? le cas de l'élevage ovin allaitant en Languedoc-Roussillon., Thèse de doctorat. Montpellier SupAgro, France.
- Nozières M.O., Moulin C.H., 2016. L'hétérogénéité biologique des agneaux : Une contrainte à gérer ou un atout à valoriser ? In: *The value chains of Mediterranean sheep and goat products. Organisation of the industry, marketing strategies, feeding and production systems. Options Méditerranéennes. Série A: Séminaires Méditerranéens (115)*. CIHEAM Eds. FAO-CIHEAM Network for Research and Development in Sheep and Goats, Montpellier, France, 633-636.
- Nozières M.O., Moulin C.H., Dedieu B., 2011. The herd, a source of flexibility for livestock farming systems faced with uncertainties? *Animal*, 5, 1442-1457.
- Ollion E., 2015. *Évaluation de la robustesse des vaches laitières : entre aptitudes biologiques des animaux et stratégies de conduite des éleveurs*. Thèse de doctorat. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, France.
- Oltenu P.A., Broom D.M., 2010. The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Anim. Welf.*, 19, 39-49.
- Petchev O.L., Hector A., Gaston K.J., 2004. How do different measures of functional diversity perform? *Ecology*, 85, 847-857.
- Phocas F., Bobe J., Bodin L., Charley B., Dourmad J.Y., Friggens N.C., Hocquette J.F., Le Bail P.Y., Le Bihan-Duval E., Mormède P., Quéré P., Schelcher F., 2014. Des animaux plus robustes : un enjeu majeur pour le développement durable des productions animales nécessitant l'essor du phénotypage fin et à haut débit. In : *Phénotypage des animaux d'élevage*. Phocas F. (Ed). Dossier, *INRA Prod. Anim.*, 2, 181-194.
- Phocas F., Belloc C., Bidanel J., Delaby L., Dourmad J.Y., Dumont B., Ezanno P., Fortun-Lamothe L., Foucras G., Frappat B., González-García E., Hazard D., Larzul C., Lubac S., Mignon-Grasteau S., Moreno-Romeux C., Tixier-Boichard M., Brochard M., 2017. Quels programmes d'amélioration génétique des animaux pour des systèmes d'élevage agro-écologiques ? *INRA Prod. Anim.*, 30, 31-46.
- Reboud X., Malezieux E., 2015. Vers une agroécologie biodiverse : enjeux et principaux concepts mobilisés. *Innov. Agron.*, 43, 1-6.
- Sørensen M.K., Norberg E., Pedersen J., Christensen L.G., 2008. Invited review: crossbreeding in dairy cattle: a Danish perspective. *J. Dairy Sci.*, 91, 4116-4128.
- Tichit M., Puillet L., Sabatier R., Teillard F., 2011. Multicriteria performance and sustainability in livestock farming systems: Functional diversity matters. *Livest. Sci.*, 139, 161-171.
- Tichit M., Puillet L., Martin O., Douhard F., Friggens N.C., Sauvant D., 2012. Livestock farming and uncertainties: exploring resilience with viability tools. In: *63<sup>rd</sup> Ann. Meet. Europ. Assoc. Anim. Prod.*, Bratislava, Slovakia, 338.
- Viggliozzo E., 1994. The Response of Low-Input Agricultural Systems to Environmental Variability. A Theoretical Approach. *Agricult. Syst.*, 44, 1-17.
- Weiner J., 2003. Ecology — the science of agriculture in the 21st century. *J. Agricult. Sci.*, 141, 371-377.

## Résumé

La biodiversité, et en particulier la diversité animale, est présentée comme un levier prometteur pour la transition agroécologique et la résilience des systèmes d'élevage. Or, les travaux traitant de cette question sont peu nombreux, récents et éparés. Cet article vise à développer un cadre conceptuel pour analyser de manière intégrée la diversité animale et ses modalités de gestion à l'échelle des systèmes d'élevage et à proposer des pistes de recherche pour y contribuer. Ce cadre est structuré en quatre composantes : *i*) les formes que recouvre la diversité animale, *ii*) les niveaux organisationnel et temporel auxquels elle se construit et s'exprime, *iii*) ses modes de gestion et *iv*) les bénéfices retirés par l'éleveur. Quatre études de recherche contrastées en termes de diversité animale analysées ont été revisitées au travers du cadre conceptuel proposé. Leur lecture et leur analyse transversale montrent l'intérêt d'articuler les quatre composantes du cadre pour raisonner de manière intégrée la gestion de la diversité animale en élevage afin d'en tirer parti sur le long terme. Elles permettent aussi d'identifier trois fronts de recherche à investiguer conjointement : affiner la caractérisation de la diversité animale en élevage, mieux caractériser ses modes de gestion y compris ses déterminants et approfondir l'évaluation des différents bénéfices retirés de sa gestion. Des pistes d'utilisation du cadre en recherche, en enseignement et dans conseil en élevage sont enfin proposées.

## Abstract

---

### **Managing animal diversity in livestock farming systems: which diversity? Which forms of management practices? For which benefits?**

*Biodiversity, and particularly animal diversity chosen by farmers, is seen as a promising lever for the agroecological transition and the resilience of livestock farming systems (LFSs). However, there are few researches on it, and when available they are recent and scattered. This paper aims at developing a conceptual framework to create an integrated view of the management of animal diversity in LFSs and provide some avenues in this research topic. The framework consists of four interrelated components: the forms of animal diversity, the organizational and temporal levels at which it is built and takes place, the forms of its management in LFSs and the benefits from its management for the farmers. The framework was applied on four research studies contrasted in terms of the forms of animal diversity. The crossed case-study analysis showed that articulating the four components enables to manage in an integrated way the animal diversity in LFSs and take advantage of it in the long term. It revealed three novel research directions aiming at deepening the characterization of animal diversity, the understanding of its management in LFSs and the assessment of the various benefits derived from its management. Some avenues for using the framework in research, teaching and advice in LFS were finally suggested.*

MAGNE M.-A., NOZIÈRES-PETIT M.-O., COURNUT S., OLLION É., PUILLET L., RENAUDEAU D., FORTUN-LAMOTHE L., 2019. Gérer la diversité animale dans les systèmes d'élevage : laquelle, comment et pour quels bénéfices ? In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 263-280.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2496>



# Élevage de précision et bien-être en élevage : la révolution numérique de l'agriculture permettra-t-elle de prendre en compte les besoins des animaux et des éleveurs ?

INRA Prod. Anim.,  
2019, 32 (2), 281-290

Isabelle VEISSIER<sup>1</sup>, Florence KLING-EVEILLARD<sup>2</sup>, Marie-Madeleine MIALON<sup>1</sup>, Mathieu SILBERBERG<sup>1</sup>,  
Alice DE BOYER DES ROCHES<sup>1</sup>, Claudia TERLOUW<sup>1</sup>, Dorothée LEDOUX<sup>1</sup>, Bruno MEUNIER<sup>1</sup>, Nathalie HOSTIOU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, INRA, Vetagro Sup, UMR Herbivores, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

<sup>2</sup>Institut de l'Élevage, 75595, Paris, France

<sup>3</sup>Université Clermont Auvergne, Inra, Irstea, VetAgro Sup, AgroParisTech, UMR Territoires, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

Courriel : [isabelle.veissier@inra.fr](mailto:isabelle.veissier@inra.fr)

■ Au XX<sup>e</sup> siècle, la révolution verte a permis de « rationaliser » l'élevage, en améliorant l'alimentation, le logement, la sélection et la conduite des animaux sur la base des connaissances scientifiques et techniques. Toutefois, le point de vue de l'animal a été oublié, conduisant à des situations extrêmes à l'encontre de leur bien-être. Qu'en sera-t-il avec la révolution numérique ?

## Introduction

Au cours de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, la révolution verte a profondément modifié l'agriculture, dont l'élevage. L'alimentation, le logement et la conduite des animaux ont été profondément remodelés et rationalisés, c'est-à-dire améliorés sur la base des connaissances scientifiques et techniques disponibles. Le phénotype de l'animal a été fortement modifié sous l'effet d'une sélection génétique fortement axée sur les caractères de production (croissance, production laitière...). Toutefois, le point de vue de l'animal a été oublié, conduisant à des situations extrêmes qui ont un impact défavorable sur son comportement et son bien-être : sol complet en caillebotis réduisant le confort de repos, aliments ne permettant pas l'expression de comportements alimentaires propres à

l'espèce (par exemple aliments unique-ment liquides pour les veaux de boucherie), mélanges répétés d'animaux selon leur potentiel de production entraînant une instabilité sociale, des agressions et un stress chronique, etc. Ces élevages, dits « industriels » ont fait l'objet de multiples critiques, par exemple dans le livre « *Animal machines* » de Ruth Harrison en 1964 (van de Weerd et Sandilands, 2008) ou le rapport Brambell en 1965 (Brambell, 1965). Ces critiques ont incité les pouvoirs publics et les instances européennes à formuler des accords entre pays (Conventions et Recommandations du Conseil de l'Europe) et à adopter des directives par l'Union Européenne pour que les animaux soient protégés dans les élevages, au cours de leur transport ou à l'abattage (Veissier *et al.*, 2008).

Nous assistons maintenant à une nouvelle révolution agricole : la révolution

numérique. Des capteurs sont utilisés dans les champs, les bâtiments, sur les animaux pour contrôler de nombreux paramètres afin d'ajuster finement la conduite de l'exploitation (Guarino et Berckmans, 2015). On parle d'Élevage de Précision (EdP) (en anglais « *Precision Livestock Farming* » ou encore « *Smart Farming* ») qui se définit par l'utilisation coordonnée de capteurs (environnementaux ou embarqués sur l'animal) et de techniques de l'information et de communication dans le but d'aider l'éleveur à piloter son élevage, en anticipant certaines situations qui pourraient devenir critiques pour un animal donné ou pour l'ensemble de l'élevage. L'élevage de précision se développe dans les fermes. Ainsi en 2015, 67 % des élevages de plus de 50 vaches laitières du Grand-Ouest français étaient équipés d'au moins un objet connecté (Idele, 2015). Il concerne surtout les grandes fermes.

Les techniques de l'EdP ont été développées essentiellement pour augmenter la rentabilité des élevages et réduire la charge de travail en appliquant des systèmes automatiques pour surveiller – et parfois contrôler – les animaux et leur environnement. Certains systèmes permettent de détecter l'œstrus d'une femelle et de l'inséminer au moment le plus opportun pour maximiser les chances de fécondation, d'autres permettent de détecter une boiterie à un stade précoce ou un déséquilibre de l'état nutritionnel ou encore des paramètres d'ambiance anormaux dans une étable (température ou humidité élevées, forte teneur en gaz carbonique...) et peuvent aider à prendre des mesures correctives rapidement.

Les avantages des outils de l'EdP sont le suivi en continu et sans l'intervention de l'Homme, la détection des anomalies *via* le développement d'algorithmes (comparaison des valeurs anormales par rapport aux valeurs habituelles de l'animal ou en référence à des normes calculées par ailleurs) et l'alerte à l'éleveur en temps réel ou presque afin de l'aider à prendre les décisions quant à la conduite de son élevage. Dans certains cas, ces outils sont reliés à des systèmes mécaniques qu'ils vont activer pour corriger l'anomalie : mise en route de ventilateurs si la température dans un bâtiment est excessive par exemple.

La dématérialisation du suivi de l'élevage par les techniques de l'EdP peut être considérée par le citoyen comme une industrialisation excessive des productions animales, laissant peu de place à l'animal en tant qu'être sensible, en interaction avec son environnement, y compris l'éleveur. Toutefois, les données générées par des capteurs de l'EdP pourraient fournir des informations cruciales pour surveiller et améliorer le bien-être des animaux. Notamment, les troubles de santé sont un enjeu majeur pour le bien-être animal. Les détecter précocement et suivre leur évolution font partie de la gestion du bien-être en élevage, en permettant d'adapter le traitement et ainsi limiter les souffrances.

Néanmoins, le bien-être d'un animal ne se limite pas à sa bonne santé physique. Il est souvent vérifié en s'assurant que

cinq libertés sont couvertes (Farm Animal Welfare Council, 1992) :

*i)* ne pas souffrir de la faim ou de la soif – grâce à un accès à une nourriture adéquate et à de l'eau fraîche assurant la bonne santé et la vigueur des animaux ;

*ii)* ne pas souffrir d'inconfort – grâce à un environnement approprié comportant des abris et une aire de repos confortable ;

*iii)* ne pas souffrir de douleurs, de blessures ou de maladies – grâce à la prévention ou au diagnostic rapide et au traitement en cas de problème ;

*iv)* pouvoir exprimer les comportements naturels propres à l'espèce – grâce à un espace suffisant, un environnement approprié aux besoins des animaux, et le contact d'autres congénères ;

*v)* ne pas éprouver de peur ou de détresse – grâce à des conditions d'élevage et des pratiques n'induisant pas de souffrances psychologiques.

En matière de bien-être, au-delà de l'état physique de l'animal, son état mental est primordial, c'est-à-dire ce qu'il ressent (Duncan, 2002). Dans cet article nous discuterons comment l'élevage de précision peut aider à respecter ces libertés, au-delà de la simple détection des problèmes de santé et les conséquences sur le travail de l'éleveur notamment dans sa relation à l'animal.

## 1. L'élevage de précision pour mieux prédire la santé et le bien-être des animaux grâce aux données de comportement

Plusieurs systèmes d'EdP ([tableau 1](#)) sont proposés afin de détecter précocement les troubles de santé, ceux-ci ayant des répercussions économiques importantes (Steensels *et al.*, 2016 ; Steensels *et al.*, 2017).

Chez les bovins, les dispositifs d'élevage de précision – initialement

développés pour l'aide à la détection des chaleurs (Saint-Dizier et Chastant-Maillard, 2018), sont basés sur la détection des activités des animaux : c'est parce qu'un animal est détecté hyperactif que l'on détectera un œstrus ou au contraire parce qu'il est hypoactif que l'on suspectera un problème de santé. Grâce à des accéléromètres, il est possible de savoir si un animal marche, s'il est debout ou couché (bovins : Benaissa *et al.*, 2017 ; ovins : Barwick *et al.*, 2018 ; volailles : Casey-Trott et Widowski, 2018). L'activité d'un animal peut également être déduite de sa position grâce aux systèmes de localisation en temps réel : un animal à côté de l'auge est considéré comme en train de manger, il est considéré au repos s'il est dans l'aire de couchage, et s'il est en dehors de l'aire de repos il peut être vu en déplacement ou debout immobile (par exemple avec le système CowView commercialisé par la société GEA). En particulier, le comportement alimentaire est détecté par les outils de l'EdP. Chez les ruminants il est possible de distinguer l'activité d'ingestion et de rumination (Giovanetti *et al.*, 2016 ; Andriamandroso *et al.*, 2017). Or, les animaux malades passent généralement, moins de temps à manger (et mangent moins) que les animaux sains, et ils passent également plus de temps au repos (Borderas *et al.*, 2009 ; De Boyer Des Roches *et al.*, 2017). Chez les ruminants, la rumination est très sensible aux troubles de santé. Ainsi le temps passé à ruminer diminue chez les bovins malades (Stangaferro *et al.*, 2016a ; Stangaferro *et al.*, 2016b ; Stangaferro *et al.*, 2016c ; Steensels *et al.*, 2017). Ce sont ces variations de comportement qui sont généralement utilisées dans les outils d'élevage de précision pour alerter l'éleveur en cas de problème (ou avertir d'un problème).

D'autres modifications comportementales, potentiellement détectables avec les capteurs de l'EdP, peuvent être observées en cas de maladie. Ainsi un animal malade a tendance à s'isoler de ses congénères, ce qui est interprété comme un moyen de limiter la propagation des maladies. Les activités de jeux, particulièrement présentes chez les jeunes animaux (jeux de contact avec des objets, jeux locomoteurs avec l'animal qui sautille...) et le toilettage

**Tableau 1.** Dispositifs de l'élevage de précision et utilisation possible pour le bien-être animal.

Capteurs	Espèce	Informations mesurées	Références	Perspectives pour le bien-être animal
Géolocalisation en temps réel	BV	Temps passé à réaliser un comportement	Meunier <i>et al.</i> , 2018	Pouvoir exprimer les comportements propre à l'espèce
		Proximité entre congénères : relations préférentielles	Rocha <i>et al.</i> , 2019	
Accéléromètre	BV	Niveau d'activité	Benaissa <i>et al.</i> , 2017	
		Posture debout/couché		
	OV	Niveau d'activité	Barwick <i>et al.</i> , 2018	
		Posture debout/couché		
	Vol	Niveau d'activité	Casey-Trott et Widowski, 2018	
		Posture debout/couché		
Ru	Ingestion et rumination	Giovanetti <i>et al.</i> , 2016	Ne pas souffrir de la faim ou de la soif	
		Andriamandroso <i>et al.</i> , 2017		
Microphone	BV	Ingestion et rumination	De Boyer des Roches <i>et al.</i> , 2017	Ne pas souffrir de douleurs, de blessures ou de maladies
		Niveau d'activité	Stangaferro <i>et al.</i> , 2016a, b, c.	
		Rumination		
Géolocalisation en temps réel	BV	Modification du rythme journalier d'activité	Veissier <i>et al.</i> , 2017	
pH mètre intra-ruminal		Niveau de pH du rumen	Villot <i>et al.</i> , 2017	
Accéléromètres	BV	Activité	Steensels <i>et al.</i> , 2016	
Microphone		Rumination		
Compteur à lait		Niveau de production laitière		
Puce de radio-identification		Visite au robot de traite		
Balance corporelle		Variation du poids vif		
Caméra vidéo	OV	Expression faciale	Lu <i>et al.</i> , 2017	Ne pas souffrir de peur ou de détresse
	PC	Interactions agonistiques	Lee <i>et al.</i> , 2016	
Microphone		Vocalisation	Cordeiro <i>et al.</i> , 2018	

BV : bovin ; OV : Ovin ; Vol : volaille ; Ru : Ruminant ; PC : Porcin.

(animal se léchant) sont souvent diminués lors d'épisodes de douleur ou de fièvre (Mintline *et al.*, 2013 ; Mandel *et al.*, 2017 ; Mandel *et al.*, 2018). Les

changements dans le rythme journalier d'activité semblent également des signes précoces de maladies (Veissier *et al.*, 1989, 2017).

Les animaux peuvent aussi devenir plus « irritables » lors de certaines maladies. Ainsi, l'acidose ruminale subaiguë, maladie nutritionnelle le plus souvent

présente chez les ruminants à fort potentiel de production, due à une diminution du pH du contenu ruminal, est difficile à détecter du fait de l'absence de signe clinique spécifique. Or elle se traduit par des modifications du comportement des animaux : diminution du temps passé à manger ou à ruminer et aussi hyper-réactivité face à des stimuli extérieurs et agressivité entre congénères (Commun *et al.*, 2012). Des outils d'élevage de précision permettent d'envisager l'utilisation conjointe de bolus intra-ruminaux pour un suivi en temps réel du pH du rumen (Villot *et al.*, 2017) et d'autres capteurs traçant l'activité des animaux afin d'améliorer la détection précoce de l'acidose (Silberberg *et al.*, 2017). Ces changements reflètent le malaise ressenti par l'animal en raison de la maladie qui affecte les motivations d'un comportement (Aubert, 1999).

Plus généralement, les changements dans le comportement peuvent indiquer l'état mental d'un animal. À l'instar d'une maladie, le stress influence le comportement. Des animaux stressés chroniquement peuvent devenir hyper réactifs (Boissy *et al.*, 2001) ou au contraire apathiques (Broom, 1987), c'est-à-dire réagir de manière exagérée ou au contraire ne pas réagir à un événement extérieur selon l'évaluation qu'ils font de leur possibilité d'action sur cet événement. C'est pourquoi, au-delà de la détection de la maladie, l'élevage de précision pourrait servir à évaluer le niveau de mal-être induit par cette maladie, à condition que les modifications subtiles des comportements soient intégrées dans les systèmes de décision. Des travaux sont conduits pour enrichir les outils actuels de l'EdP afin de prendre en compte le rythme d'activité, le toilettage ou encore la réaction des animaux à l'approche d'un observateur (Johansson *et al.*, 2015 ; Veissier *et al.*, 2017 ; Meunier *et al.*, 2018).

En complément aux altérations comportementales connues comme étant associées aux maladies des animaux (comportement alimentaire, activité physique), l'EdP pourrait alors donner accès à de nouveaux indicateurs difficilement observables par les éleveurs (activités de jeu, expressions faciales, rythmes d'activité...). Ceux-ci permettraient une détection précoce des

problèmes et également une évaluation des expériences positives des animaux. En outre, les mesures de ces indicateurs précoces de bonne santé permettent une surveillance des animaux sans les perturber par un examen rapproché.

Certains comportements délétères comme le picage des plumes chez les volailles et les morsures de queues chez les cochons peuvent avoir des conséquences désastreuses : blessures ouvertes voire cannibalisme. Ces comportements ont une origine multifactorielle : taille des groupes et densité élevées, sols en caillebotis, environnements pauvres, etc. Le picage chez les poules pourrait être détecté par analyse d'image, en identifiant les pertes de plumes ou le sang de blessures, de même chez les porcs pour les morsures de la queue. Ce type de technique a déjà été mis au point pour détecter les lésions des pattes chez les volailles au moment de l'abattage (commercialisé par la société Meyn). Des outils similaires pourraient être développés en élevage et limiter ainsi ces comportements délétères.

Ces recherches doivent être approfondies afin d'utiliser au mieux les outils d'élevage de précision actuels pour assurer le bien-être des animaux, voire développer des outils spécifiques pour la détection des blessures en ferme par exemple. Dans les systèmes d'élevage plus extensifs en plein-air type pastoralisme avec un grand nombre d'animaux sur de grandes surfaces et peu de main-d'œuvre, les outils de l'EdP devraient apporter une aide précieuse aux éleveurs pour notamment retrouver un animal isolé et potentiellement malade. Cependant des questions pratiques telle que l'acheminement et le stockage des données, l'autonomie en énergie des dispositifs embarqués et le coût des capteurs sont encore particulièrement critiques (Bocquier *et al.*, 2014).

## 2. L'élevage de précision pour suivre l'expression du répertoire comportemental des animaux

À l'heure actuelle, le bien-être des animaux est souvent évalué partiellement

en vérifiant que les animaux ne sont pas malades, blessés ou stressés. Or le bien-être implique non seulement l'absence de souffrance, mais aussi la possibilité d'avoir des expériences positives (Wathes *et al.*, 2013). Outre la satisfaction de leurs besoins de base (nourriture, aire de repos, confort thermique...) les animaux sont motivés pour exprimer une large gamme de comportements : exploration de l'environnement, toilettage, manipulation d'objets (Martin et Bateson, 1985), contacts positifs entre congénères (flairage, jeu de tête...) (Bouissou *et al.*, 2001). Les contacts positifs sont à l'origine de relations préférentielles durables avec leurs congénères familiers qui apportent un « soutien social », par la diminution du stress dans des situations perturbantes (Mounier *et al.*, 2006 ; Raussi *et al.*, 2010 ; Rault, 2012).

Les outils de l'EdP (tableau 1) pourraient fournir des informations sur le fonctionnement des groupes sociaux, les animaux de production appartenant à des espèces grégaires. En particulier dans les espèces qui à l'état naturel vivent en grands groupes (comme les bovins, les ovins et les caprins), les relations entre les animaux sont régies par des relations de dominance-subordination et par des liens préférentiels. Dans des groupes instables, les relations de dominance-subordination sont souvent prépondérantes, conduisant à une augmentation de la fréquence des agressions entre les animaux. Ces agressions peuvent être détectées grâce aux systèmes de l'EdP. Par exemple, chez les porcs, les contacts tête-à-tête, les coups et les poursuites peuvent être détectés par des analyses d'image (Lee *et al.*, 2016). Les relations préférentielles entre des animaux se traduisent par des individus qui restent à proximité les uns des autres, échangent des interactions positives et synchronisent leurs activités (Veissier *et al.*, 1990). L'équilibre entre les interactions agressives vs positives, la proximité et la synchronisation des activités informent sur la cohésion du groupe animal. À l'heure actuelle, ces éléments sont difficilement accessibles aux éleveurs car ils demandent des observations lourdes ; seuls des cas extrêmes d'agressivité sont facilement détectables lors d'ob-

servations de routine des troupeaux. Une détection par des outils de l'EdP semble possible en se basant sur des analyses d'image pour la détection des interactions, sur la localisation des animaux pour évaluer leur proximité, ou encore sur leur activité pour évaluer la synchronisation (voir exemples précédemment). Cela nécessite de développer des algorithmes spécifiques pour les intégrer aux outils existants ou en développer de nouveaux. Ainsi, dans un article récent (Rocha *et al.*, 2019), nous montrons qu'un système de positionnement peut servir à détecter les relations préférentielles et les changements dans la cohésion de groupe, lorsque les animaux sont mélangés.

De même, selon l'espèce considérée, l'utilisation de brosses pour le toilettage, la manipulation d'objets, l'exploration de l'environnement, l'accès au pâturage ou à un parcours pourraient être suivis par des outils de l'EdP. On peut ainsi imaginer de détecter le passage des animaux à proximité de ces éléments et de les identifier grâce à une identification électronique.

### 3. Les outils de l'élevage de précision pour décrire les émotions des animaux

Les attentes sociétales en matière de bien-être des animaux résultent de la reconnaissance de la sensibilité de ceux-ci (Anonyme, 1997). Cela signifie qu'ils sont capables de ressentir des émotions : peur, colère, frustration, joie, contentement, etc. (Veissier *et al.*, 2009). Les émotions peuvent être détectées au travers des expressions faciales chez l'Homme. Il en est de même chez les animaux bien que ce domaine ait été peu exploré jusqu'à présent (Descovich *et al.*, 2017). Ainsi les postures d'oreilles des moutons peuvent renseigner sur leur état de surprise, peur ou colère (Boissy *et al.*, 2011). La douleur induit des changements caractéristiques dans les postures et l'expression faciale des animaux. Par exemple, les chevaux adoptent des postures particulières lorsqu'ils souffrent : encolure horizontale, œil fermé, tensions musculaires des joues, au-dessus des yeux et des nasaux,

tressaillements épidermiques (Costa *et al.*, 2014 ; Hausberger *et al.*, 2016). À l'heure actuelle cette connaissance est peu utilisée en élevage, sauf lorsque l'éleveur détecte lui-même ce genre d'expression grâce à son expérience des animaux et une connaissance précise de ses propres animaux. Cependant, certaines espèces de type proie peuvent minimiser ou masquer des signes de douleur en présence d'un prédateur ou de l'Homme (Ashley *et al.*, 2005), ce qui peut rendre difficile la détection par observation en direct. Récemment, des chercheurs ont développé des algorithmes d'analyse d'images afin de détecter la douleur au travers des expressions faciales de moutons (Lu *et al.*, 2017, [tableau 1](#)). Pour le moment, les émotions positives sont peu abordées. Par ailleurs, les analyses d'image ne semblent pas le seul moyen d'exploration ; les sons émis par les animaux peuvent aussi nous renseigner sur leur état. Ainsi des rats émettent des ultrasons spécifiques lorsqu'on les chatouille, signant vraisemblablement un état de plaisir (Panksepp et Burgdorf, 2003), les brebis émettent des bêlements bas au contact de leurs agneaux, et à l'inverse des cris de détresse sont facilement reconnaissables dans bon nombre d'espèces telles que le porc (Cordeiro *et al.*, 2018).

L'étude des émotions des animaux et les nouveaux moyens d'analyse (image, son...) ouvrent des pistes pour détecter et mieux gérer la douleur et les autres émotions en élevage. Les dispositifs actuels d'EdP commercialisés (en particulier ceux utilisant des accéléromètres ou le positionnement des animaux, [tableau 1](#)) devraient être affinés par le développement d'algorithmes spécifiques pour extraire des informations propres au bien-être animal. D'autres dispositifs basés sur la reconnaissance d'image devraient voir le jour. Pour cela des collaborations sont nécessaires entre ingénieurs développeurs d'outils et d'applications et biologistes – en particulier des éthologues – pour développer des algorithmes appropriés afin de détecter les anomalies vs des signes positifs de bien-être animal, calculer des seuils d'alerte ou des indicateurs (résumant la situation sur une période de temps donnée) ou encore produire une évaluation globale.

### 4. L'élevage de précision et les relations Homme-animal

La relation Homme-animal se construit quotidiennement dans les interactions entre l'éleveur et ses animaux. C'est un enjeu important pour la sécurité de l'éleveur, sa facilité à travailler avec les animaux, et également pour sa motivation pour le métier et le plaisir à travailler au contact des animaux. En outre, la relation Homme-animal contribue au bien-être de l'animal (Boivin *et al.*, 2003). Si cette relation est bonne, elle se traduit par des comportements de confiance et d'approche vis-à-vis de l'Homme et si elle est dégradée, par des comportements de peur et d'évitement.

La relation Homme-animal pourrait être mise à mal par les outils de l'EdP qui modifient l'approche de l'animal. En effet, en fournissant des informations en continu à l'éleveur sur ses animaux, les capteurs risquent de restreindre le contact physique et donc les liens aux animaux. Ceci est encore plus vrai si les capteurs sont associés à des automates remplaçant le travail quotidien de l'éleveur, robot de traite ou distributeur d'aliment, qui permettraient jusqu'alors de renforcer le lien Homme-animal. En effet, les occasions d'observer directement les animaux, leur comportement, leur santé et leur bien-être peuvent se réduire (Cornou, 2009). Or ces occasions permettent à l'éleveur et aux animaux de mieux se connaître. Une peur chez l'animal face à l'Homme pourrait alors plus facilement s'installer, d'autant plus chez les animaux d'un tempérament peureux (Boivin *et al.*, 2012).

Quand les éleveurs parlent d'observation, ils évoquent, soit le temps passé parmi les animaux, soit la consultation des informations sur l'ordinateur. La distinction entre ces deux types d'observation n'est pas toujours faite, ainsi « observer les animaux » peut devenir « regarder l'écran » (Kling-Eveillard et Hostiou, 2017). Une étude, conduite en Bretagne auprès de 25 éleveurs ayant des vaches laitières, des truies gestantes ou des poulets de chair a montré que les moments d'observation des animaux ont changé car seuls quelques éleveurs

(5 sur 25, dont 4 femmes) disent regarder d'abord les animaux le matin en démarrant leur activité, alors que tous les autres commencent par regarder l'ordinateur et les alertes du jour (Kling-Eveillard et Hostiou, 2017). Cependant, tous les éleveurs ne délèguent pas les décisions aux outils. Nombreux sont ceux qui associent données fournies par le capteur et observations directes : par exemple, dans l'étude citée plus haut, des aviculteurs pèsent un échantillon de poulets de chair manuellement en complément du peson automatique et la plupart des éleveurs laitiers vérifient visuellement que la vache désignée par le détecteur comme étant en chaleurs l'est bien avant d'appeler l'inséminateur. Une autre étude a montré que seuls 15 % des éleveurs laitiers délèguent entièrement la décision d'inséminer au détecteur (Disenhaus *et al.*, 2016). Des situations nouvelles et favorables à des interactions positives peuvent se mettre en place et fournir à l'éleveur des occasions d'observer les animaux et de compléter les informations collectées par les capteurs. Certains éleveurs réinvestissent le temps libéré par l'automatisation dans l'observation et la présence auprès des animaux, le fait de côtoyer leurs animaux contribuant à améliorer la relation Homme-animal.

Les relations entre les éleveurs et leurs animaux sont diverses entre les exploitations. Des profils d'éleveurs caractérisés par un rapport au métier et à l'animal différents ont été identifiés et s'avèrent associés à des pratiques et des représentations de l'élevage de précision différentes (Kling-Eveillard et Hostiou, 2017). Ainsi, certains éleveurs apprécient particulièrement la modernité du métier apportée par l'élevage de précision et disent également consulter d'abord l'ordinateur le matin, tandis que d'autres éleveurs sont moins intéressés par ces aspects mais expriment leur satisfaction de mieux connaître leurs animaux individuellement depuis l'introduction de l'EdP. Le recours à des capteurs facilite le travail des éleveurs avec ses animaux. Dans l'enquête citée précédemment, la majorité des éleveurs laitiers et porcins qui ont accès à des informations individuelles disent mieux connaître les animaux « à problèmes », signalés par une alerte. Mais

ces connaissances supplémentaires ne concernent pas tous les animaux, et les éleveurs ne considèrent pas mieux connaître les animaux qui n'ont pas de problèmes, certains les qualifient d'« invisibles » puisqu'ils ne sont la cause d'aucune alerte.

Ce recours aux capteurs peut aussi se traduire par une diminution de l'usage de l'« œil de l'éleveur » et une confiance « aveugle » dans les données produites par l'outil pour la prise de décision. L'élevage de Précision entraîne un changement de nature du métier d'éleveur avec l'acquisition de nouvelles compétences mais parfois également la perte de compétences « traditionnelles » et peut se traduire pour certains éleveurs par une démotivation vis-à-vis du métier et de la relation aux animaux (Cornou, 2009).

## 5. Le cas particulier de l'abattage

Au moment de l'abattage, l'étourdissement doit induire un état d'inconscience qui dure jusqu'à ce que la mort soit provoquée par la saignée. La conscience peut être décrite comme « un état d'esprit dans lequel il existe une connaissance de sa propre existence et de l'existence de son environnement » (Damasio, 2010). Les mammifères et les oiseaux sont capables d'expériences conscientes (Le Neindre *et al.*, 2018). Le bon fonctionnement du cortex est nécessaire pour connaître, comprendre et donner un sens à ce qui est perçu, pour avoir une perception consciente de l'environnement et de soi (Crick et Koch, 1995 ; Laureys, 2005). Lorsqu'il est réalisé correctement, l'étourdissement réduit fortement l'activité électrique du cortex voire l'annule (Newhook et Blackmore, 1982 ; Raj *et al.*, 2006). Par conséquent, le cortex ne traite plus les informations venant du corps ou de l'environnement et l'animal est inconscient.

Différentes techniques permettent d'étourdir les animaux (Terlouw *et al.*, 2016a) : le pistolet à tige perforante utilisé pour toutes les espèces, l'électronarcose ou l'étourdissement électrique utilisé principalement chez

les ovins, les volailles et les porcs et l'étourdissement au gaz utilisé pour les porcs et les volailles. À la différence de la tige perforante et l'électronarcose, l'étourdissement au gaz n'induit pas l'inconscience de manière instantanée.

Il est essentiel d'utiliser plusieurs indicateurs pour vérifier la perte de conscience avant la saignée. À la suite de l'étourdissement par tige perforante ou par gaz de l'animal, la perte de la posture debout associée à l'absence de tentatives de redressement, l'absence de mouvements oculaires et de réflexe cornéen (fermeture de la paupière lorsqu'on effleure la cornée) ainsi que de la respiration rythmique indiquent un dysfonctionnement généralisé du tronc cérébral et par conséquent, une perte de conscience (Terlouw *et al.*, 2016b ; [tableau 2](#)). En revanche, immédiatement après l'électronarcose, à cause des phases de mouvements toniques et cloniques qu'elle induit, certains signes sont difficiles à évaluer. Dans ce cas, la perte de la posture debout associée à l'absence de tentatives de redressement et la présence d'un état tonique durant au moins 10 secondes indiquent qu'une quantité suffisante d'électricité a traversé le cerveau et que l'animal est inconscient, bien que la conscience puisse revenir si l'animal n'est pas saigné rapidement. Au contraire, la posture debout, des tentatives de redressement, des réflexes oculaires, la respiration ou la vocalisation suggèrent un état de conscience ou de retour de conscience quelle que soit la technique utilisée ([tableau 2](#) ; Terlouw *et al.*, 2016b). Des pédalages sont souvent observés après l'étourdissement. Leur simple présence n'est pas indicatrice d'un mauvais étourdissement car il s'agit de mouvements réflexes (Terlouw *et al.*, 2015). En revanche, des mouvements similaires volontaires impliquent le cortex cérébral et sont donc indicateurs de conscience, mais comme les deux types de mouvements se ressemblent, il est difficile de les discriminer en routine (Terlouw *et al.*, 2016b).

Les outils de l'EdP pourraient être utilisés en complément du contrôle humain pour évaluer le niveau de conscience. Un tel système, basé sur l'induction d'un possible réflexe cornéen au moyen

**Tableau 2.** Indicateurs pour évaluer l'état de conscience ou d'inconscience après l'application de différentes techniques d'étourdissement.

Indicateur	Interprétation	Technique	
Absence de posture debout	Inconscience	Tige perforante	
		Electronarcose	
		Gaz	
Absence de réflexes oculaires		Tige perforante	
		Gaz	
Absence de respiration		Tige perforante	
		Gaz	
Présence de réflexes oculaires		Risque de conscience ou de retour de conscience	Tige perforante
			Electronarcose
	Gaz		
Présence de respiration	Tige perforante		
	Electronarcose		
	Gaz		
Posture debout	Conscience	Tige perforante	
		Electronarcose	
		Gaz	
Tentatives coordonnées et orientées de redressement		Tige perforante	
		Electronarcose	
		Gaz	
Vocalisations		Tige perforante	
		Electronarcose	
		Gaz	

de jets d'air et l'analyse d'images pour vérifier l'absence de clignement de l'œil est en cours de développement<sup>1</sup>. Cet outil assistera les opérateurs dans la

<sup>1</sup> <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/sante-animale/article/cet-automatique-contrôle-l-etourdissement-des-animaux-en-abattoir-1184-139390.html>

décision de ré-étourdir immédiatement un animal lorsqu'il y a un doute sur son état d'inconscience.

Des guides de bonnes pratiques en matière de protection des animaux formalisent les procédés à suivre lors de l'abattage (collaborations Instituts techniques, Inra, Ministère de l'agriculture).

D'autre part, des guides de contrôles de l'étourdissement définissent des seuils au-delà duquel on doit conclure à une dérive du procédé, qui sans ce suivi ne serait détectée qu'au moment d'un échec d'étourdissement. Les instruments et techniques utilisés pour l'étourdissement sont alors inspectés et améliorés pour prévenir ces échecs. Des outils informatiques en ligne permettraient d'affiner cette démarche.

## Conclusion et perspectives

Les techniques d'EdP offrent un large éventail de possibilités d'utiliser les signes comportementaux des animaux pour suivre leur état de bien-être, qu'il s'agisse de leur santé, des relations sociales, de la relation Homme-animal ou plus généralement de stress liés à des événements ou un environnement contraignant. De plus, l'enregistrement en continu des troubles de bien-être (de santé ou autres) ou des étourdissements défectueux avant abattage permet d'obtenir une vue d'ensemble de leur fréquence et gravité pour une ferme ou un abattoir, afin que des plans de correction soient décidés et mis en œuvre pour améliorer la situation dans le futur. En parallèle, ces outils contribueraient au bien-être de l'éleveur dans sa satisfaction d'avoir des animaux qui vont bien (détection précoce des maladies, expression de comportement propre à l'espèce...), dans la réalisation de son travail d'éleveur (sécurité dans la manipulation des animaux, diminution de certaines contraintes de son métier, relation positive avec ses animaux...).

Toutefois, utiliser des outils d'EdP n'implique pas que le bien-être des animaux et des éleveurs seront nécessairement assurés :

i) le bien-être des animaux est un concept holistique : tous les aspects doivent être couverts et on ne peut se contenter d'un outil contrôlant un seul aspect (par exemple la bonne alimentation ou la bonne santé) pour prétendre assurer le bien-être d'un animal dans sa globalité ;

ii) l'EdP peut aider les éleveurs à détecter des anomalies et identifier les environnements inadéquats mais les solutions restent à mettre en place pour remédier aux problèmes ;

iii) l'EdP doit être intégré aux procédures de gestion de l'élevage. Il implique une nouvelle façon de travailler et d'organiser le temps de travail libéré qui ne doit pas conduire à un manque d'intérêt envers les animaux. Au contraire, l'animal devra rester au centre des préoccupations.

Il est à prévoir que ces outils se diversifient et se démocratisent. Reste à savoir s'il s'agira d'une instrumentation des animaux pour toujours plus de profit, au risque qu'ils deviennent des machines comme le dénonçait Ruth Harrison (van de Weerd et Sandilands, 2008), ou au contraire d'une individualisation du soin de l'animal : ration alimentaire adaptée à l'individu, confort individualisé, suivi individuel de la santé, suivi de leurs émotions et de leur état de conscience. En allant plus

loin, on pourrait imaginer une réduction drastique des contacts Homme-animaux, ces derniers n'ayant plus besoin de l'éleveur pour la plupart des tâches quotidiennes et pouvant exprimer plus librement leur répertoire comportemental.

Espérons donc que les animaux ne seront pas une nouvelle fois oubliés mais que leur bien-être et celui de leurs éleveurs seront une préoccupation centrale dans cette nouvelle révolution de l'agriculture.

## Références

- Andriamandroso A.L.H., Lebeau F., Beckers Y., Froidmont E., Dufresne I., Heinesch B., Dumortier P., Blanchy G., Blaise Y., Bindelle J., 2017. Development of an open-source algorithm based on inertial measurement units (IMU) of a smartphone to detect cattle grass intake and ruminating behaviors. *Comput. Electron. Agricult.*, 139, 126-137.
- Anonyme, 1997. Traité d'Amsterdam modifiant le traité sur l'Union européenne, les traités instituant les communautés européennes et certains actes connexes. *Journal officiel n° C 340 du 10 Novembre 1997*, <http://europa.eu.int/eur-lex/fr/treaties/dat/amsterdam.html#0001010001>
- Ashley F.H., Waterman-Pearson A.E., Whay H.R., 2005. Behavioural assessment of pain in horses and donkeys: application to clinical practice and future studies. *Equine Vet. J.*, 37, 565-575.
- Barwick J., Lamb D.W., Dobos R., Welch M., Trotter M., 2018. Categorising sheep activity using a tri-axial accelerometer. *Comput. Electron. Agricult.*, 145, 289-297.
- Benaissa S., Tuytens F.A.M., Plets D., De Pessemer T., Trogh J., Tanghe E., Martens L., Vandaele L., Van Nuffel A., Joseph W., Sonck B., 2017. Behaviours recognition using neck-mounted accelerometers in dairy barns. In: EC-PLF. Berckmans D., Keita A. (Éds), Nantes, France, 69-76.
- Bocquier F., Debus N., Lurette A., Maton C., Viudes G., Moulin C.H., Jouven M., 2014. Élevage de précision en systèmes d'élevage peu intensifiés. In : Numéro spécial, Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage ? Ingrand S., Baumont R. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 27, 101-112.
- Boissy A., Veissier I., Rouse, S., 2001. Behavioural Reactivity Affected by Chronic Stress: An Experimental Approach in Calves Submitted to Environmental Instability. *Anim. Welfare*. 10, 175-185.
- Boissy A., Aubert A., Désiré L., Greiveldinger L., Delval E., Veissier I., 2011. Cognitive sciences to relate ear postures to emotions in sheep. *Anim. Welfare*, 18, 47-56.
- Boivin X., Le Neindre P., Boissy A., Lensink J., Trillat G., Veissier I., 2003. Éleveur et grands herbivores : une relation à entretenir. *INRA Prod. Anim.*, 16, 101-115.
- Boivin X., Bensoussan S., L'Hotellier N., Bignon L., Brives H., Brulé A., Godet J., Grannec M.L., Hausberger M., Kling-Eveillard F., Tallet C., Courboulay V., 2012. Hommes et animaux d'élevage au travail : vers une approche pluridisciplinaire des pratiques relationnelles. In : Numéro spécial, Travail en élevage. Hostiou N., Dedieu B., Baumont R. (Éds). *INRA Prod. Anim.*, 25, 159-168.
- Borderas T.F., Rushen J., von Keyserlingk M.A.G., de Passillé A.M.B., 2009. Automated measurement of changes in feeding behavior of milk-fed calves associated with illness. *J. Dairy Sci.*, 92, 4549-4554.
- Bouissou M.F., Boissy A., Le Neindre P., Veissier I., 2001. The social behaviour of cattle. In: *Social behaviour in farm animals*. Keeling L.J. H.G.E. (Ed). CABI Publishing, GBR, 113-144.
- Brambell R., 1965. Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. *Command Paper 2836*, Her Majesty's Stationery Office, London, 85p.
- Broom D.M., 1987. Applications of neurobiological studies to farm animal welfare. *Martinus Nijhoff Publishers*. Wierkema P.R., Van Adrichem P.W.M. (Éds). Dordrecht Boston Lancaster, 194p.
- Casey-Trott T., Widowski T., 2018. Validation of an accelerometer to quantify inactivity in laying hens with or without keel-bone fractures. *Anim. Welfare*, 27, 103-114.
- Commun L., Silberberg M., Mialon M.M., Martin C., Veissier I., 2012. Behavioural adaptations of sheep to repeated acidosis challenges and effect of yeast supplementation. *Animal*, 6, 2011-2022.
- Cordeiro A.F. da S., Nääs I. de A., da Silva Leitão F., de Almeida A.C.M., de Moura D.J., 2018. Use of vocalisation to identify sex, age, and distress in pig production. *Biosyst. Eng.*, 173, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.03.007>
- Cornou C., 2009. Automation Systems for Farm Animals: Potential Impacts on the Human-Animal Relationship and on Animal Welfare. *Anthrozoös*, 22, 213-220.
- Costa E.D., Minero M., Lebelt D., Stucke D., Canali E., Leach M.C., 2014. Development of the horse grimace scale (HGS) as a pain assessment tool in horses undergoing routine castration. *Plos One*, 9, 1-10.
- Crick F., Koch C., 1995. Are we aware of neural activity in primary visual cortex? *Nature*, 375, 121-123.
- Damasio A., 2010. *Self comes to mind: Constructing the conscious brain*. New York, New York: Pantheon, 384p.
- De Boyer Des Roches A., Faure M., Lussert, A., Herry V., Rainard P., Durand D., Foucras G., 2017. Behavioral and patho-physiological response as possible signs of pain in dairy cows during *Escherichia coli* mastitis: A pilot study. *J. Dairy Sci.*, 100, 8385-8397.
- Descovich K.A., Wathan J., Leach M.C., Buchanan-Smith H.M., Flecknell P., Farningham D., Vick S.J., 2017. Facial Expression: An Under-Utilized Tool for the Assessment of Welfare in Mammals. *Altex-Altern. Anim. Ex.*, 34, 409-429.
- Disenhaus C., Allain C., Courties R., Quiniou Y., Bareille N., 2016. Discrepancy between expected and actual benefits of automatic heat detectors in commercial dairy farms. In: *EAAP 67th Ann. Meet.*, Belfast UK.
- Duncan I.J.H., 2002. Poultry welfare: science or subjectivity? *Brit. Poult. Sci.*, 43, 643-652.
- Farm Animal Welfare Council, 1992. *FAWC updates the five freedoms*. *Vet. Record*, 17, 357.
- Giovanetti V., Decandia M., Molle G., Acciaro M., Marni M., Cabiddu A., Cossu R., Serra M.G., Manca C., Rassa S., Dimauro C., 2016. Automatic classification system for grazing, ruminating and resting behaviour of dairy sheep using a tri-axial accelerometer. *Livest. Sci.*, 196, 42-48.
- Guarino M., Berckmans D., 2015. *Precision Livestock Farming '15*. Edité par Guarino et Berckmans, EC-PLF. Milan, Italie, 871p.
- Hausberger M., Fureix C., Lesimple C., 2016. Detecting horses sickness: In search of visible signs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 175, 41-49.

- Idele, 2015. Étude connectivité – Quels sont les attentes et besoins en connectivité des élevages bovins laitiers ? <http://docplayer.fr/40276736-Etude-connectivite-quels-sont-les-attentes-et-besoins-en-connectivite-des-elevages-bovins-laitiers.html>
- Johansson A., Blokhuis H.J., Berckmans D., Butterworth A., 2015. Development of an automatic method to assess human-animal relationship in broilers on flock level. In: Precision livestock farming '15. Guarino M., Berckmans D. (Éds), 7<sup>th</sup> EC-PLF Milan, Italy, 195-201.
- Kling-Eveillard F., Hostiou N., 2017. The effects of PLF on human animal relationship on farm. In: 8<sup>th</sup>, ECPLF. Nantes, France, 9p.
- Laureys S., 2005. Science and society: Death, unconsciousness and the brain. *Nat., Rev., Neurosci.*, 6, 899-909.
- Lee J., Jin L., Park D., Chung Y., 2016. Automatic recognition of aggressive behavior in pigs using a Kinect depth sensor. *Sensors* 16, 631.
- Le Neindre P., Dunier M., Larrère R., Prunet P., 2018. La conscience des animaux. Quae Édition, France, 120p.
- Lu Y., Mahmoud M., Robinson P., 2017. Estimating sheep pain level using facial action unit detection. In: IEEE Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, 30 May – 3 June, 2017. Washington, DC.
- Mandel R., Nicol C.J., Whay H.R., Klement E., 2017. Detection and monitoring of metritis in dairy cows using an automated grooming device. *J. Dairy Sci.*, 100, 5724-5728.
- Mandel R., Harazy H., Gyax L., Nicol C.J., Ben-David A., Whay H.R., Klement E., 2018. Short communication: Detection of lameness in dairy cows using a grooming device. *PlumX Metrics*, 101, 1511-1517.
- Martin P., Bateson P., 1985. The influence of experimentally manipulating a component of weaning on the development of play in domestic cats. *Anim. Behav.*, 33, 511-518.
- Meunier B., Pradel P., Sloth K.H., Cirié C., Delval E., Mialon M.M., Veissier I., 2018. Image analysis to refine measurements of dairy cow behaviour from a real-time location system. *Biosyst. Eng.*, 173, 32-44.
- Mintline E.M., Stewart M., Rogers A.R., Cox N.R., Verkerk G.A., Stookey J.M., Webster J.R., Tucker C.B., 2013. Play behavior as an indicator of animal welfare: Disbudding in dairy calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 144, 22-30.
- Mounier L., Veissier I., Andanson S., Delval E.a.B., A., 2006. Mixing at the beginning of fattening moderates social buffering in beef bulls. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 96, 185-200.
- Newhook J.C., Blackmore D.K., 1982. Electroencephalographic studies of stunning and slaughter of sheep and calves – part 2: The onset of permanent insensibility in calves during slaughter. *Meat Sci.*, 6, 295-300.
- Panksepp J., Burgdorf J., 2003. "Laughing" rats and the evolutionary antecedents of human joy? *Physiol. Behav.*, 79, 533-547.
- Raj A.B.M., O'Callaghan M., Hughes S.I., 2006. The effects of amount and frequency of pulsed direct current used in water bath stunning and of slaughter methods on spontaneous electroencephalograms in broilers. *Anim. Welfare* 15, 19-24.
- Rault J.L., 2012. Friends with benefits: Social support and its relevance for farm animal welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 136, 1-14.
- Raussi S., Niskanen S., Siivonen J., Hanninen L., Hepola H., Jauhiainen L., Veissier I., 2010. The formation of preferential relationships at early age in cattle. *Behav. Processes*, 84, 726-731.
- Rocha L., Veissier I., Terenius O., Meunier B., Nielsen P., 2019. Real-Time Locating System to study the persistence of sociality in large-mammal group dynamics. Presented at European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF), Cork, GBR (2019-08-26 - 2019-08-29).
- Saint-Dizier M., Chastant-Maillard S., 2018. Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. *Therio.*, 112, 53-62.
- Silberberg M., Meunier B., Veissier I., Mialon M.-M., 2017. Continuous monitoring of cow activity to detect sub-acute ruminal acidosis (SARA). In: 8<sup>th</sup>, ECPLF. Nantes, France.
- Stangaferro M.L., Wijma R., Caixeta L.S., Al-Abri M.A., Giordano J.O., 2016a. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part I. Metabolic and digestive disorders. *J. Dairy Sci.*, 99, 7395-7410.
- Stangaferro M.L., Wijma R., Caixeta L.S., Al-Abri M.A., Giordano J.O., 2016b. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part II. Mastitis. *J. Dairy Sci.*, 99, 7411-7421.
- Stangaferro M.L., Wijma R., Caixeta L.S., Al-Abri M.A., Giordano J.O., 2016c. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: Part III. Metritis. *J. Dairy Sci.*, 99, 7422-7433.
- Steensels M., Antler A., Bahr C., Berckmans D., Maltz E., Halachmi I., 2016. A decision-tree model to detect post-calving diseases based on rumination, activity, milk yield, BW and voluntary visits to the milking robot. *Animal*, 10, 1493-1500.
- Steensels M., Maltz E., Bahr C., Berckmans D., Antler A., Halachmi I., 2017. Towards practical application of sensors for monitoring animal health: the effect of post-calving health problems on rumination duration, activity and milk yield. *J. Dairy Res.*, 84, 132-138.
- Terlouw C., Bourguet C., Deiss V., Mallet C., 2015. Origins of movements following stunning and during bleeding in cattle. *Meat Sci.*, 110, 135-144.
- Terlouw C., Bourguet C., Deiss V., 2016a. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat Sci.*, 118, 133-146.
- Terlouw C., Bourguet C., Deiss V., 2016b. Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part II. Evaluation methods. *Meat Sci.*, 118, 147-156.
- van de Weerd H., Sandilands V., 2008. Bringing the issue of animal welfare to the public: A biography of Ruth Harrison (1920-2000). *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 113, 404-410.
- Veissier I., Le Neindre P., Trillat G., 1989. The use of circadian behaviour to measure adaptation of calves to changes in their environment. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 22, 1-12.
- Veissier I., Lamy D., Le Neindre P., 1990. Social behaviour in domestic beef cattle when yearling calves are left with the cows for the next calving. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 27, 193-200.
- Veissier I., Butterworth A., Bock B., Roe E., 2008. European approaches to ensure good animal welfare. In: Farm Animal Welfare since the Brambell Report. Rushen J. (Ed). Elsevier B.V., Amsterdam (NLD), 279-297.
- Veissier I., Boissy A., Désiré L., Greiveldinger L., 2009. Animals' emotions: studies in sheep using appraisal theories. *Anim. Welfare*, 18, 347-354.
- Veissier I., Mialon M.M., Sloth K.H., 2017. Short communication: Early modification of the circadian organization of cow activity in relation to disease or estrus. *J. Dairy Sci.*, 100, 3969-3974.
- Villot C., Meunier B., Bodin J., Martin C., Silberberg M., 2017. Relative reticulo-rumen pH indicators for subacute ruminal acidosis detection in dairy cows. *Anim. Behav. Abst.*, 12, 481-490.
- Wathes C.M., Buller H., Maggs H., Campbell M.L., 2013. Livestock Production in the UK in the 21<sup>st</sup> Century: A Perfect Storm Averted? *Animals*, 3, 574-583.

## Résumé

Les techniques d'élevage de précision ont été développées essentiellement pour augmenter la rentabilité et réduire la charge de travail en appliquant des processus automatiques de surveillance des animaux et de leur environnement. Par exemple, la détection de l'œstrus permet une insémination rapide, tandis que la détection des boîtes à un stade précoce ou d'un déséquilibre nutritionnel ou même des paramètres d'ambiance anormaux dans l'étable peuvent aider à prendre des mesures correctives rapidement. Les données générées par les capteurs pourraient également contribuer au bien-être des animaux. Un système détectant les problèmes de santé (par exemple, mammite

ou cétose chez les vaches laitières) peut faire partie de la gestion du bien-être. En plus et surtout, certains dispositifs de l'élevage de précision sont basés sur la détection du comportement animal directement ou indirectement par la position des animaux : temps passé à se nourrir, ruminer, se reposer, marcher, etc. Des changements subtils de comportement peuvent indiquer l'état mental d'un animal : hyper-réactivité vs apathie, isolement social, modification du rythme quotidien d'activité, réduction du comportement de jeu ou du toilettage, hyper-agressivité. Ces changements peuvent être autant de signes de malaise dus à la maladie, au stress, à l'instabilité sociale, etc. Ainsi les techniques de l'élevage de précision offrent un large éventail de possibilités d'utiliser des signes de comportement animal pour aborder le bien-être dans des élevages modernes, qu'il s'agisse du bien-être lié à l'état de santé, aux relations sociales, aux relations Homme-animal ou à un environnement quelconque stressant. À l'heure actuelle, ces possibilités sont peu explorées. Par ailleurs, l'élevage de précision modifie le travail des agriculteurs et potentiellement leurs interactions avec les animaux. Il est nécessaire que les animaux restent au centre de l'attention si l'on veut respecter leur bien-être et ce en harmonie avec celui de l'éleveur.

## Abstract

### ***Precision Livestock Farming and animal welfare: is the numerical revolution of agriculture able to take into account animals' and farmers' needs?***

*Precision Livestock Farming techniques have been developed essentially to increase profitability and reduce workload by applying automatic processes to monitor animals and their environment. For instance detecting oestrus allows timely insemination, while detecting lameness at an early stage or imbalance in the nutritional status or even abnormal ambient parameters in the barn can help take remedial actions quickly. The data generated by Precision Livestock Farming sensors could also support animal welfare. A system detecting health problems (e.g. mastitis, ketosis in dairy cows) can be part of welfare management. In addition and maybe more importantly, some Precision Livestock Farming devices are based on animal behaviour detection directly, or indirectly through the position of animals: time spent feeding, ruminating, resting, walking, etc. Subtle changes in behaviour can indicate the mental state of an animal hyper-reactivity vs. apathy, social isolation, changes in the daily rhythm of activity, reduction in play behaviour and grooming, hyper-agressivity. These changes can be all signs of malaise due to disease, stress, social instability, etc. We argue that Precision Livestock Farming techniques offer a wide range of possibilities to use animal behavioural signs to address animal welfare in modern livestock farming, be the welfare related to health status, social relations, human-animal relationship or more general effects of a stressful environment. At present, these possibilities have been little explored, and they deserve more research. In addition, the use of Precision Livestock Farming is changing farmers' work and potentially their interactions with animals. It is necessary that the animals remain at the centre of attention if one wants to address adequately their welfare in harmony with the farmer.*

VEISSIER I., KLING-EVEILLARD F., MIALON M.-M., SILBERBERG M., DE BOYER DES ROCHES A., TERLOUW C., LEDOUX D., MEUNIER B., HOSTIOU N., 2019. Élevage de précision et bien-être en élevage : la révolution numérique de l'agriculture permettra-t-elle de prendre en compte les besoins des animaux et des éleveurs ? In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 281-290.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2478>

# Évolution de l'usage des antibiotiques en filières bovines : état d'avancement et perspectives

Valérie DAVID<sup>1</sup>, Florence BEAUGRAND<sup>2</sup>, Émilie GAY<sup>3</sup>, Jacqueline BASTIEN<sup>4</sup>, Christian DUCROT<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Institut de l'Élevage, 75595, Paris, France

<sup>2</sup>BIOEPAR, INRA, Oniris, Université Bretagne Loire, 44307, Nantes, France

<sup>3</sup>Université de Lyon, Anses Laboratoire de Lyon, Unité Épidémiologie et appui à la surveillance, 69394, Lyon, France

<sup>4</sup>Société nationale des groupements techniques vétérinaires, 75011, Paris, France

<sup>5</sup>ASTRE, Université de Montpellier, CIRAD, INRA, 34988, Montpellier, France

Courriel : christian.ducrot@inra.fr

■ La mise en place du plan EcoAntibio visant à réduire les risques d'antibiorésistance a permis une forte mobilisation des différents partenaires de l'élevage et de la profession agricole dans les filières bovines. Des actions ont été menées à différentes échelles et des travaux de recherche conduits, notamment en sciences humaines et sociales. Cet article fait un point sur les avancées et actions en cours, et propose certaines perspectives<sup>1</sup>.

## Introduction

Le développement des résistances aux antibiotiques en médecine humaine et animale, tant dans les pays développés que les pays en développement, fait peser le risque de se trouver, à moyenne échéance, dans une impasse thérapeutique pour le traitement des infections bactériennes humaines (Zahar et Lesprit, 2014). Aussi, afin de préserver le bien commun que sont les antibiotiques, les instances internationales (WHO, 2016 ; FAO, 2016 ; OIE, 2016) ont adopté des plans concertés pour optimiser l'usage des antibiotiques et promouvoir la recherche de solutions préventives ou alternatives, tant chez l'Homme que chez l'animal.

En France, sur le versant vétérinaire, un ensemble d'actions ont été entreprises

dans le cadre du plan EcoAntibio 2017 (Ministère de l'agriculture, 2016) et l'objectif de réduction de 25 % de l'usage des antibiotiques en 5 ans a été atteint ; le plan EcoAntibio 2 (2017-2021) encourage la poursuite de ces activités pour pérenniser les efforts réalisés (Ministère de l'agriculture, 2017) et réduire de 50 % l'exposition des animaux de rente à la colistine, car c'est un antibiotique de dernier recours pour certaines infections chez l'Homme.

En filières bovines, il existe différents enjeux liés à l'usage des antibiotiques. La filière laitière est avant tout concernée par la question des infections de la mamelle, et viennent ensuite diverses maladies infectieuses moins fréquentes. En filière allaitante et boucherie, un enjeu important concerne la période néonatale (maladies néonatales) ainsi que les périodes d'allotement d'animaux pour l'engraissement (que ce soit les veaux ou les

jeunes broutards), qui se traduisent par des risques importants de maladies infectieuses respiratoires nécessitant l'usage d'antibiotiques.

L'objectif de cet article est de faire le point sur l'usage des antibiotiques dans les filières bovines et son évolution, de présenter les différentes approches développées au cours des années passées pour faire évoluer cet usage ainsi que les freins rencontrés et les difficultés à les lever, puis d'envisager les perspectives pour aller plus loin dans cette évolution. Sont abordées notamment les approches préventives mises en œuvre, la rationalisation de l'utilisation des antibiotiques et le recours aux alternatives thérapeutiques. Un autre article sera consacré ultérieurement aux filières hors sol qui ont conduit des approches particulières pour réduire l'usage des antibiotiques, liées aux pratiques d'élevage hors sol et à leur organisation.

1 Cet article a fait l'objet d'une présentation aux 24<sup>es</sup> Journées Rencontres Recherches Ruminants (David *et al.*, 2018).

## 1. État des lieux de l'usage d'antibiotiques dans les élevages bovins en France

### ■ 1.1. Données globales

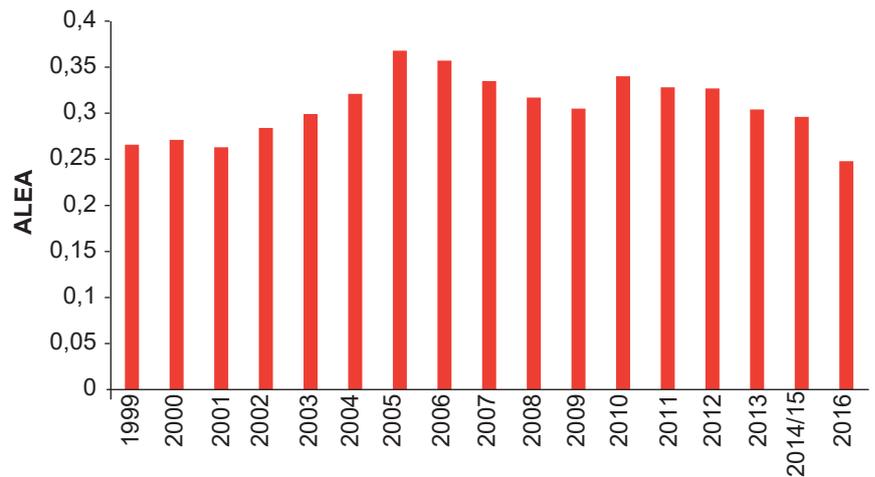
Il n'existe pas encore en France de système national d'enregistrement des prescriptions et/ou des délivrances d'antibiotiques comme c'est le cas au Danemark par exemple (DANMAP, 2016). En revanche, l'Agence Nationale du Médicament Vétérinaire (ANMV) de l'Anses assure un suivi national annuel des ventes d'antibiotiques depuis 1999 (Anses, 2017). Ces données sont complétées par des études pharmaco-épidémiologiques ponctuelles apportant des informations sur des aspects qualitatifs ou quantitatifs de l'usage des antibiotiques.

Un des points clés dans l'estimation de l'usage des antibiotiques est le choix des indicateurs. La quantité utilisée (en tonnage) est l'indicateur le plus facile à collecter, mais aussi celui qui présente le plus de limites car il ne tient compte ni des différences de posologies entre les différentes molécules ni de la population animale traitée. C'est pourtant cet indicateur qui est utilisé à l'échelle européenne car il est actuellement le seul calculable pour l'ensemble des pays membres (European Medicines Agency, European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption, 2017). Mais, de plus en plus, des indicateurs d'exposition sont utilisés.

L'ANMV utilise dans son rapport (Anses, 2017) l'ALEA (« *Animal Level of Exposure to Antimicrobials* ») qui approche le nombre de traitements reçus par animal pour une période donnée (ici l'année). La quantité vendue est divisée par la dose par traitement (avec la posologie indiquée dans l'autorisation de mise sur le marché et un poids animal fixe par spécialité et par espèce) et par la biomasse de la population animale potentiellement consommatrice. L'ALEA chez les bovins était de 0,248 en 2016, avec une évolution à la baisse ces dernières années (figure 1).

Le calcul des ALEA par famille d'antibiotiques montre une baisse marquée

Figure 1. Évolution de l'ALEA bovins de 1999 à 2016 (d'après Anses, 2017).



pour les antibiotiques critiques (céphalosporines de 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> générations et fluoroquinolones, dont on a un besoin impérieux en santé publique), avec un léger report sur les familles plus anciennes telles que les aminosides, pénicillines et sulfamides.

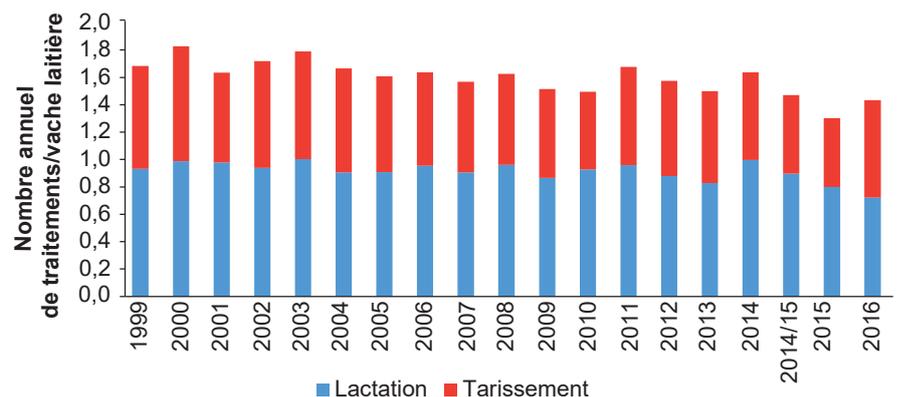
### ■ 1.2. Données par filière

Les données de suivi des ventes d'antibiotiques ne permettent pas de différencier les bovins laitiers et les bovins allaitants pour les traitements oraux et parentéraux. Par contre, un calcul spécifique est effectué pour les traitements intramammaires, en attribuant tous ces types de traitements aux vaches laitières, et en différenciant la période de lactation et le tarissement. Il en ressort que le nombre de traitements intramammaires par vache laitière est en légère baisse ces

dernières années, cette baisse étant plus marquée pour les traitements en lactation (figure 2).

Deux enquêtes en région Auvergne-Rhône-Alpes, menées avec d'autres méthodologies, aboutissent à des résultats du même ordre de grandeur. La première enquête, réalisée en 2016 auprès d'élevages laitiers et allaitants conventionnés, a obtenu un ALEA de 0,31 pour les bovins laitiers (en baisse sur les 4 dernières années) et de 0,21 pour les bovins allaitants (stable sur les 4 dernières années) (Sulpice *et al.*, 2017). La deuxième enquête, réalisée en 2016 auprès de 11 élevages laitiers et 11 élevages allaitants, a permis de différencier, en plus des types de production, les voies d'administration (Mlala *et al.*, 2018). Il en ressort que la filière bovine laitière est un peu plus consommatrice que la filière allaitante pour la voie

Figure 2. Évolution du nombre annuel de traitements intramammaires par vache laitière depuis 1999 (d'après Anses, 2017).



**Tableau 1.** Médiane du nombre annuel de traitements par animal, par type de production, âge des animaux et voie d'administration (d'après Mlala et al., 2018).

Types d'animaux	Nombre annuel de traitements par animal				
	Voie injectable	Voie orale	Voie intramammaire	Voie intra-utérine	Total
<b>Allaitants</b>					
Adultes	0,200	0	0,023	0,019	0,512
Jeunes	0,109	0,045	–	–	0,167
<b>Laitiers</b>					
Adultes	0,333	0	2,600	0,029	2,933
Jeunes	0,105	0,049	–	–	0,216

orale, et sans surprise beaucoup plus consommatrice pour la voie intramammaire (tableau 1).

La production de veaux de boucherie, de par ses spécificités et notamment le mélange de jeunes veaux d'origines diverses lors de l'allotement, est une production pour laquelle l'usage d'antibiotiques est plus important. Dans les rapports Anses de suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques, un focus sur cette production a été fait pendant quelques années, et le nombre de traitements oraux par veau a été estimé pour les données 2009 à 2013. Ce nombre de traitements était passé de 6,0 en 2009 à 4,2 en 2013 (Anses, 2014b). Une enquête ponctuelle réalisée en 2014 a estimé le nombre de traitements par veau à 8,5 en moyenne, mais la méthodologie était très différente puisqu'il s'agissait d'une estimation à partir des prescriptions d'antibiotiques et des dates de traitements indiquées dans le registre d'élevage, et pas à partir des ventes des fabricants (Jarrige et al., 2017). À la suite de cette enquête ponctuelle, un observatoire de l'usage des antibiotiques dans la filière (Chantepedrix et al., 2016b) a été mis en place. En effet, plus qu'un chiffre ponctuel qui est difficilement comparable à d'autres du fait de méthodes de calcul différentes, c'est l'évolution de l'indicateur choisi qui a du sens. Les premiers résultats issus de cet observatoire semblent indiquer une baisse importante de l'usage dans la

filière. Pour contribuer à la pérennisation de cet observatoire, le développement d'un carnet sanitaire informatisé permettant la centralisation de l'information est en cours.

D'autres démarches sont en réflexion dans les filières bovines afin de constituer des observatoires de l'usage des antibiotiques.

## 2. Leviers techniques pour un usage ciblé et raisonné des antibiotiques

Trois approches complémentaires sont mises en œuvre pour réduire l'usage des antibiotiques et limiter l'émergence de résistances aux antibiotiques : *i*) la prévention de l'apparition et de la dissémination des maladies, *ii*) un usage plus raisonné des antibiotiques, et *iii*) l'utilisation de médicaments alternatifs aux antibiotiques.

### ■ 2.1. Prévention sanitaire et zootechnique

Certaines pratiques et conditions d'élevage, certains modes de conduite peuvent exposer les animaux à des agents infectieux et les rendre plus susceptibles de développer une maladie. Pour réduire ce risque plusieurs axes de progrès existent. En voici quelques-uns.

#### a. Biosécurité

La biosécurité consiste à limiter l'introduction et la diffusion des pathogènes dans et à l'extérieur du troupeau. La mise en œuvre de la biosécurité par les éleveurs bovins est en lien avec leurs représentations de l'importance de ces mesures pour préserver leur cheptel (Frappat et al., 2012 ; Sarrazin et al., 2014) qui sont différentes de celles des autres productions (Laanen et al., 2014). Des enquêtes conduites par Idele en 2014 (Mounaix et al., 2015) auprès des éleveurs bovins ont en effet montré que les éleveurs connaissent de manière générale les mesures de biosécurité mais qu'ils appréhendent mal les risques justifiant leur mise en œuvre, que cette dernière est en général limitée dans le temps (abandonnée quand une situation sanitaire problématique redevient normale) et qu'elle se heurte souvent à des freins liés aux habitudes de travail, aux équipements et bâtiments. Sur ce sujet, les éleveurs ont aussi déclaré être plus en attente de retours d'expériences d'autres éleveurs que des conseils prodigués par leur vétérinaire ou d'autres intervenants en élevage. Pour progresser sur ce sujet, il est donc apparu nécessaire de faire évoluer les représentations des éleveurs en matière de biosécurité et de rechercher avec eux des voies d'amélioration pour sa mise en œuvre. Ce travail est en cours dans le projet Co'innobios, dans le cadre du plan EcoAntibio. Il s'appuie sur des collectifs d'éleveurs bovins viande et donne déjà des résultats positifs : une perception améliorée et partagée de la biosécurité, et des outils d'auto-évaluation co-élaborés par les éleveurs et qu'ils souhaitent partager pour favoriser la sensibilisation du plus grand nombre d'éleveurs (Mounaix, communication personnelle).

#### b. Pratiques d'élevage

Renforcer voire faire évoluer certaines pratiques est une condition nécessaire à un moindre usage des antibiotiques.

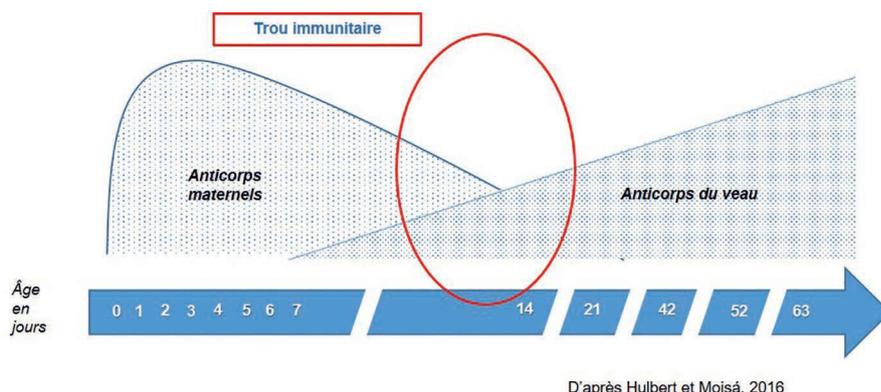
Dans la filière laitière, la maîtrise des infections mammaires reste une question cruciale. Afin de renforcer la prévention et ainsi réduire la prévalence des mammites en élevage laitier, l'interprofession laitière a lancé dès 2013 un programme national de communication et

d'accompagnement des éleveurs et de leurs conseillers, dénommé « les mammites, j'anticipe ». Cette communication a porté ses fruits puisque depuis 2014, on observe une réduction notable de la moyenne nationale des concentrations en cellules somatiques des laits produit par les troupeaux laitiers français : la moyenne nationale a diminué de 30 000 cellules/mL de lait entre 2014 et 2017 (Roussel et Ballot, 2017, communication personnelle<sup>2</sup>).

Le veau, futur adulte en devenir, doit aussi faire l'objet d'une attention particulière. En effet, il a un système immunitaire fonctionnel à la naissance, mais du fait d'un placenta empêchant le passage des anticorps maternels vers le fœtus, il naît agammaglobulinémique. Il lui faudra quelques jours pour développer une immunité adaptative acquise ; il est donc indispensable qu'il boive dans les premières heures suivant sa naissance une quantité suffisante d'un colostrum de qualité pour ingérer les immunoglobulines d'origine maternelle et acquérir une immunité adaptative dite passive (Hulbert et Moïsa, 2016) (figure 3). Cette phase est souvent un point critique dans les exploitations laitières, d'où l'importance de communiquer sur la bonne préparation des vaches au vêlage garante d'un colostrum de qualité, et sur la surveillance et les soins à apporter au veau nourrisson. Une nouvelle campagne de sensibilisation des éleveurs sur ce sujet est en cours de préparation, orchestrée par l'interprofession laitière.

Certaines pratiques, situations ou certains environnements (manipulations, transport, réallotements, changements alimentaires, vêlage, stress thermique...) peuvent générer du stress, impactant les défenses immunitaires de l'animal, et le rendant ainsi plus fragile aux infections (Hulbert et Moïsa, 2016). Des travaux sont en cours pour voir dans quelle mesure il est possible de faire évoluer certaines pratiques pour minimiser le stress ou le répartir différemment sur la durée. Ces travaux concernent en particuliers

**Figure 3.** Représentation du déficit de protection immunitaire acquise dans le premier mois de vie des veaux (d'après Hulbert et Moïsa, 2016).



les filières brouards/taurillons (projet WelHbeef financé par l'Institut Carnot France Futur Élevage, projet Sant'Innov financé par le programme PSDR 4<sup>3</sup> du Grand-Ouest) et veaux de boucherie.

#### c. Bâtiments d'élevage

La conception et l'entretien des bâtiments d'élevage sont des éléments clefs de la prévention des maladies. Ils font partie des facteurs de risque majeurs des maladies d'élevage. Les points clefs sont divers et leur importance varie selon les maladies. Parmi eux cependant on peut citer la qualité générale de l'ambiance (humidité, température, ventilation et renouvellement de l'air), les surfaces disponibles et leur entretien, la nature des sols, l'existence d'espaces dédiés à certaines situations (zone de vêlage, infirmerie, logement des vaches tarées...). Au démarrage du plan EcoAntibio 2017, le constat a été fait par l'ensemble des acteurs que le bâtiment restait un point critique dans la maîtrise de la santé animale. Pour progresser dans la prise de conscience par les différents acteurs des liens entre bâtiment et santé, un travail d'explicitation, de formalisation et de diffusion a été entrepris. Il a réuni des experts bâtiments et des vétérinaires et a abouti à des brochures techniques largement diffusées.

#### d. Sélection génétique

Les objectifs de sélection intègrent, au-delà des critères de production, conformation et reproduction, certains

critères liés à la santé (concentrations en cellules somatiques dans le lait, mammites cliniques) ou en lien avec la santé (aplombs, conformation de la mamelle et longévité).

Chez les vaches laitières, un index cellules est disponible depuis 1997. Un index mammite clinique a été mis en place en 2010. Combiné à l'index cellules, il constitue aujourd'hui un index « santé de la mamelle » qui représente respectivement 16, 18 et 14,5 % des objectifs de sélection des races Normande, Prim'Holstein et Montbéliarde (Minery, 2016 ; Institut de l'Élevage, 2018).

L'outil génomique vise à prédire la valeur génétique d'un animal à l'aide d'un test réalisé grâce à une puce ADN contenant plusieurs dizaines de milliers de marqueurs. Cette révolution permet d'accélérer le progrès génétique et de prendre en compte de nouveaux critères parmi lesquels la résistance aux maladies. Parmi les travaux qui ont permis de progresser dans ce domaine on peut citer le projet Parabov (Blériot *et al.*, 2013) initié en 2011 qui a permis de définir un référentiel pour la collecte de données de lésions du pied des bovins, enregistrées lors du parage. Ce travail a été suivi de différents travaux, dont ceux soutenus par Apis-Gène (programme POD<sup>2</sup>), visant à développer la collecte en routine des données de parage des pieds des bovins laitiers, en vue d'une évaluation génétique. Le projet GénoSanté démarré en 2015 a quant à lui pour objectif global de produire des outils de sélection et de conseil pour améliorer la santé productive des

<sup>2</sup> <https://les-mammites-j-anticipe.com/informations/observatoire-des-cellules/>

<sup>3</sup> PSDR 4 <http://www.psd.fr/PSDR.php?categ=103&lg=FR&PHPSESSID=ogt0trdj1tq31se88748f912e7#ancre415>

vaches laitières. Les premiers résultats ont abouti en 2016 à un index relatif à l'acétonémie (maladie métabolique) pour les races Normande, Prim'Holstein et Pie Rouge (Barbat-Leterrier *et al.*, 2016) et depuis fin 2017 à deux nouveaux index de résistance aux boites (un index de résistance aux lésions infectieuses et un de résistance aux lésions non infectieuses) pour les races Prim'Holstein et Pie Rouge<sup>4</sup>.

#### e. Vaccination

La vaccination contre certaines maladies peut avoir un rôle dans la réduction de l'usage des antibiotiques. Des maladies virales sont aussi concernées, car la prévention de ces maladies évite des surinfections bactériennes qui doivent être traitées avec des antibiotiques. Dans le cadre du plan EcoAntibio 2017, le Syndicat de l'Industrie du Médicament Vétérinaire (SIMV) a mené deux études visant à identifier les freins à la vaccination en élevage bovin, et le rôle du vétérinaire dans la décision de vacciner (Deleu, 2015).

La décision de mettre en place la vaccination est souvent prise suite à un épisode infectieux avec un impact sanitaire marquant, par exemple des pertes d'animaux. Mais la pratique de la vaccination est rarement acquise définitivement. Les éleveurs la remettent en cause en permanence en fonction de leur perception de l'efficacité, du coût et du risque encouru. Plus on s'éloigne de l'événement sanitaire déclencheur, plus la tentation d'interrompre la vaccination est forte (Deleu, 2015).

Les points positifs attendus de la vaccination sont d'ordre économique (moins de pertes), psychologique (sérénité) et organisationnel (diminution des interventions sur les animaux, planification des interventions...). Les freins énoncés relèvent principalement de l'organisation du chantier de vaccination, du temps passé et du respect des protocoles vaccinaux et d'hygiène. L'étude a montré que 31 % des éleveurs de bovins disent ne jamais vacciner leurs bovins contre les 4 maladies

considérées (bronchopneumonies infectieuses enzootiques, BVD, gastroentérites néonatales et entérotoxémies), mais qu'une forte proportion d'éleveurs serait prête à l'envisager. Elle a aussi mis en évidence le rôle prépondérant du vétérinaire dans la décision de mise en œuvre des plans de prophylaxie vaccinale (Deleu, 2015). À l'issue de ce travail, une campagne de communication a été mise en place par le Ministère de l'agriculture pour promouvoir la vaccination en élevage bovin : la campagne Vaccin'acteur.

Au-delà de ces enquêtes globales, des travaux plus ciblés ont été conduits par Idele en partenariat avec ONIRIS sur la vaccination des brouards pour prévenir les maladies respiratoires des taurillons. Ces travaux, réalisés dans le cadre du plan EcoAntibio, visaient à répondre aux questionnements de groupements de producteurs ou de coopératives agricoles qui ont entrepris des actions pour promouvoir la vaccination des brouards. Les objectifs étaient d'identifier les déterminants sociaux et économiques de cette vaccination. Les enquêtes conduites auprès des éleveurs naisseurs et/ou engraisseurs de brouards mettent en évidence une bonne perception générale de la vaccination par les éleveurs et ceci indépendamment du lien avec le vétérinaire. Les modalités pratiques de la vaccination spécifique des brouards avant leur entrée dans les ateliers d'engraissement étaient cependant mal connues (planing des injections, pathogènes incriminés dans les problèmes respiratoires à l'engraissement...). Plusieurs freins à la vaccination des brouards par les naisseurs ont été identifiés, plutôt relatifs à l'organisation du travail. Le résultat le plus marquant de l'enquête est l'absence de relation/connexion entre éleveurs naisseurs de brouards et éleveurs engraisseurs. Ce manque de traçabilité constitue un frein important au développement de la vaccination des brouards chez le naisseur (Mounaix *et al.*, 2018).

Les personnes enquêtées (naisseurs ou engraisseurs) souhaitent en majorité une valorisation de la qualité globale des brouards et ils plaçaient la vaccination parmi les éléments de

cette qualité. Compte tenu de ces avis, le prix plancher de brouards vaccinés s'est avéré compliqué à estimer et très variable (Mounaix, communication personnelle). Des travaux complémentaires ont été réalisés pour analyser les effets comparés de différentes modalités de vaccination (Mounaix *et al.*, 2018).

## ■ 2.2. Usage raisonné des antibiotiques

### a. Évolution des prescriptions

Une vaste réflexion et des actions pour préserver l'efficacité des antibiotiques ont été conduites dans le cadre des recommandations de l'Anses (Anses, 2014a) et du plan EcoAntibio. Recommandations et mesures des plans convergent vers une limitation des usages au strict nécessaire et vers l'abandon de pratiques à risque pour l'émergence et la sélection de mécanismes de résistance. Pour atteindre les objectifs du plan EcoAntibio 2017, plusieurs mesures ont été déployées, avec des objectifs quantitatifs de réduction d'usage des antibiotiques et des objectifs qualitatifs de parcimonie d'usage d'antibiotiques d'importance critique. Parmi celles-ci, les vétérinaires prescripteurs ont élaboré des recommandations d'usage des antibiotiques lors de séances de consensus conduites par la Société Nationale des Groupements Techniques Vétérinaires (SNGTV). Ces recommandations d'usage des antibiotiques ont été déclinées par maladie et par filière de production animale et ont fait l'objet d'une supervision de l'Anses (Journal officiel, 2015).

De nombreuses mesures réglementaires sont venues par ailleurs encadrer les prescriptions et les délivrances des antibiotiques :

i) retrait des antibiotiques de la liste positive pour les groupements agréés d'éleveurs<sup>5</sup> ;

<sup>5</sup> Arrêté du 19 décembre 2014 modifiant l'arrêté du 28 juin 2011 fixant la liste des médicaments vétérinaires prévue au deuxième alinéa de l'article L. 5143-6 du code de la santé publique.

<sup>4</sup> <https://www.evolution-xy.fr/fr/actualite/deux-nouveaux-index-sante-pied>

ii) guide réglementaire de bonnes pratiques d'emploi des antibiotiques<sup>6</sup> ;

iii) restriction des conditions de prescription des antibiotiques critiques<sup>7</sup>.

Suite à la découverte de gènes de résistance à la colistine portés par des plasmides et aux avis de l'EMA (« *European Medicines Agency* ») et de l'Anses, des mesures de restriction d'usage de cette molécule ont été ajoutées :

i) arrêt des traitements préventifs utilisant la colistine et limitation des traitements à 7 jours ;

ii) retrait des autorisations de mise sur le marché (AMM) nationales des associations d'antibiotiques contenant de la colistine ;

iii) recommandation de l'EMA de fixer pays par pays des objectifs nationaux à ne pas dépasser d'ici 3 à 4 ans, à savoir pour la France ne pas dépasser le seuil de 5 mg/kg de biomasse ;

iv) exigence de réduction de 50 % des usages de colistine sur 5 ans inscrite dans le plan EcoAntibio 2.

#### b. Traitement sélectif au tarissement

Le traitement antibiotique systématique des vaches au tarissement était un des points des plans de maîtrise des infections mammaires dans les années 1970 pour guérir les vaches infectées et prévenir les nouvelles infections pendant la période sèche. Dans les années 2000 les obturateurs de trayons ont fait leur apparition dans l'objectif de prévenir les nouvelles infections pendant le tarissement. Actuellement un traitement sélectif est préconisé pour éviter un usage inutile d'antibiotique (SNGTV, 2013 ; Journal officiel, 2015).

Le traitement sélectif consiste à discriminer les vaches qui nécessitent un traitement antibiotique seul ou avec un obturateur, des vaches pour lesquelles un obturateur est indiqué pour prévenir les infections pendant le tarissement et des vaches pour lesquelles aucun traitement n'est requis. Cette stratégie impose un processus de sélection des vaches basé sur leur statut infectieux et sur les risques de nouvelles infections inhérents à l'animal et/ou à la conduite d'élevage.

L'élaboration de cette stratégie a fait l'objet d'études conduites par ONIRIS en partenariat avec Idele (Roussel *et al.*, 2006). Les vaches saines, *i.e.* celles dont le CCI (comptage cellulaire individuel) dans le mois précédant le tarissement est inférieur à 100 000 cellules/mL de lait, peuvent ne recevoir qu'un obturateur, sous réserve qu'elles n'aient pas été affectées par une mammite durant ce même mois. À condition qu'elles ne soient pas exposées à un risque particulier de nouvelles infections pendant la période sèche, les vaches saines pourraient ne recevoir aucun traitement. Les vaches dont les CCI sont supérieurs à 100 000 cellules/mL de lait,

sont considérées comme infectées, et reçoivent un traitement antibiotique. Ce traitement antibiotique n'est pas suffisant pour prévenir les nouvelles infections pendant la période sèche ; elles peuvent recevoir en plus un obturateur s'il existe un risque pendant la période sèche. Les critères décisionnels pour le traitement sélectif sont résumés dans le **tableau 2**.

La stratégie de traitement sélectif fait actuellement l'objet d'une promotion (Roussel *et al.*, 2016) ; elle requiert un engagement des éleveurs et de leurs vétérinaires. Les éleveurs ont besoin d'être rassurés, motivés et informés pour sélectionner les vaches éligibles à l'une ou l'autre modalité de traitement. Ce travail est fait lors de l'établissement du protocole de soin annuel avec le vétérinaire traitant, après évaluation du statut épidémiologique du troupeau au regard des affections mammaires. L'expérience montre qu'un accompagnement en continu des éleveurs pour statuer au fur et à mesure sur les traitements à administrer à chaque vache est un gage de réussite. Des outils pour aider les éleveurs dans le choix des

**Tableau 2.** Tableau décisionnel pour le choix d'une stratégie de traitement au tarissement (Roussel *et al.*, 2016).

Facteurs de risque par vache <sup>(1)</sup>			Autres facteurs de risque <sup>(2)</sup>	
	Mammite clinique dans les 3 derniers mois	Plus de 2 facteurs de risque	Pas de risque	Au moins un risque
Vache « saine »	OUI		Atb	Atb + Obt
	NON	NON	Rien ou Obt	Obt
		OUI	Obt	Obt
Vache « infectée »		NON	Atb	Atb + Obt
		OUI	Atb + Obt	Atb + Obt

Atb : Traitement antibiotique au tarissement.

Obt : Mise en place d'un obturateur au tarissement.

Vaches saines : celles dont le comptage cellulaire individuel dans le mois précédant le tarissement est inférieur à 100 000 cellules/mL de lait (Vaches infectées : CCI supérieur à 100 000 cellules/mL de lait).

(1) Les facteurs de risque vache : numéro de lactation, position du plancher de la mamelle par rapport au jarret, présence gerçures, blessures ou lésions au niveau du trayon, longueur du trayon, perte de lait avant vêlages, perte de lait après tarissement.

(2) Les facteurs de risque diffèrent si les animaux sont en bâtiment ou au pâturage. Ils sont moindres au pâturage. Au pâturage : état des zones de couchage, introduction ou non des vaches taries dans le troupeau en production avant le vêlage ; en bâtiment : surface de couchage, entretien et hygiène du logement, ventilation du bâtiment, surface des aires d'exercice.

6 Arrêté du 22 juillet 2015 relatif aux bonnes pratiques d'emploi des médicaments contenant une ou plusieurs substances antibiotiques en médecine vétérinaire.

7 Décret n° 2016-317 du 16 mars 2016 relatif à la prescription et à la délivrance des médicaments utilisés en médecine vétérinaire contenant une ou plusieurs substances antibiotiques d'importance critique.

vaches à traiter sont disponibles<sup>8</sup>, ou en cours de développement.

### c. Traitement des boiteries

Dans son rapport de 2014, l'Anses faisait état d'un recours aux traitements antibiotiques souvent non justifié dans le traitement des affections podales. Or, la quasi-totalité d'entre elles ne nécessitent pas de traitement antibiotique. Dans la majorité des cas, un parage curatif associé ou non à la mise en place d'une talonnette est suffisant. Une seule exception, le panaris, nécessite un traitement antibiotique par voie générale (Guattéo *et al.*, 2010 ; Journal officiel, 2015). Un traitement local antiseptique ou antibiotique peut aussi être nécessaire pour certaines lésions de la maladie de Mortellaro. Pour sensibiliser les éleveurs, une campagne de communication a été conduite dans le cadre du plan EcoAntibio, 2017 ; elle conseille d'établir un diagnostic précis des lésions à l'origine de la boiterie avant tout traitement antibiotique.

### d. Démarche de filière pour les veaux de boucherie

Dès 2015, Interbev veaux a lancé une campagne de sensibilisation qui s'est matérialisée par une charte interprofessionnelle de bonne maîtrise sanitaire et de bon usage des traitements médicamenteux en production de veaux de boucherie. Elle implique l'ensemble des acteurs de la filière que ce soient les vétérinaires, les éleveurs, les entreprises d'intégration, les organisations de producteurs et les techniciens intervenant en élevage.

## ■ 2.3. Traitements alternatifs

Afin de limiter l'usage d'antibiotiques en cas de maladie ou de situation à risque, une alternative est de se tourner vers d'autres molécules ou produits. Les observations de terrain (Joly *et al.*, 2016 ; Poizat *et al.*, 2017) montrent un intérêt pour la phytothérapie, qui désigne l'utilisation des plantes à des fins thérapeutiques. Les plantes contiennent en effet un très grand nombre de molécules pouvant avoir

des modes d'action pharmacologiques vis-à-vis des bactéries ou de l'animal infecté, en prévention ou en traitement des maladies d'étiologie bactérienne (Ducrot *et al.*, 2017). Sur les bactéries, l'activité peut être antibactérienne ou réduire la virulence des bactéries en perturbant, par exemple, la communication bactérienne (« quorum sensing ») ou la formation de biofilm. Sur l'animal, les propriétés des plantes peuvent être anti-inflammatoires, immuno-modulatrices ou physiologiques, réduisant les signes cliniques de l'infection tout en aidant aux processus de guérison.

En filière bovin lait, Joly *et al.* (2016) et Hellec et Manoli (2018) ont montré qu'une partie des éleveurs qui souhaitent réduire l'utilisation d'antibiotiques se tournent vers les formations sur les approches alternatives pour la santé animale, ou s'appuient sur des communautés de pratiques entre éleveurs. Sont notamment discutées et partagées des pratiques basées sur l'utilisation d'alternatives aux antibiotiques telles que phytothérapie ou homéopathie (dont le principe est de soigner un patient en diluant très fortement des substances qui, données à dose supérieure, provoqueraient des symptômes similaires à ceux du patient). Les études qualitatives réalisées sur le terrain montrent l'engouement de certains types d'éleveurs pour des thérapeutiques à base de plantes ; c'est notamment le cas de ceux qui ont obligation de réduire l'usage d'antibiotiques par le cahier des charges auquel ils adhèrent, particulièrement en agriculture biologique ou dans le cas de certaines Appellations d'Origine Contrôlée (Poizat *et al.*, 2017). Les mêmes études montrent en revanche la réserve des conseillers agricoles et vétérinaires face à l'utilisation de ces thérapeutiques alternatives (Poizat *et al.*, 2017), qui tient au manque de preuves scientifiques disponibles quant à leur efficacité, à l'absence de données sur les résidus, les délais d'attente et la toxicité potentielle des produits pour le consommateur, et au flou réglementaire (Ducrot *et al.*, 2017).

Dans la filière veau de boucherie, des essais ont été conduits depuis 2012. Ils ont permis d'évaluer certains produits

alternatifs en substitution partielle ou totale des antibiotiques utilisés lors de la métaphylaxie précoce des veaux de boucherie, approche consistant à traiter un lot entier dès lors qu'un certain nombre d'animaux du lot sont cliniquement atteints. Parmi les produits testés on trouve de l'acide citrique, du tryptophane, des probiotiques (microorganismes vivants ajoutés à la ration pour conférer un bénéfice en matière de santé) et des prébiotiques (substances alimentaires ajoutées pour promouvoir de façon sélective la croissance de certaines bactéries de type probiotique ou l'activité du microbiome intestinal). Ces travaux conduits en station expérimentale ont permis de mettre en évidence des résultats zootecniques globalement satisfaisants mais des résultats sanitaires contrastés, des coûts vétérinaires détériorés et des conditions de travail non transposables en élevage commercial (Chanteperrin *et al.*, 2016a). En complément et pour répondre aux attentes des éleveurs, un travail visant à élaborer un guide d'aide à la décision sur l'utilisation des substances alternatives aux antibiotiques dans la filière veau de boucherie est en cours de réalisation. Ce travail sera basé sur un recensement des substances d'intérêt et sur une évaluation des publications existantes basée sur la méthode proposée par l'Anses (Anses, 2018).

Concernant les broutards, des essais visant à tester l'efficacité des phéromones apaisantes sur les troubles respiratoires des jeunes bovins à l'engraissement viennent de se terminer. Ils indiquent un effet positif de la réduction du stress en matière de comportement et de santé. Un effet des apaisines a été observé sur l'expression des comportements de déplacement, interprétés comme exploratoires, mais aussi sur l'immunité et les signes cliniques des troubles respiratoires. Cependant, ces effets restent peu perceptibles pour les éleveurs (Guiadeur *et al.*, 2018).

Les travaux d'ores et déjà conduits en élevage sur l'efficacité des huiles essentielles pour la maîtrise des infections mammaires (Le Guenic *et al.*, 2015 ; Anses, 2018), n'ont pas encore abouti à des résultats probants mais d'autres travaux sont actuellement en cours.

8 <http://idele.fr/services/outils/traitement-selectif-au-tarissement.html>

Un rapport récent de l'Anses (Anses, 2018) recense les substances et préparations commerciales qui sont revendiquées, comme étant une solution pour limiter l'usage des antibiotiques chez les animaux dans différentes filières de productions animales. Les préparations commerciales les plus fréquemment citées contiennent majoritairement des plantes, des huiles essentielles, des probiotiques, des acides organiques et des acides gras. Le rapport souligne l'hétérogénéité des données disponibles pour en évaluer l'innocuité et l'efficacité, et la nécessité de travaux approfondis pour lever les incertitudes sur leur efficacité et leur innocuité. L'Anses recommande également de porter la question du statut juridique de ces produits au niveau européen dans le cadre du plan de lutte contre la résistance aux antibiotiques, afin que soient étudiées la pertinence et la faisabilité de créer un statut spécifique pour les produits induisant la réduction de l'usage des antibiotiques, sans les considérer comme des médicaments vétérinaires.

#### a. Réglementation

Il y a en effet consensus sur la nécessité d'adapter le cadre réglementaire pour les produits à base de plantes (Ducrot *et al.*, 2017). Compte tenu de la définition juridique actuelle du médicament vétérinaire (directive 2001/82/CE, Code de la Santé Publique article L 5141-2), dès lors que le produit revendique des indications de prévention et de traitement des maladies infectieuses avec une présentation destinée à une administration à l'animal, il relève du statut de médicament vétérinaire et doit se conformer à cette réglementation et suivre le processus d'évaluation conduisant à une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM). Très peu de ces produits ont actuellement cette AMM.

Dans le cadre de la cascade (article L 5143-4 du Code de la Santé Publique) qui détermine les conditions de prescription en l'absence de médicament vétérinaire approprié autorisé, le vétérinaire peut également prescrire une préparation magistrale à base de drogues végétales et produits dérivés, qui sera fabriquée dans le respect de bonnes pratiques réglementaires de préparation extemporanée. Toutefois

pour les animaux producteurs de denrées, les substances thérapeutiques entrant dans la préparation doivent disposer d'une LMR (Limite Maximale de Résidus). Enfin, le produit à base de plantes peut aussi être considéré dans certains cas comme un additif à l'alimentation animale, avec un effet positif sur la production, le rendement ou le bien-être, en influençant la flore gastro-intestinale ou la digestibilité des aliments pour animaux (fonctions définies par le règlement européen (directive 2009/767/CE)). La réglementation en matière d'alimentation animale doit alors être respectée.

### 3. Appui et accompagnement pour le changement de pratiques

#### ■ 3.1. Diversité de motivations

Confrontés à des injonctions sociales ou réglementaires, les éleveurs sont susceptibles d'adopter différentes attitudes face à l'utilisation d'antibiotiques (Ducrot *et al.*, 2018). Dans une étude menée dans les exploitations de lycées agricoles, a priori sensibilisées car participant à l'enseignement et se devant d'être au fait des préoccupations scientifiques et sociétales, on observe quatre profils types d'utilisation d'antibiotiques, avec une

gradation d'une utilisation systématique d'antibiotiques à une reconfiguration complète vers un système d'exploitation sans antibiotiques (Bluhm et Cholton, 2016). On retrouve ces profils dans les trajectoires d'une cinquantaine d'éleveurs décrits dans les projets de recherche TRAJ et RedAB financés respectivement par le métaprogramme Gestion intégrée de la santé des animaux de l'INRA et le programme CasDAR (Bonnet-Beaugrand *et al.*, 2016). L'intérêt de la typologie des trajectoires (tableau 3) est d'associer les motivations des éleveurs et leurs modes d'apprentissage.

En France, si le suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques par l'Anses est publié chaque année, il n'existe pas de références individuelles d'usage des antibiotiques qui permettraient aux éleveurs de se situer, comme cela peut être le cas dans d'autres pays européens (aux Pays Bas, en Belgique, au Danemark ou en Allemagne) (EMA et EFSA, 2016).

Les motivations des éleveurs à réduire leur usage ne reposent donc pas sur des normes techniques, mais sont intrinsèques. Elles peuvent reposer sur une recherche d'efficacité accrue, mais aussi sur la réponse à l'injonction sociale de réduire l'usage des antibiotiques, voire s'inscrire dans un souhait de conversion de l'élevage à des pratiques plus écologiques (Hill et Mac Rae,

**Tableau 3.** Différents types de trajectoires de changement dans l'usage des antibiotiques, en fonction du déclencheur, des références recherchées et du mode d'usage des antibiotiques (d'après Bluhm et Cholton, 2016 ; Bonnet-Beaugrand *et al.*, 2016).

Trajectoire de changement	Mode d'usage des antibiotiques	Déclencheur	Références
Sans réduction d'usage	Systématiques	Aucun	Diverses références
Substitution aux antibiotiques	À certaines conditions	Volonté de réduire	Formations
	Avec alternatives		
Recherche d'efficacité	Diverses pratiques	Recherche d'efficacité ou problème	Conseil expert
Reconfiguration du système d'élevage	Peu d'antibiotiques nécessaires	Innovation	Échanges avec les pairs

1995). Ces motivations se heurtent à la façon dont les éleveurs appréhendent le risque associé à la diminution d'usage des antibiotiques. En effet, ces derniers constituent une solution économiquement efficace d'assurance contre l'apparition d'un dommage lié à la maladie (Lhermie *et al.*, 2015).

### ■ 3.2. Conseil et accompagnement par les professionnels de santé animale

Pour une partie des éleveurs, l'accompagnement par les conseillers en santé animale (vétérinaire, Groupement de Défense Sanitaire (GDS), technicien) demeure un point clef dans l'application de nouvelles pratiques. Soit les éleveurs restent dans une situation classique, et l'appui de leur conseiller leur permet d'explorer de nouvelles pratiques en confortant leur confiance en eux (Hellec et Manoli, 2018). Soit ils recherchent une efficacité maximale en ayant recours à une expertise scientifique et des solutions éprouvées (Bonnet-Beaugrand *et al.*, 2016).

La réduction des antibiotiques en élevage fait partie intégrante de la formation des vétérinaires. Ainsi, l'usage raisonné des antibiotiques est un des thèmes majeurs de la formation initiale des vétérinaires. Le référentiel de compétences 2017 stipule ainsi dans les compétences attendues : « bonnes pratiques d'administration, notamment l'usage prudent et raisonné des antibiotiques et antiparasitaires », à charge pour les écoles de développer les modalités d'enseignement adéquates. En outre, l'antibiothérapie et l'antibiorésistance constituent un des sujets majeurs de formation continue dispensée par la SNGTV pour les vétérinaires exerçant en productions animales. De nombreux supports ont été et sont mis à disposition *via* le bulletin des GTV, *via* les Journées nationales des GTV qui réservent une large place aux antibiotiques et à leurs effets. Ce thème était central dans l'édition 2010 des journées, un atelier lui est dédié chaque année. Un référentiel paru en 2013 pour les traitements des affections mammaires définit les bonnes pratiques en la matière. Des modules de formation sont régulièrement diffusés en région :

module de formation interne aux GTV et module, élaboré conjointement par la SNGTV et l'administration vétérinaire, déployé dans le cadre de la formation continue au mandat sanitaire. Enfin, un réseau expérimental de référents antibiotiques mis en place récemment permet aux vétérinaires praticiens d'interroger des référents sur des stratégies de diagnostic et/ou de traitements et d'avoir accès à une base documentaire et à des questions récurrentes sur un site dédié.

Cependant, la disponibilité accrue des informations *via* les nouvelles technologies de l'information et la complexité du changement de pratiques – tant dans la décision que dans la mise en œuvre – amènent une redéfinition du rôle des conseillers en élevage, qui dépasse leur rôle usuel d'experts. Leur positionnement évolue ; le vétérinaire et les conseillers accompagnent les éleveurs dans un changement long, avec une co-construction des solutions à apporter et une capitalisation des essais-erreurs (par exemple Rénier *et al.*, 2018).

La convergence des visions entre éleveurs et conseillers a alors un impact sensible sur le changement (Poizat *et al.*, 2017). Cependant, cet impact peut aussi bien être un moteur qu'un frein selon que l'éleveur et son conseiller considèrent la réduction d'antibiotiques comme un acquis déjà dépassé (modèle de production moderne), comme un projet sur lequel ils s'engagent (relation interventionniste) ou comme une contrainte réglementaire externe (relation autonomiste) (Buller *et al.*, 2015). Dans ce dernier cas, tant les éleveurs que les conseillers perçoivent un trop grand risque sur les performances de production pour réduire l'usage des antibiotiques (Frappat *et al.*, 2015 ; Duval *et al.*, 2017).

Pour le vétérinaire, la réduction d'usage des antibiotiques pose aussi des questions déontologiques, économiques et régulatrices du fait de la coexistence de ses deux missions de prescription et de délivrance des médicaments (Fortané, 2016). Les travaux sont contradictoires sur l'importance du conflit d'intérêt qui pourrait limiter l'implication des vétérinaires,

certaines faisant valoir une prescription plus importante des spécialités à forte marge (Kim, 2015 ; Boblin, 2016) et d'autres montrant que l'amélioration de cette même marge n'a pas d'impact sur la prescription (Montesinos, 2016 ; Serrand, 2016). Dans certains pays européens, il est établi un benchmarking entre les pratiques des vétérinaires pour guider l'évolution des prescriptions (Pays-Bas, Belgique, Suisse), chaque vétérinaire voyant son niveau de prescription comparé à celui de ses collègues. Quoi qu'il en soit, le débat renforce la mutation du rôle du vétérinaire de la prescription vers le conseil de long terme davantage fondé sur une approche globale de la santé.

### ■ 3.3. Accompagnement collectif : formation et groupes de pairs

La relation de conseil n'est pas le seul mode d'accompagnement vers la réduction de l'utilisation des antibiotiques, et comme déjà évoqué, nombre d'éleveurs recourent plutôt à des formations pour appréhender des alternatives aux antibiotiques. Ils mènent eux-mêmes des expérimentations dans leur exploitation, souvent sans protocole de validation très établi ni sans en référer à leurs conseillers et vétérinaire usuels (Joly *et al.*, 2016 ; Ducrot *et al.*, 2018). Ces essais peuvent aboutir à un abandon comme à un long processus d'apprentissage et de consolidation des nouvelles pratiques.

Enfin, une autre partie des éleveurs s'appuie sur des groupes de pairs pour partager des expériences, se former, élaborer leur décision. Il peut s'agir de groupes formels (par exemple menés par une chambre d'agriculture ou un centre de partage en agriculture biologique) ou de groupes informels. Parfois, ces groupes se constituent sur des forums virtuels (Phillips *et al.*, 2018). Ce mode d'apprentissage repose sur une longue tradition de démonstrations à la ferme (Burton *et al.*, 2018) ou de formation « au champ » (« *farmer field school* », Cooreman *et al.*, 2018). Labarthe estime que c'est le mode principal de diffusion des pratiques innovantes (Labarthe, 2010). Des expériences prometteuses sur la réduction d'antibiotiques ont

ainsi été menées au Danemark (sous le nom de « *stable schools* », école à l'étable) (Vaarst *et al.*, 2007) et en Angleterre (Morgans *et al.*, 2018). Dans les deux cas, le rôle du facilitateur a été souligné, pour aider à l'élaboration de plans d'actions suivis. En France, les conseillers en élevage associent conseil et démarches collectives (Kling et Frappat, 2010 ; Ruault, 2015). Ainsi une formation aux méthodes alternatives aux antibiotiques peut laisser une large part à l'échange d'expérience (Joly *et al.*, 2017). Il peut même s'agir d'une démarche centrée sur la co-construction de solutions innovantes. C'est le pari que fait le projet Co-Innobios financé par le plan EcoAntibio sur le développement de mesures de biosécurité en élevage bovin allaitant.

En s'appuyant sur ces trois modalités à la fois, recours à l'expertise, formation et échanges entre pairs, le projet CasDAR RedAB a mené une expérimentation qui associe un suivi par un conseiller en élevage et des classes virtuelles où le formateur a un double rôle d'apport de connaissances et de facilitation des échanges entre éleveurs (Poizat *et al.*, 2018a).

### ■ 3.4. Approches à l'échelle de la filière

À une échelle plus large, les filières de productions animales se sont associées aux actions du plan EcoAntibio, en partie par conviction, en partie pour anticiper un risque portant sur leur réputation ou sur une éventuelle réglementation interdisant l'usage préventif des antibiotiques. Une segmentation des productions en fonction de l'utilisation ou non d'antibiotiques, avec une valorisation de produits « sans antibiotique » auprès du consommateur, serait possible, mais n'est pas pratiquée dans la filière bovine française à ce jour. Par ailleurs, la valorisation des produits par les labellisations de qualité existantes a des impacts contradictoires sur l'usage d'antibiotiques. Le cahier des charges de l'agriculture biologique limite l'utilisation d'antibiotiques, notamment en prévention, mais ne l'interdit pas, et on observe les mêmes mésusages chez les éleveurs de la filière agriculture biologique qu'en filière conventionnelle

(Poizat *et al.*, 2017). De plus, on constate davantage d'observance, mais aussi d'usages d'antibiotiques dans certaines filières avec un label de qualité qu'en filière conventionnelle (Fabreguettes, 2017).

Dans la filière allaitante, les différents acteurs de la chaîne de valeur échangent jusqu'ici peu ou pas d'information sur les questions de santé et n'en font pas un élément de négociation (Poizat *et al.*, 2018b). Pourtant, des initiatives existent, principalement à l'initiative des intermédiaires entre naisseurs et engraisseurs. Une coopérative de l'Ouest de la France met ainsi à disposition de ses adhérents engraisseurs une évaluation des risques sanitaires basée sur des outils innovants élaborés dans le cadre d'un projet PSDR pour leur permettre d'adopter des modes de traitement plus sélectifs. D'autres dispositifs plus largement adoptés promeuvent un protocole validé de vaccination des brouards chez les naisseurs, moyennant une prime complémentaire à l'achat par l'engraisser.

La filière laitière dispense depuis longtemps des messages clés à la fois sur la maîtrise des numérations cellulaires des troupeaux et sur le respect du délai d'attente avant remise en production du lait produit par une vache traitée aux antibiotiques. Ces normes ont pour objet de préserver tant la santé du consommateur que les capacités de transformation du lait par les flores d'intérêt technologique.

Il manque actuellement des travaux permettant d'explorer le consentement à payer du consommateur pour des produits issus d'animaux élevés sans antibiotique, les relations entre acteurs ou le seuil au-delà duquel les coûts de la réduction à l'échelle de la filière sont supérieurs aux bénéfices attendus (Rushton, 2015 ; Raboisson *et al.*, 2016 ; Lhermie *et al.*, 2017).

## 4. Perspectives

En filières bovines, comme dans les autres filières d'ailleurs, un travail important de prise de conscience des risques liés à l'usage des antibiotiques a été

mené grâce entre autres à la dynamique portée par le plan EcoAntibio. Il en est résulté diverses actions réglementaires et techniques destinées à réduire l'usage des antibiotiques en général et cibler particulièrement certains antibiotiques dits critiques. De fait, la consommation d'antibiotiques a diminué au fil du temps et cela devrait encore continuer si certaines actions conduites actuellement diffusent largement dans la population, à titre d'exemple le traitement sélectif au tarissement.

Malgré les recommandations d'usage formulées par la profession vétérinaire, l'usage des antibiotiques garde néanmoins une assez forte part de subjectivité. Dans cet esprit, des actions conduites en Europe du Nord ont permis une avancée remarquable. Basées sur la mesure de consommation d'antibiotiques par élevage avec comparaison aux autres élevages, ces actions visent la prise de conscience de la situation et des marges de progrès possibles ; elles sont suivies d'actions volontaires avec la coopération du vétérinaire. La filière veau de boucherie est entrée dans une démarche de ce type, qui devrait être objet de réflexion pour les autres filières afin de voir de quelle manière de telles approches pourraient être utilisées sans être perçues, ni utilisées comme outil de sanction.

Sur le plan technique, le développement de l'utilisation des capteurs en élevage et les outils liés aux biotechnologies pourraient permettre pour certaines maladies une amélioration des capacités de dépistage précoce, de diagnostic précis, et d'optimisation des traitements. Des questions se posent néanmoins sur la valeur prédictive de ces tests et leur usage en routine. Différentes équipes de recherche mènent des investigations dans ces domaines. Plus en amont, certaines équipes de recherche tablent sur un potentiel d'amélioration de la résistance des animaux et de l'immunité par des approches nutritionnelles particulières, par la manipulation du microbiote intestinal, par le potentiel génétique des animaux, et des travaux sont menés dans ce sens. Enfin, des études sont conduites sur le potentiel de molécules ou approches qui pourraient représenter dans certains cas des

alternatives thérapeutiques aux antibiotiques, notamment les peptides antimicrobiens (petites molécules produites par les organismes vivants et ayant des activités bactéricides), certains extraits végétaux, les bactériophages (virus ayant la capacité de détruire des bactéries, mécanisme appelé phagothérapie) ou la manipulation du « *quorum sensing* » (dialogue moléculaire entre bactéries qui déclenche certaines propriétés particulières des colonies de bactéries) (Ducrot *et al.*, 2017).

Les travaux conduits sur la compréhension des usages d'antibiotiques ouvrent d'autres perspectives qui impliquent pour certaines une remise en question de certaines formes d'organisation des professionnels. En voici principalement trois. La première concerne une évolution de l'organisation de la filière d'engraissement des brouards pour limiter les risques de maladies respiratoires et l'usage d'antibiotiques en métaphylaxie. Une évolution des modalités d'allotement pour limiter les risques de maladie (taille et mode de constitution des lots,

conditions de transport), la préparation des brouards à l'allotement incluant la vaccination, et la juste répartition de la plus-value de ces mesures entre naisseur et engraisseur, seraient de nature à réduire l'utilisation d'antibiotiques dans cette filière. La filière des veaux de boucherie est elle aussi assez forte utilisatrice d'antibiotiques. Une analyse de la chaîne de valeur le long de la filière, du naisseur à l'engraisseur, et des conditions de transport, d'allotement et d'engraissement devrait donner des pistes pour améliorer la santé des veaux et réduire le besoin en antibiotiques. La troisième thématique concerne l'évolution du conseil en élevage pour proposer une approche plus globale et intégrée de la santé. L'offre de service de la profession vétérinaire ne correspond qu'imparfaitement à la demande de certains types d'éleveurs qui sont dans l'attente d'un conseil différent, avec un autre rapport entre conseiller et éleveur et un autre rapport du vétérinaire à la vente d'antibiotiques. Des travaux et réflexions sur chacune de ces questions ont été amorcés et doivent être poursuivis.

## Conclusion

Des avancées importantes ont été faites depuis une dizaine d'années pour rationaliser et diminuer l'utilisation des antibiotiques en élevage bovin. Certaines pistes méritent d'être poursuivies pour aller plus loin dans cette démarche, que ce soit sur le terrain ou en recherche. Dans tous les cas, les progrès à venir nécessitent des approches intégrées entre acteurs qui peuvent avoir des points de vue et des intérêts différents. La dynamique impulsée par le plan EcoAntibio devrait être un atout pour amener les partenaires autour d'une même table et les stimuler pour lever les blocages et inventer des solutions face aux difficultés à résoudre.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ANMV pour la fourniture des données sur la vente des médicaments vétérinaires.

## Références

- Anses, 2014a. Avis de l'Anses Saisine n° 2011-SA-0071 et rapport d'expertise sur « les risques d'émergence d'antibiorésistance liés au mode d'utilisation des antibiotiques dans le domaine de la santé animale. 240p.
- Anses, 2014b. Suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques en France en 2013. Rapport annuel, 73p.
- Anses, 2017. Suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques en France en 2016. Rapport annuel, 108p.
- Anses, 2018. Avis de l'Anses Saisine n° 2013-SA-0122. Saisines liées n° 2011-SA-0071 et 2012-SA-0067. Avis de l'Anses relatif à l'état des lieux des alternatives aux antibiotiques en vue de diminuer leur usage en élevage. Élaboration d'une méthode d'évaluation des publications scientifiques et résultats, 208p.
- Barbat-Leterrier A., Leclerc H., Philippe M., Fritz S., Daviere J.B., Manciaux L., Guillaume F., De Bretagne T., Boichard D., 2016. GénoSanté : Améliorer la santé productive des vaches laitières par la sélection génomique et la conduite d'élevage : Une première étape avec l'acétonémie. *Renc. Rech. Rum.*, 23, 153-156.
- Blériot G., Roussel P., Thomas G., 2013. PARABOV : Référentiel pour la collecte des lésions de pied des bovins. *Renc. Rech. Rum.*, 20, 395.
- Bluhm J., Cholton M., 2016. Plan Ecoantibio. Un état des lieux dans les exploitations d'enseignement technique agricole en 2016. Rapport, CEZ – Bergerie nationale de Rambouillet, France.
- Boblin A., 2016. Analyse statistique des relations entre structures vétérinaires et laboratoires pharmaceutiques. Rapport de stage, directeur Raboisson D, Université Paul Sabatier, Toulouse, France.
- Bonnet-Beaugrand F., Bareille N., Defois J., Fortane N., Frappat B., Gros A., Joly N., Samedi C., 2016. Step by step toward reduction in antibiotics in French dairy cattle farms : a typology of trajectories of change based on learnings and advice. In: 12<sup>th</sup> Eur. IFSA Symp., Harper Adams University, Newport, UK, 16p
- Buller H., Hinchliffe S., Hockenull J., Barrett D., Reyher K., Butterworth A., Heath C., 2015. Systematic review and social research to further understanding of current practice in the context of using antimicrobials in livestock farming and to inform appropriate interventions to reduce antimicrobial resistance within the livestock sector. Rapport, 75 p, London, UK.
- Burton R.J.F., Sutherland L.A., Hardy C., 2018. Demonstration farms in historical context. Abstract In: 13<sup>th</sup> Eur. IFSA Symp., Chania, Greece, 1-5 July 2018.
- Chanteperdrix M., Martineau C., Lefebvre T., 2016a. ANTIBIOVO : Intérêt et efficacité de solutions alternatives aux antibiotiques utilisés en production de veaux de boucherie. Journées Nationales des GTV, Nantes, France, 919-926.
- Chanteperdrix M., Moulin G., Parois A., Orlianges M., 2016b. Observatoire pérenne de l'usage des antibiotiques en filière veau de boucherie. *Renc. Rech. Rum.*, 23, article 4393.
- Cooreman H., Vandenabeele J., Debruyne L., Ingram J., Chiswell H., Koutsouris A., Pappa E., Marchand F., 2018. Development process of a conceptual framework to investigate the role of peer learning processes at on-farm demonstrations in the light of sustainable agriculture. In: 13<sup>th</sup> Eur. IFSA Symp., Chania, Greece, 1-5 July 2018, 15 p.
- DANMAP, 2016. Use of antimicrobial agents and occurrence of antimicrobial resistance in bacteria from food animals, food and humans in Denmark. 132p, ISSN 1600-2032.
- David V., Beaugrand F., Gay E., Bastien J., Ducrot C., 2018. Evolution de l'usage des antibiotiques en filières bovins lait et bovins viande : état d'avancement et perspectives. *Renc. Rech. Rum.*, 24, 12 p.
- Deleu A., 2015. Les freins et motivations à la vaccination en élevage bovin : résultats d'études qualitative et quantitative. *Bull. Acad. Vét. France*, 168, 2, 184-189.
- Ducrot C., Fric D., Lalmanach A.C., Monnet V., Sanders P., Schouler C., 2017. Perspectives d'alternatives thérapeutiques antimicrobiennes aux antibiotiques en élevage. *INRA Prod. Anim.*, 30, 1, 77-88.

- Ducrot C., Adam C., Beaugrand F., Belloc C., Bluhm J., Chauvin C., Cholton M., Collineau L., Faisnel J., Fortane N., Frappat B., Hellec F., Hemonic A., Joly N., Lhermie G., Magne M.A., Paul M., Poizat A., Raboisson D., Rousset N., 2018. Apport de la sociologie à l'étude de la réduction d'usage des antibiotiques en élevage. *INRA Prod. Anim.*, 31, 307-324.
- Duval J., Bareille N., Fourichon C., Madouasse A., Vaarst M., 2017. How can veterinarians be interesting partners for organic dairy farmers? French farmers' point of views. *Prev Vet Med*, 146, 16-26.
- European Medicines Agency, European Food Safety Authority, 2016. EMA and EFSA Joint Scientific Opinion on measures to reduce the need to use antimicrobial agents in animal husbandry in the European Union, and the resulting impacts on food safety (RONAFA). Avis décembre 2016. <https://doi.org/10.2903/j.efs.a.2017.4666>, 245p.
- European Medicines Agency European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption, 2017. Sales of veterinary antimicrobial agents in 30 European countries in 2015. 178p.
- Fabreguettes T., 2017. Analyse des usages d'antibiotiques dans trois filières allaitantes. Thèse de Doctorat vétérinaire, Toulouse, France.
- FAO, 2016. The FAO action plan on antimicrobial resistance 2016-2010. Report 25p.
- Fortané N., 2016. Le problème public de l'antibiorésistance en élevage : essai de généalogie et caractérisation. *Questions de communication*, 29, 49-66.
- Frappat B., Bareille N., Oulhen C., Fourichon C., Declerck E., 2012. La biosécurité dans les élevages bovins du grand ouest : un défi à relever. *Renc. Rech. Rum.*, 19, 141.
- Frappat B., Trou G., le Guenic M., François J., 2015. Maîtrise du parasitisme en élevage bovin lait : des marges de progrès restent à conquérir. *Renc. Rech. Rum.*, 22, 32.
- Guattéo R., Relun A., Douart, Auzanneau M.M., Bareille N., 2010. Efficacité des antibactériens dans le traitement des affections podales chez les bovins et risques associés à leur utilisation. Journée nationale des GTV, Lille, France, 196-201.
- Guiadeur M., Mounaix B., Brun Lafleur L., Michel L., Boullier J., Assié S., 2018. PHEROVEAU : une solution pour réduire l'utilisation des antibiotiques pour les brouards en engraissement ? *Renc. Rech. Rum.*, 25, sous presse.
- Hellec F., Manoli C., 2018. Soigner autrement ses animaux : la construction par les éleveurs de nouvelles approches thérapeutiques. *Econ. Rurale*, 363.
- Hill S.B., Mac Rae R.J., 1995. Conceptual frameworks for the transition from conventional to sustainable agriculture. *J. Sust. Agric.*, 7, 81-87.
- Hulbert L.E., Moisé S.J., 2016. Stress, immunity, and the management of calves. *J. Dairy Sci.*, 99, 3199-3216
- Institut de l'Élevage, 2018. Indexation Bovine Laitière 2018-2.
- Jarrige N., Cazeau G., Morignat E., Chantepedrix M., Gay E., 2017. Quantitative and qualitative analysis of antimicrobial usage in white veal calves in France. *Prev. Vet. Med.*, 144, 158-166.
- Joly N., Adam C., Bonnet-Beaugrand F., Defois J., Ducrot C., Fortané N., Frappat B., Gros A., Hellec F., Manoli C., Paul M., 2016. Experiments in animal farming practices: the case of antibiotic reduction in livestock (France). In: 12<sup>th</sup> Eur. IFSA Symp., Harper Adams University, UK, 15p.
- Joly N., Dégrange B., Mayade P., 2017. Soigner autrement. Parcours d'éleveurs vers l'agroécologie. DVD 26 mn, Educagri Éditions.
- Journal officiel, 2015. Arrêté du 22 juillet 2015 relatif aux bonnes pratiques d'emploi des médicaments contenant une ou plusieurs substances antibiotiques en médecine vétérinaire. JORF n°0209 du 10 septembre 2015 page 15809, texte n° 10, NOR: AFSP1517963A ELI: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2015/7/22/AFSP1517963A/jo/texte>
- Kim J., 2015. What are behind the contracts between pharmaceutical firms and veterinary offices? Rapport de stage, directeur Raboisson D. École Nationale de Formation Agronomique, Toulouse, France.
- Kling F., Frappat B., 2010. Apports de la sociologie pour des actions en santé animale auprès des éleveurs. *Epidémiol. Santé Anim.*, 58, 63-79.
- Laanen M., Maes D., Hendriksen C., Gelaude P., de Vliegher S., Rosseel Y., Dewulf J., 2014. Pig, cattle and poultry farmers with a known interest in research have comparable perspectives on disease prevention and on-farm biosecurity. *Pre.v Vet. Med.*, 115, 1-2, 1-9.
- Labarthe P., 2010. Services immatériels et verrouillage technologique. Le cas du conseil technique aux agriculteurs. *Revue gazette du palais*, 44, 2, 173-196.
- Le Guenic M., Gres M., François J., Kuntz G., Trou G., 2015. Utilisation d'alternatives aux antibiotiques par des éleveurs laitiers en Bretagne et éléments d'évaluation de leur efficacité. *Renc. Rech. Rum.*, 22.
- Lhermie G., Raboisson D., Krebs S., Dupraz P., 2015. Facteurs déterminants et leviers de réduction de l'usage des antibiotiques en productions animales. *Écon. Rurale*, 348, 3-22.
- Lhermie G., Grohn Y.T., Raboisson D., 2017. Addressing antimicrobial resistance: an overview of priority actions to prevent suboptimal antimicrobial use in food-animal production. *Front Microbiol*, 7, 2114.
- Minery S., 2016. Genetics, a tool to prevent mastitis in dairy cows. 6<sup>th</sup> Int. Conf. on Mastitis, Nantes., France, 7-9 september 2016. Communication orale.
- Ministère de l'agriculture, 2016. Le plan ecoantibio 2012-2016 – Synthèse et principales réalisations. Rapport 24p.
- Ministère de l'agriculture, 2017. Ecoantibio 2 : plan national de réduction des risques d'antibiorésistance en médecine vétérinaire (2017 – 2021). Rapport 20p.
- Mlala S., Jarrige N., Gay E., 2018. Estimation de l'utilisation des antibiotiques par les éleveurs de bovins laitiers et allaitants : enquête de terrain basée sur les documents d'élevage. *Bulletin Épidémiologique Santé animale – alimentation*, 84, 1, 1-5
- Montesinos T., 2016. Analyse des contrats entre structures vétérinaires et laboratoires pharmaceutiques en France entre 2008 et 2014. Thèse de doctorat vétérinaire, Toulouse, France.
- Morgans L., Bolt S., van Dijk L., Buller H., Escobar M. P., Reyher K., Main D., 2018. Farmer Action Groups- A participatory approach to reducing antimicrobial use on UK dairy farms, In: 13<sup>th</sup> Eur. IFSA Symp., Chania, Greece, 1-5 July 2018, 17 p
- Mounaix B., Thirion M., David V., 2015. Biosécurité dans les élevages bovins français : représentations et attentes des éleveurs. *Renc. Rech. Ruminants*, 22, 160.
- Mounaix B., Brun-Lafleur L., Assié S., Jozan T., 2018. Comparaison de trois modalités de vaccination contre les troubles respiratoires dans les élevages commerciaux d'engraissement de jeunes bovins. *Renc. Rech. Rum.*, 25.
- OIE, 2016. The OIE strategy on antimicrobial resistance and the prudent use of antimicrobials. Report 12 p.
- Phillips T., Klerkx L., McEntee M., 2018. An investigation of social media's roles in knowledge exchange by farmers, In: 13<sup>th</sup> Eur. IFSA Symp., Chania, Greece, 1-5 July 2018, 12p.
- Poizat A., Bonnet-Beaugrand F., Rault A., Fourichon C., Bareille N., 2017. Antibiotic use by farmers to control mastitis as influenced by health advice and dairy farming systems. *Prev. Vet. Med.*, 146, 61-72.
- Poizat A., Frappat B., Corbel S., Roussel P., Le Guenic M., Bonnet-Beaugrand F., Duval J., Bareille N., 2018a. Learnings from an exploratory implementation of an innovative training-program to reduce antibiotic use in the dairy sector, In: 13<sup>th</sup> Eur. IFSA Symp., Chania, Greece, 1-5 July 2018, 15p.
- Poizat A., Duvaléix-Tréguer S., Bonnet-Beaugrand F., Rault A., 2018b. Organisation du marché des brouards en France Métropolitaine, transmission de l'information et qualité : des éléments de compréhension. *Econ. Rurale*. En révision.
- Raboisson D., Dervillé M., Lhermie G., 2016. The economics of AMR/AMU in veterinary medicine: externality, futurity and globality. In: Réseau ERIAH meeting.
- Rénier L., Cardona A., Lécivain E., 2018. New arrangements for an agroecological management of animal health. The case of French farmers learning homeopathy. In: 13<sup>th</sup> Eur. IFSA Symp., Chania, Greece, 1-5 July 2018, 14p.
- Roussel P., Bareille N., Ribaud D., Serieys F., Robert A., Le Guenic M., Baudet H., Poutrel B., Seegers H., Heuchel V., 2006. Utilisation des concentrations cellulaires du lait pour le choix des vaches à traiter au tarissement. *Renc. Rech. Rum.*, 13, 427-430.
- Roussel P., Le Page P., Bosquet G., 2016. La mise en place du traitement sélectif au tarissement : une démarche conjointe éleveur/vétérinaire. *J. Nationales GTV Nantes*, 919-926.

Ruault C., 2015. Le rôle des groupes dans l'évolution des pratiques et la maîtrise de la santé animale. Casdar Synergie, Rapport, 2015.

Rushton J., 2015. Antimicrobial Use in Animal: how to assess the trade offs. Zoonoses Public Health, 62, 1, 10-21.

Sarrazin S., Cay A.B., Laureyns J., Dewulf J., 2014. A survey on biosecurity and management practices in selected Belgian farms. Prev. Vet. Med., 117, 129-139.

Serrand T., 2016. Usage des antibiotiques en élevage bovin en France de 2008 à 2013. Thèse de doctorat vétérinaire, Toulouse, France.

SNGTV, 2013. Référentiel vétérinaire 2013 de traitement des mammites bovines. Rapport, 98p. [http://www.sngtv.org/4DACTION/NS2013\\_TELECHARGEMENT\\_ACTION/5337](http://www.sngtv.org/4DACTION/NS2013_TELECHARGEMENT_ACTION/5337)

Sulpice P., Gay E., Dumas P.-L., Fauriat A., Frenois D., 2017. Exposition aux antibiotiques dans les troupeaux bovins : variabilité de l'indicateur ALEA et recherche

de facteurs explicatifs. Journées nationales des GTV, Reims, France, 629-638.

Vaarst M., Nissen T.B., Østergaard S., Klaas I.C., Bennedsgaard T.W., Christensen J., 2007. Danish stable schools for experiential common learning, in groups of organic dairy farmers. J. Dairy Sci., 90, 2543-2554 M.

WHO, 2016. Plan d'action mondial pour combattre la résistance aux antimicrobiens, Rapport, 32p.

## Résumé

Cet article présente les actions récentes conduites en France pour réduire l'usage des antibiotiques en filières bovines dans le cadre du plan EcoAntibio. Les données sur la vente et l'usage d'antibiotiques montrent une diminution globale au fil des années, notamment pour les antibiotiques critiques, différente selon les filières. Les différents partenaires de l'élevage se sont mobilisés pour agir chacun à son niveau et de manière coordonnée pour contribuer à une rationalisation des usages d'antibiotiques. Sont notamment présentées les actions conduites pour promouvoir la biosécurité dans les élevages, l'évolution de certaines pratiques d'élevage et de conseil, l'amélioration des bâtiments d'élevage et la vaccination. Concernant les pratiques vétérinaires, des évolutions réglementaires ont été mises en œuvre ; la profession vétérinaire les a accompagnées de recommandations précises en matière de prescription antibiotique. L'utilisation des alternatives thérapeutiques est évoquée, avec ses limites, difficultés et contraintes réglementaires. Divers résultats issus des sciences humaines et sociales sont aussi abordés, concernant les points de vue et représentations des acteurs sur l'usage des antibiotiques, les conditions d'une diminution d'usage dans les élevages, les difficultés rencontrées quand différents acteurs sont impliqués. Diverses perspectives sont proposées, d'ordre technique, sociologique et organisationnel.

## Abstract

### **Evolution of antimicrobial usages in dairy and beef cattle industries: state of progress and prospects**

*This paper presents the actions carried out to allow a decrease of the use of antimicrobials in the French cattle industry during the EcoAntibio action plan. The data on antimicrobial sales and uses show a global decrease along the years, especially for critically important antimicrobials, with a contrast depending on the type of production. The different partners in the cattle industry have been strongly involved in taking actions, each at its level, and in a coordinated way with the others, in order to contribute to a rationalized use of antimicrobials. This paper presents actions carried out to promote biosecurity measures on farms, the change of different husbandry and adviser practices, the improvement of farm housing and the use of vaccination. The veterinary profession has proposed clear guidelines for antimicrobials prescription, and different regulatory measures were implemented. The use of therapeutic alternatives is presented, with the difficulties encountered and the regulatory constraints. Different outputs from social sciences are presented, concerning the points of view and representations on antimicrobials use, the conditions required to decrease this use of antimicrobials on farms, and the difficulties related to the involvement of different stakeholders. Different perspectives are proposed, from a technical, sociological and organizational point of view.*

DAVID V., BEAUGRAND F., GAY E., BASTIEN J., DUCROT C., 2019. Évolution de l'usage des antibiotiques en filières bovins lait et bovins viande : état d'avancement et perspectives. In : Numéro spécial. De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 291-304.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2485>



# Intégrer les changements d'échelle pour améliorer l'efficacité des productions animales et réduire les rejets

Philippe FAVERDIN, Jaap VAN MILGEN  
PEGASE, INRA, Agrocampus Ouest, 35590, Saint-Gilles, France  
Courriel : philippe.faverdin@inra.fr

■ Rechercher des animaux et des conduites permettant de produire en consommant moins de ressources alimentaires est une voie prometteuse pour répondre aux défis de l'élevage. Quels sont les gains possibles que l'on peut attendre de systèmes d'élevage plus efficaces ? Peut-on améliorer l'efficacité pour tous les défis simultanément ou existe-t-il des dilemmes ? Cette revue discute les avancées dans ce domaine en insistant sur l'importance d'étudier le changement d'échelle dans les solutions proposées pour garantir les bénéfices espérés.

## Introduction : L'élevage en perte de légitimité

Aujourd'hui, le contexte de l'élevage a beaucoup évolué et il vit une tension de plus en plus grande entre, d'une part, le citoyen qui y voit souvent de la souffrance animale, des émissions polluantes, une forte emprise sur les terres arables et une concurrence pour l'alimentation humaine et, d'autre part, le consommateur qui reste très demandeur des produits animaux pour améliorer son alimentation. L'élevage est passé historiquement d'une position d'auxiliaire des systèmes de culture et de transformateur de ressources non consommables à une position de premier consommateur des produits des systèmes de culture. Les engrais, la motorisation et la spécialisation des systèmes ont été des moteurs de cette évolution. La question de la durabilité de l'élevage n'est donc pas tant d'assurer la pérennité des systèmes d'élevage tels qu'ils sont aujourd'hui, que de voir comment l'élevage peut contribuer au développement durable dans le

contexte d'une population de 9 milliards d'êtres humains sur une planète dont la finitude des ressources devient palpable.

L'enjeu est donc de résoudre la tension importante dans ce contexte entre produire plus et produire mieux, avec moins de nuisances. La publication du rapport FAO « *Livestock's Long Shadow* » (FAO, 2006) a mis en évidence l'impact de l'élevage sur l'environnement. La mesure de l'importance du changement climatique et du rôle potentiel de l'élevage dans les émissions de gaz à effet de serre a fait émerger un problème environnemental nouveau et global, faisant suite aux impacts plus locaux ou territoriaux déjà connus de l'eutrophisation, de l'acidification et de la biodiversité. Cet impact est encore plus fort pour les ruminants en raison des fermentations entériques et des émissions de méthane, puissant gaz à effet de serre (GES), qu'elles génèrent. Le poids de l'élevage sur l'occupation des sols apparaît également très important, mais ces analyses ne pondèrent pas les sols suivant leur potentiel agronomique, ne distinguant

souvent même pas les terres arables des autres. L'étude Agrimonde (rapport INRA-CIRAD, 2009) et le livre de Daniel Nahon (2012) insistent sur la finitude des terres labourables et les limites d'expansion des surfaces cultivées compte tenu de la dégradation actuelle des sols cultivés. Réduire l'emprise de l'élevage sur les terres labourables est donc un enjeu majeur, mais leur rôle dans la conservation de ces sols, de leur matière organique et de leur biodiversité est essentiel.

L'amélioration de l'efficacité des productions animales est une piste intéressante à la fois pour diminuer l'utilisation des ressources en compétition en particulier avec l'alimentation humaine et réduire les impacts sur l'environnement. À ce titre elle a été et est encore largement explorée ces dernières années, notamment à l'échelle animale dans de grands projets nationaux (« *Beefefficiency* » aux USA, Deffilait et Beefalim en France) ou internationaux (projets européens « *Feed-a-Gen* » et « *GenTore* »). Cependant il convient de resituer les gains d'efficacité possibles

à des échelles plus agrégées pour en évaluer la performance. Cette revue discutera dans un premier temps la difficulté de la notion même d'efficacité et de son évaluation. Les pistes d'amélioration de l'efficacité alimentaire dans le domaine de la production de viande et de lait seront ensuite évoquées pour évaluer les marges de progrès et les limites de ces approches. Les pistes pour essayer de réduire les rejets à risque vers l'environnement seront ensuite abordées. Enfin, la dernière partie se proposera d'étudier dans quelle mesure il est possible ou non de retrouver lorsque l'on change d'échelle vers des niveaux plus globaux les effets bénéfiques des stratégies proposées à des échelles animal-troupeau pour améliorer l'efficacité alimentaire et réduire les impacts sur l'environnement.

## 1. L'efficacité : de quoi parle-t-on ?

### ■ 1.1. Définition

L'efficacité est définie généralement comme un ratio entre produits et ressources. Un processus est d'autant plus efficace qu'il est capable de produire plus à partir des mêmes ressources ou

de produire autant en réduisant les ressources utilisées. Cependant, on peut définir de très nombreuses efficacités suivant les produits et ressources (ou impacts) que l'on considère et les unités que l'on utilise (matière sèche, énergie, protéines, euros...). La notion d'efficacité ne prend donc pleinement son sens que dans un cadre plus large d'analyse systémique. Dans leur analyse du problème du système alimentaire mondial, Rastoin et Gherzi (2010) rappellent la pertinence du modèle du triangle de la performance de Gilbert (figure 1) qui place l'efficacité comme un des éléments clés, mais pas unique, de l'amélioration de la performance. Celle-ci doit se raisonner en regard de la pertinence des moyens utilisés et de l'efficacité obtenue.

La pertinence consiste à mettre en adéquation les objectifs avec les ressources et moyens disponibles. L'efficacité permet d'utiliser avec le meilleur rendement les ressources disponibles pour une activité en fonction de cette pertinence. Enfin l'efficacité permet de mesurer l'écart entre les résultats et les objectifs recherchés. Ce triangle, souvent considéré sous un angle purement économique, s'adapte bien à la question du système alimentaire et de la place

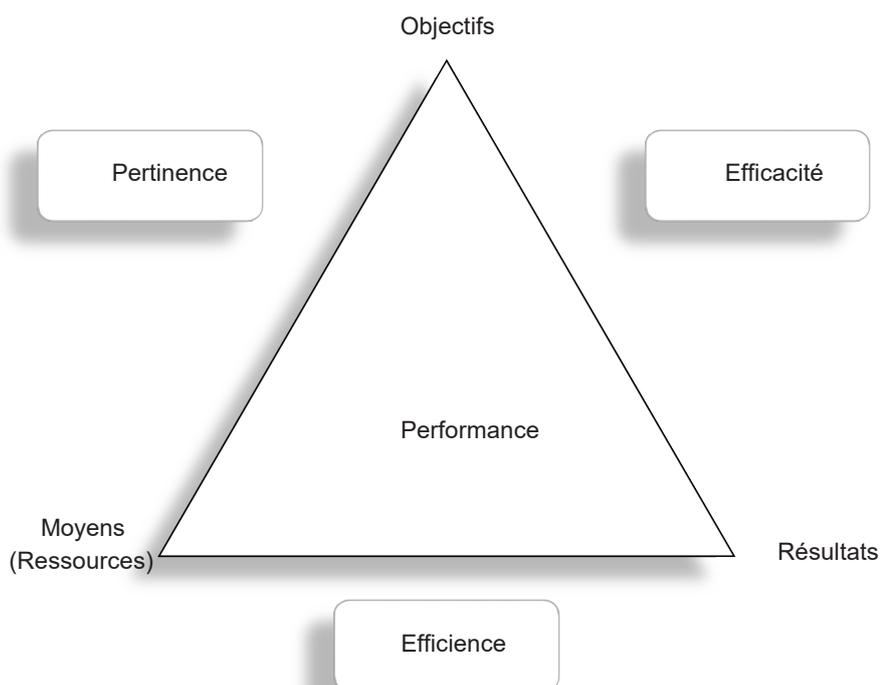
de l'élevage. C'est donc bien ces trois dimensions construites de façon cohérente qui doivent structurer demain la réflexion sur le positionnement de l'élevage et les systèmes d'élevage dans le défi de l'agroécologie face au système alimentaire mondial.

### ■ 1.2. Pertinence : Raisonner la place de l'élevage dans la valorisation des ressources

L'élevage a tendance à valoriser de plus en plus de ressources utilisables par l'Homme au nom d'une meilleure efficacité alors qu'il devrait d'abord servir à valoriser les ressources que l'Homme utilise peu ou pas à des fins alimentaires. Dans ce domaine, la première place revient clairement aux ruminants qui restent les seuls animaux à valoriser à des fins alimentaires des quantités importantes de biomasses cellulosiques que l'Homme ne sait pas valoriser autrement que pour la transformation énergétique. Cependant les monogastriques peuvent également valoriser de nombreuses ressources alimentaires non consommées par l'Homme. Dans l'alimentation humaine, la biomasse végétale concerne essentiellement les fruits (grains et graines, gousses, fruits), les racines et les tubercules des végétaux cultivés. Même ces produits destinés à la consommation humaine génèrent une part importante de coproduits, de sous-produits et de déchets non consommés par l'Homme. Les autres produits de la biomasse végétale, riches en cellulose, sont peu utilisés directement, mais représentent l'essentiel de la biomasse produite par la photosynthèse (FranceAgriMer, 2012).

Historiquement, les ruminants, tout en produisant de la viande, du travail et du lait, valorisent quant à eux les ressources cellulosiques, le cas échéant prélevées sur le « *saltus* » dans le cas du pastoralisme, et permettent de recycler la matière organique et transférer les éléments fertilisants vers les sols cultivés de l'« *ager* » afin d'accroître les rendements des cultures. Les monogastriques avaient un rôle essentiel dans la valorisation des déchets de l'alimentation humaine et de ressources naturelles peu exploitées par l'Homme

Figure 1. Le triangle de la performance (Rastoin et Gherzi, 2010).



comme les insectes ou les annélides. Si l'agriculture familiale était particulièrement à même d'utiliser ruminants, porcs et volailles pour jouer ce rôle dans le fonctionnement de l'agroécosystème, les systèmes d'élevages industriels ont considérablement réduit cette dimension, utilisant beaucoup plus de ressources alimentaires valorisables aussi par l'Homme. Il faut cependant nuancer ce propos car de nombreuses productions animales peuvent produire presque autant de protéines consommables qu'elles n'en consomment (Laisse *et al.*, 2018). Il convient donc de transposer ce principe de valorisation de bio-ressources peu ou pas consommées par l'Homme dans nos modes de production modernes en créant des circuits d'échanges de ressources, de diversification des assolements et d'organisation de l'occupation des territoires qui profitent des plus-values de l'élevage tout en préservant les cultures de rente pour l'Homme.

Pour raisonner la pertinence, il faut privilégier l'approche globale des impacts et de l'utilisation des ressources dans les territoires pour les objectifs de production souhaités (ou souhaitables) avant de concevoir les systèmes de productions et leur évaluation. De même, la capacité de résilience face aux impacts d'utilisation des ressources doit être prise en compte. La spécialisation des systèmes de production a conduit à optimiser chaque système spécialisé indépendamment de son environnement. Mais cette approche néglige la dimension systémique en considérant implicitement que la meilleure performance résulterait obligatoirement de la somme des systèmes unitaires les plus performants. Cette vision totalement agrégative était particulièrement adaptée à une recherche disciplinaire. Ce postulat a conduit à améliorer chacun des processus sans se préoccuper des conséquences sur les autres. S'il est peut-être pertinent dans un espace sans contraintes et avec peu d'interactions, il est clair que ce n'est pas le cas aujourd'hui. Pour la production bovine, il est difficile de conserver à une échelle globale les bénéfices techniques et environnementaux en partant des processus élémentaires à cause des interactions entre les entités du système global (Faverdin et Peyraud, 2010). Ce verrou rend peu

crédible une approche uniquement analytique du perfectionnement des processus pour améliorer l'efficacité des productions animales. L'évaluation multicritère est intéressante, mais elle montre ses limites à l'échelle du système de production sans une approche globale préalable, car elle prend difficilement en compte la dimension de l'allocation optimale de ressources ou de capacités productives d'un territoire. Les ressources en eau, l'utilisation des terres en fonction de leur potentiel et de leurs facteurs de risques, les charges maximales acceptables de polluants, les seuils minimaux de structures favorisant la biodiversité sont autant de contraintes qui ne peuvent s'envisager qu'à des échelles agrégées (territoriales, nationales, mondiales). Un système de production agricole peut ne pas apparaître inefficace analysé seul, mais peut trouver une place clé dans un territoire pour atteindre certains objectifs environnementaux, paysager ou de biodiversité. L'approche par bouquet de services (Ryschawy *et al.*, 2017) est sans doute une approche à privilégier pour passer du système de production au territoire et raisonner des allocations de ressources.

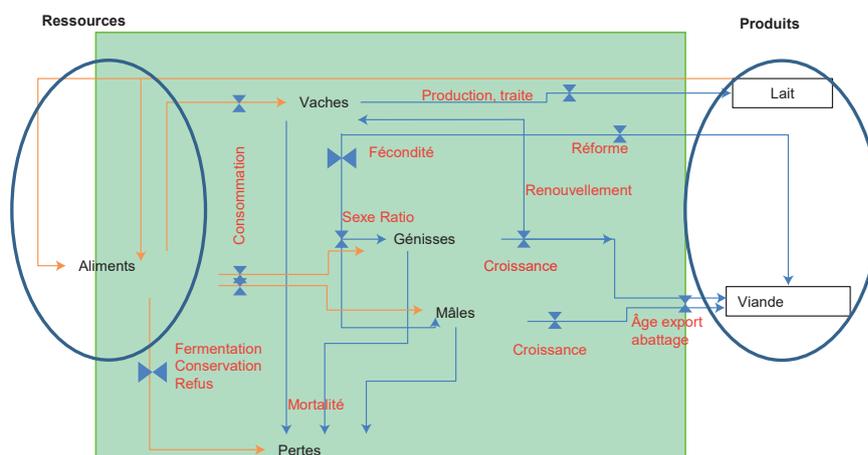
### ■ 1.3. Efficacité : Accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources des systèmes d'élevage

Le volet précédent a permis d'assurer, d'une part la pertinence entre ressources et impacts et, d'autre part, de

définir les équilibres de production à atteindre pour une approche durable du territoire. Une fois définies les ressources que l'on peut allouer aux différents systèmes de production au sein des territoires, il devient intéressant d'améliorer l'efficacité de leur utilisation dans ces systèmes.

De nombreux paramètres techniques peuvent être impliqués dans l'efficacité alimentaire d'un système d'élevage. Ils concernent généralement les performances productives des animaux et du troupeau ainsi que les pertes alimentaires et d'animaux (figure 2). Ces paramètres sont souvent intéressants sur le plan économique et environnemental, car l'amélioration d'efficacité est généralement associée à une réduction des coûts et des émissions. Les principaux leviers d'action concernent les choix génétiques, la conduite de l'alimentation, la gestion de la reproduction et de la santé. VandeHaar (2012) a modélisé le fonctionnement d'un système d'élevage laitier pour montrer combien chaque levier de la conduite permettait de gagner sur l'efficacité énergétique et protéique globale du système de production. Les résultats de simulation (tableau 1) montrent que les gains d'efficacité de chaque levier sont modestes, mais qu'ils peuvent se combiner pour améliorer significativement l'efficacité globale du système. L'efficacité de conversion des aliments par les animaux eux-mêmes sera évoquée dans la seconde partie de cette

**Figure 2.** Exemple d'un système d'élevage laitier et des nombreux paramètres techniques (en rouge) qui sont susceptibles d'affecter l'efficacité du système de production.



**Tableau 1.** Impacts des changements de conduite sur les efficacités énergétiques et protéiques d'un système de production de lait aux USA (adapté de VandeHaar, 2012).

Efficienc	Énergétique (%)	Protéique (%)
Efficienc de base	21 <sup>1</sup>	28 <sup>2</sup>
Augmentation de la production de 10 % (950 L/an)	+ 0,7	+ 0,4
Augmentation de la longévité de 3 à 4 lactations	+ 0,6	+ 0,5
Diminution des besoins d'entretien de 10 %	+ 1,1	+ 1,2
Augmentation de l'efficacité digestive de 10 %	+ 1,2	+ 1,0
Réduction de l'âge au 1 <sup>er</sup> vêlage de 2 mois	+ 0,3	+ 0,3
Réduction de l'intervalle vêlage – vêlage de 1 mois	+ 0,4	+ 0,4
Réduction de 2 % de la teneur en protéines après 150 j de lactation	+ 0,0	+ 1,3

<sup>1</sup> Efficienc calculée par le rapport entre l'énergie des aliments produits (lait, viande) rapportée à l'énergie brute consommée par les animaux.

<sup>2</sup> Efficienc calculée par le rapport entre les protéines des aliments produits (lait, viande) rapportée à aux protéines consommées par les animaux.

revue. On peut aussi remarquer que les leviers de l'efficienc alimentaire ne concernent pas seulement l'alimentation, mais de nombreux éléments de la conduite d'élevage, en particulier la réduction des périodes improductives et des pertes.

Les pertes vont aussi avoir un impact important sur l'efficienc alimentaire. Le premier type de perte concerne les ressources alimentaires. En élevage de porcs, les systèmes de distribution d'aliment ont un impact sur le gaspillage d'aliments. Brumm et Gonyou (2001) considèrent qu'un taux de gaspillage de moins de 6 % est satisfaisant pour des « bons » nourrisseurs. Le poids de l'animal, la taille de groupe (par rapport aux nourrisseurs), la forme de distribution d'aliment (soupe ou sec), la restriction alimentaire ont un effet sur le gaspillage d'aliment. Pour les ruminants, la simple conservation des fourrages sous forme d'ensilage est associée à des pertes importantes, de l'ordre de 20 %, par rapport à la biomasse récoltée (pertes au champ, jus, fermentations, pertes

au silo, pertes à l'auge). L'autre type de « perte » concerne les pertes animales. L'efficienc alimentaire du troupeau porcin ou bovin viande diminue avec l'augmentation du taux de mortalité, mais aussi avec le stade auquel cette mortalité a lieu. Chez le porc, le taux de mortalité *in utero* et avant le sevrage est quantitativement important, mais les conséquences sur l'efficienc alimentaire sont beaucoup plus importantes si un porc meurt juste avant l'abattage. Dourmad *et al.* (2015) ont estimé qu'un porcelet sevré a eu besoin de 41,5 kg d'aliment, consommé par la truie. La mort d'un porc juste avant l'abattage représente une perte d'aliment d'environ 320 kg (y compris l'aliment consommé par la truie). En termes de pertes alimentaires, cette mortalité d'un porc à 115 kg est donc équivalente à une mortalité de presque 8 porcelets entre la naissance et le sevrage. Pour les bovins allaitants, la perte d'un veau est équivalente à la perte de la consommation alimentaire de sa mère pendant une année, soit près de 4 à 5 tonnes d'aliments.

C'est donc bien l'optimisation de l'ensemble du système d'élevage qui permet d'améliorer l'efficienc alimentaire, mais elle passe aussi par l'amélioration de processus plus élémentaires en vérifiant bien que leur performance est conservée dans les changements d'échelle. L'amélioration de l'efficienc des processus de transformation des ressources par les animaux et de réduction de leurs émissions a fait l'objet de développements importants en recherche ces dernières années en jouant à la fois sur la sélection génétique et sur les conduites alimentaires. Ces éléments seront évoqués plus en détails dans les parties 2 et 3 de cet article.

#### ■ 1.4. Efficacité : Développer des indicateurs et des outils adaptés pour évaluer la performance des systèmes par rapport aux objectifs attendus

Il existe de nombreuses raisons pour lesquelles l'amélioration des processus à un niveau d'organisation donné ne permet pas d'obtenir les objectifs définis au départ (Faverdin et Peyraud, 2010). Piloter des systèmes agricoles sur des principes d'efficienc est bien plus complexe que de les piloter sur la production. Ce changement est encore plus complexe si cette notion d'efficienc n'est pas qu'économique, mais concerne également les ressources (utilisation de ressources par unité de produit) et les impacts (impacts par unité de produit, très utilisés dans les analyses de cycle de vie). Il est donc impératif de vérifier que les résultats obtenus sont bien en accord avec les objectifs recherchés au départ et que l'on a été efficace (figure 1). Des méthodes, des modèles, des indicateurs et des outils sont nécessaires pour aider au pilotage des systèmes de production et mesurer les progrès réalisés au travers des stratégies mises en place.

Les techniques d'évaluation multicritère se sont beaucoup développées et fournissent des approches originales pour étudier l'efficienc des systèmes de productions animales (Lairez *et al.*, 2015). L'étude des systèmes de production, observés ou modélisés, fournit un nombre de données et d'indicateurs

potentiels très conséquent pour évaluer la production, les facteurs de production, les impacts et l'économie. Un trop grand nombre d'indicateurs rend très difficile l'interprétation des performances des systèmes de production. L'analyse de cycle de vie offre une possibilité intéressante d'agréger les différents indicateurs dans de grands indicateurs d'impacts. Mais cette transformation génère encore beaucoup d'indicateurs (voire les multiplie) pour évaluer les systèmes et repérer les conduites les plus intéressantes. Parmi toutes les méthodes d'analyse multicritère, les méthodes d'analyse des frontières d'efficacité sont intéressantes car elles permettent de ne comparer que des systèmes comparables entre eux sur une échelle unique d'efficacité tout en prenant en compte plusieurs entrées et plusieurs sorties dans la même analyse. Cette approche a été réalisée sur les systèmes laitiers français en essayant de construire un indicateur d'éco-efficacité à partir des indicateurs d'analyse de cycle de vie (énergies non renouvelables, surface, émissions de GES, eutrophisation, acidification) et des différentes productions (lait, viande, cultures) (Soteriades *et al.*, 2016a). Certains développements de la méthode d'analyse de frontière permettent aussi de voir comment les différentes dimensions de la performance (productions, impacts, ressources) peuvent être associées positivement ou négativement pour tendre vers le meilleur résultat. Il est intéressant de voir que l'intensification des systèmes à l'animal ou à l'hectare tend à réduire cet indice d'éco-efficacité alors que l'autonomie des systèmes l'améliore (Soteriades *et al.*, 2016b). Couplées à des outils de modélisation, ces analyses d'efficacité pourraient également permettre de comparer différents scénarios à des échelles assez larges (territoire, région) et constituer des outils intéressants pour la décision et boucler sur les évolutions d'allocations à prévoir dans le cadre de la pertinence.

## 2. Améliorer l'efficacité alimentaire des animaux

L'analyse du triangle de performance a montré l'importance de l'étape d'efficacité pour accroître la performance. Un

des challenges importants a consisté à améliorer l'efficacité de conversion des aliments par les animaux eux-mêmes. L'utilisation de la diversité génétique pour sélectionner les animaux les plus efficaces pour convertir les aliments dans un produit animal (lait ou viande principalement) est intéressante car elle peut assez rapidement concerner de grands effectifs. Mais pour sélectionner les animaux, il faut définir le critère utilisé et essayer de comprendre les modifications biologiques associées pour mieux en cerner les intérêts et les limites.

### ■ 2.1. Comment mesurer l'efficacité alimentaire des animaux dans un objectif de sélection ?

La première étape de l'amélioration a été obtenue par la sélection sur la productivité des animaux. Plus les gains de poids journalier ou les productions de lait par animal augmentaient, plus l'efficacité alimentaire, définie comme le ratio entre la production réalisée et la quantité d'aliments consommée, augmentait. Le ratio inverse, l'indice de consommation (kg d'aliment consommé/kg gain de poids) est plus souvent utilisé comme un indicateur de l'inefficacité alimentaire. Depuis des années, l'indice de consommation en production de viande ou de lait ne cesse de diminuer. En porcs par exemple, les valeurs voisines de 3,2 au milieu des années 1970 ont baissé pour atteindre des valeurs de 2,6 maintenant (Knap et Wang, 2012). Une grande partie de cette amélioration est due au fait que les animaux sont devenus plus maigres. En lait, il fallait 8,95 MJ d'énergie par kg de lait à la sortie de la dernière guerre mondiale contre seulement 3,85 MJ en 2005 aux USA (Capper *et al.*, 2009).

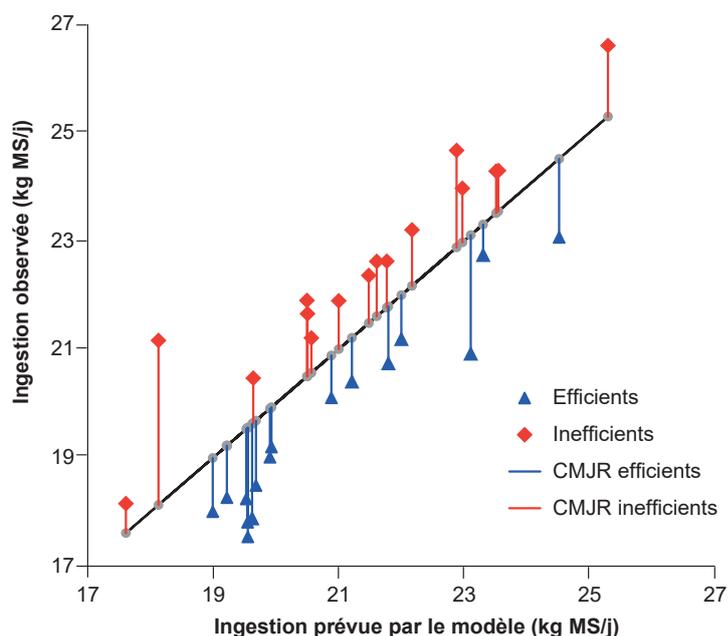
Cependant, l'indicateur indice de consommation n'est pas indépendant de la vitesse de croissance ou de la production de lait journalière et demeure très peu corrélé à l'ingestion des animaux. Par ailleurs, pour la production de viande, la densité énergétique des lipides est beaucoup plus importante que la densité énergétique des protéines (39,8 vs 23,8 kJ/g) et le dépôt de protéines est associé au dépôt d'eau,

ainsi pour 1 kg de protéines déposées, entre 2,5 et 3,5 kg d'eau seront également déposés. Il ressort de ce calcul que raisonner l'indice de consommation sur la base du poids vif n'est pas la même chose que de raisonner en énergie déposée et cela montre des limites de ce critère pour évaluer l'efficacité. Pour mieux caractériser l'efficacité individuelle, il est apparu intéressant d'utiliser d'autres indicateurs, moins ou pas liés à la productivité de l'animal, en particulier l'ingestion résiduelle.

L'ingestion résiduelle ou la Consommation Moyenne Journalière Résiduelle d'aliment (CMJR, ou RFI en anglais pour « *Residual Feed Intake* ») reflète la différence entre la consommation réelle et la consommation prévue sur la base de la performance réalisée. Des animaux ayant une CMJR élevée consomment plus pour des performances équivalentes et, en conséquence, sont donc moins efficaces (figure 3). Cet indicateur est de plus en plus utilisé et si l'on ne pouvait recenser dans le « *Web of Science* » ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)) que 40 publications avec ce mot clé en 2008, il y en avait 169 en 2018. Pour les animaux en croissance, le modèle d'ingestion est expliqué par le gain de poids, la composition du gain (principalement en porcs, *via* le pourcentage de viande maigre et l'épaisseur de lard dorsal) et les besoins d'entretien (Gilbert *et al.*, 2017a). Pour des femelles laitières, si les approches basées sur la CMJR semblent également pertinentes, elles nécessitent de longues périodes de mesures d'ingestion pour prendre en compte la dynamique de la lactation, même si les travaux récents montrent que les mesures en milieu de lactation sont les plus représentatives de l'ensemble du cycle. Le modèle de calcul des CMJR pour les vaches laitières utilise le lait et la composition du lait, le poids et de façon moins systématique les variations de poids ou d'état corporel pour tenir compte des variations des réserves (Løvendahl *et al.*, 2018).

L'utilisation de ces indicateurs montre une variabilité importante de la CMJR dans la plupart des espèces. Suivant les études, les modèles statistiques utilisés et les espèces, on note un coefficient de variation de 5 à 14 %. Ce coefficient de

**Figure 3.** Illustration de la mesure de l'efficacité par la consommation moyenne journalière résiduelle d'aliments pour des vaches laitières (données issues de Fischer et al., 2018a).



Le modèle d'ingestion est construit à partir des variables explicatrices de production de lait (énergie du lait), de poids métabolique ( $\text{poids\_vif}^{0.75}$ ) et de variation de poids sur la période. Les vaches ayant un résidu positif (en rouge) sont moins efficaces que celles qui ont un résidu négatif (en bleu) puisque leur ingestion observée est supérieure à ce que le modèle prévoit.

variation semble cependant plus faible pour les femelles laitières (6 %) que pour les animaux en croissance, bovins ou porcs (8 à 14 %). Les travaux récents de Fischer *et al.* (2018a) montrent que la variabilité de CMJR associée à l'effet animal représente une faible proportion des quantités ingérées chez la vache laitière, contrairement aux autres espèces. Ceci peut sans doute s'expliquer par la part et la stabilité du coût énergétique de la fonction lactation lorsque l'on prend en compte la composition du lait dans la consommation d'énergie. Face à l'importance du métabolisme de la glande mammaire, les variations de dépenses d'entretien représentent une part beaucoup plus faible des dépenses énergétiques. L'héritabilité de ce caractère varie beaucoup suivant les études (0,05 à 0,4), mais il semble assez facile de sélectionner des animaux sur ce caractère. Chez les porcs, l'INRA a conduit une expérience de sélection divergente sur la CMJR sur neuf générations de porcs (Gilbert *et al.*, 2017a ; Gilbert *et al.*, 2017b). La sélection a résulté en une différence importante entre les deux lignées en consommation alimentaire (435 g/j). En pratique, la sélection permettrait de gagner de

l'ordre de 10 % sur la consommation d'aliments pour des animaux en croissance, mais probablement moins sur les femelles laitières. La faible corrélation entre l'efficacité calculée en début de lactation et celle observée sur toute la lactation (Fischer, 2017 ; Løvendahl *et al.*, 2018).

D'autres approches analogues basées sur la production résiduelle au lieu de l'ingestion résiduelle ont été proposées à partir de modèles destinés à expliquer la production (lait ou gain de poids) à partir de variables décrivant l'ingestion et le poids de l'animal. Les résidus de ces modèles sont très liés à l'indice de consommation et à la production de lait (Løvendahl *et al.*, 2018) ou au gain de poids (Arthur *et al.*, 2001) et assez peu à la consommation. Ces modèles semblent apporter moins de valeur ajoutée que ceux sur l'ingestion.

## ■ 2.2. Quels mécanismes biologiques expliquent l'amélioration de l'efficacité alimentaire des animaux ?

Il est intéressant de comprendre les mécanismes pouvant expliquer cette

meilleure transformation de l'aliment par l'animal. Globalement, il y a trois grands types de mécanismes liés au devenir de l'énergie ingérée qui permettent expliquer ces différences de CMJR : la digestibilité, le métabolisme et son rendement, et les diverses formes d'utilisation de l'énergie.

La digestion de la ration est la première étape d'utilisation de l'énergie ingérée et elle peut varier entre animaux. La variation de la digestibilité pourrait expliquer une partie de la variation de la CMJR (Nkrumah *et al.*, 2006 ; Richardson et Herd, 2004). Parmi les phénotypes associés aux variations de CMJR, les composantes du comportement alimentaire semblent souvent associées, même s'il reste à faire le lien avec les modifications digestives (Fischer *et al.*, 2018b). Cependant, peu d'études ont spécifiquement étudié la variation de la digestibilité chez les bovins, principalement en raison de la difficulté et du coût requis pour mesurer ce caractère. De plus, les résultats disponibles ne permettent généralement pas de conclure parce que la précision de la mesure est faible. Récemment, de nouvelles techniques d'étude des communautés microbiennes ont montré des différences dans la population microbienne du rumen entre les bovins à CMJR élevées et faibles. Des différences significatives dans la morphologie du tractus intestinal, avec des modifications cellulaires de l'épithélium dans les cryptes de l'intestin grêle à la fois dans le duodénum et dans l'iléon, ont été observées chez des bouvillons plus efficaces (Montanholi *et al.*, 2013). Chez les porcs, les résultats ne montrent pas de différence entre deux lignées divergentes sur les CMJR (Montagne *et al.*, 2014), même si la capacité digestive semble avoir une composante génétique chez le porc (Noblet *et al.*, 2013) ainsi que chez les volailles (de Vernal *et al.*, 2011). Globalement, la digestion semble plus expliquer les variations de CMJR chez les bovins (Herd et Arthur, 2009) que chez les monogastriques (Gilbert *et al.*, 2017a).

Une source d'économie d'énergie possible concerne des modifications significatives du métabolisme basal. Chez le porc en croissance et chez la poule pondeuse, les lignées CMJR – ont une

production de chaleur réduite à jeun. Des différences liées au métabolisme oxydatif peuvent expliquer ce résultat et conduisent à des différences de coût énergétique de l'entretien (Barea *et al.*, 2010). Chez les bovins à viande, Richardson et Herd (2004) attribuaient une part importante des différences de CMJR à des modifications de turnover protéique. Montanholi *et al.* (2008) ont mesuré par thermographie des températures plus élevées, en particulier au niveau des joues et du museau, chez des taurillons à CMJR élevée. Les différences de niveau d'ingestion sont également de nature à réduire les coûts énergétiques liés à la digestion comme l'ont confirmé des différences de poids des viscères (Labussière *et al.*, 2015). Ces résultats confirment que l'existence de différences dans le métabolisme susceptibles d'expliquer les écarts d'efficacité.

Le troisième grand type de différence associée aux différences de CMJR concerne les formes d'utilisation de l'énergie. Une première forme d'économie consiste à mettre plus de dépôts protéiques (et de l'eau associée) que lipidiques dans la croissance des animaux. Chez les bovins à viande, les travaux de Richardson et Herd (2004) sur des sélections divergentes de bovins basées sur la consommation résiduelle d'aliment n'attribuaient à la composition corporelle qu'une faible part des gains possibles. Cependant chez les porcs, les lignées CMJR – (plus efficaces) ont un taux de maigre supérieur, ce qui contribue à améliorer les rendements en carcasse, mais aussi à dégrader certains caractères de qualité de la viande (Gilbert *et al.*, 2017a). L'autre forme d'utilisation d'énergie souvent observée de façon plus importante chez les animaux inefficients est une augmentation de l'activité physique. Le coût énergétique de la station debout peut être élevé et a été bien quantifié chez la truie (Noblet *et al.*, 1993). Cette augmentation de l'activité physique a été bien observée sur les lignées de porcs sélectionnées sur leur CMJR + et – (Meunier-Salaün *et al.*, 2014), avec moins de temps passé debout et moins d'interactions sociales pour les animaux efficaces. Des constatations similaires sur le temps passé debout et sur les déplacements ont été faites également chez les bovins à viande (Richardson et

Herd, 2004) et chez les vaches laitières (Fischer *et al.*, 2018b).

Il existe donc de nombreux mécanismes susceptibles d'expliquer des différences d'efficacité alimentaire entre animaux. Par conséquent on peut se demander si sélectionner sur l'efficacité alimentaire peut avoir des effets négatifs ou positifs sur des fonctions d'intérêt autres que la production.

### ■ 2.3. Sélectionner sur l'efficacité alimentaire peut-il réduire la robustesse des animaux ?

Il est souvent suggéré que les animaux les plus efficaces en termes de croissance ou de production de lait pourraient être moins robustes et donc plus sensibles aux facteurs de stress. Cette idée est basée sur l'hypothèse que les ressources allouées à la croissance ne peuvent pas être utilisées pour d'autres fonctions comme la reproduction ou le système immunitaire ou peuvent utiliser de façon plus intense les réserves corporelles.

L'expérience conduite à l'INRA sur la sélection divergente de la CMJR des porcs n'a pas permis de confirmer cette hypothèse. Les deux lignées répondaient de façon similaire à un challenge inflammatoire provoqué artificiellement en termes de fièvre, concentration de haptoglobines (une protéine de phase aiguë et indicateur d'inflammation) et dynamique de consommation alimentaire (Merlot *et al.*, 2016), même si les stratégies métaboliques pour y arriver différaient entre les deux lignées. Bien au contraire, sélectionner les animaux pour l'efficacité semble les rendre plus robustes. Les animaux plus efficaces étaient affectés moins longtemps par un challenge inflammatoire (Labussière *et al.*, 2015) et leur état était moins altéré par des conditions sanitaires dégradées (Chatelet *et al.*, 2018). Les résultats obtenus à l'INRA sur la sélection divergente de la CMJR étaient similaires à ceux d'une expérience conduite à l'« Iowa State University » (Young et Dekkers, 2012).

La sélection de la CMJR chez les animaux en croissance conduit généralement à des animaux plus maigres. Les vaches laitières présentent une forte

aptitude à mobiliser leurs réserves corporelles. On peut craindre que la sélection de la CMJR conduise à des vaches ayant moins de réserves corporelles ou les sollicitant plus, avec des risques potentiels sur la santé et la reproduction. Les travaux récents de Hardie *et al.* (2017) montrent que lorsque seuls la production de lait et le poids sont introduits dans le modèle de la CMJR, il existe un lien entre l'efficacité et des gènes candidats impliqués dans la gestion des réserves (leptine, récepteurs adrénérgiques). On peut donc craindre de renforcer le caractère maigre des vaches laitières si on sélectionne l'efficacité sans introduire ce caractère dans le modèle. Le développement de nouvelles méthodes à haut débit de mesure de l'état corporel des vaches laitières par imagerie 3D (Fischer *et al.*, 2015) offre des perspectives intéressantes pour mieux appréhender ce caractère et l'introduire dans les équations de calcul de la CMJR, ce qui n'est pas possible avec le bilan énergétique.

Comme indiqué précédemment, l'efficacité ne doit certainement pas être considérée comme seul critère pour améliorer la durabilité des élevages. Des aliments qui n'entrent pas ou moins en compétition directe avec l'alimentation de l'Homme sont généralement plus riches en fibres alimentaires. Le défi pour l'avenir n'est donc pas « comment peut-on améliorer l'efficacité ? » mais plutôt « comment peut-on faire au mieux avec un aliment qui est de moindre qualité ? ». On peut en effet craindre que certaines aptitudes propres à améliorer l'efficacité alimentaire avec des régimes d'excellente valeur alimentaire ne soient pas conservées avec des rations de plus faible valeur. Peu de travaux permettent pour l'instant de répondre avec certitude à cette question. Dans un essai avec des bovins à viande recevant deux types de rations différentes entre les phases de croissance et d'engraissement, les auteurs ont observé une corrélation génétique modérée entre l'efficacité des animaux mesurée avec l'une et l'autre des deux rations, indiquant l'existence possible d'une interaction entre génétique et environnement pour la CMJR (Durunna *et al.*, 2011). Chez les porcs, la sélection de lignées divergentes sur la

CMJR n'avait pas permis d'observer de différences de capacité digestive pour des régimes conventionnels ou riches en fibres (Montagne *et al.*, 2014). On n'a donc pour l'instant peu d'éléments indiquant que la nature du régime perturbe beaucoup les classements d'efficacité des animaux. Ce n'interdit pas de se poser la question des types de ration avec lesquels les animaux doivent être sélectionnés pour les décennies futures.

### 3. Réduire les rejets vers l'environnement

Les rendements de la biotransformation des aliments en produits animaux ne sont pas très élevés (10 à 40 % de l'énergie ou des protéines consommées). Ainsi, le carbone (C) et l'azote (N) couplés grâce à la photosynthèse dans les végétaux consommés par les animaux se retrouvent largement découplés dans les rejets des animaux, ce qui peut constituer à la fois un atout agronomique pour la fertilisation des cultures et des risques pour l'environnement. Ces rejets sont constitués principalement des effluents, intégrant les urines et les fèces, mais aussi des rejets gazeux émis directement par l'animal. Ces différents rejets conduisent à l'apparition de formes de C (méthane) ou de N (ammoniac, protoxyde d'azote, nitrate...) qui présentent des risques pour l'environnement. Les stratégies pour limiter ces risques à l'échelle de l'animal vont consister *i)* à limiter le découplage du carbone et de l'azote, notamment en limitant les pertes dans l'urine car l'urée conduit très vite à la formation d'ammoniac, et *ii)* à augmenter l'efficacité d'utilisation des protéines et des glucides des végétaux pour la synthèse du lait et de la viande.

Chez les ruminants, cette maîtrise du couplage est compliquée par le rôle spécifique de la digestion microbienne dans la panse. Cette digestion permet de fermenter la cellulose qui serait indigestible autrement et de synthétiser des protéines microbiennes, mais elle dégrade des protéines végétales en ammoniac. Elle produit aussi du méthane (CH<sub>4</sub>) et du gaz carbonique qui représentent une perte énergétique.

Les connaissances actuelles en nutrition des ruminants permettent de prévoir assez précisément les principaux flux d'éléments à l'échelle de l'animal.

#### ■ 3.1. Cycle du carbone

##### a. Le gaz carbonique

Le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) est un gaz à effet de serre dont la concentration a fortement augmenté dans l'atmosphère avec l'augmentation de la population du globe et de ses activités. Cette augmentation contribue principalement au réchauffement climatique d'origine anthropique. Cependant le CO<sub>2</sub> directement rejeté par les animaux, même s'il représente des flux importants, n'est pas considéré comme ayant un impact sur l'environnement, car il provient en général du CO<sub>2</sub> prélevé dans l'atmosphère par les plantes au cours de la même année. Les impacts liés au CO<sub>2</sub> sont principalement dus au déstockage du carbone des sols. Celui-ci a lieu principalement lors du changement d'usage des sols en libérant le carbone des matières organiques du sol. L'autre source d'émission de CO<sub>2</sub>, nettement plus faible, concerne l'utilisation de carbone fossile comme source d'énergie pour l'élevage, directement sur l'exploitation ou en amont, notamment pour la culture des aliments nécessaires à l'alimentation.

Si le déstockage du carbone fossile est le premier facteur d'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère terrestre, l'élevage est principalement concerné par les changements d'usage des sols qu'induit son développement. La recherche croissante de sols arables pour les cultures annuelles est un facteur de libération du carbone séquestré dans les sols vers l'atmosphère. Les retournements de prairies ou la déforestation sont des facteurs importants de libération de CO<sub>2</sub> stocké dans les sols. Dans son rapport « *Livestock's long shadow* », la FAO (2006) chiffrerait les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'élevage à seulement 0,16 GT par an sans l'usage et le changement d'usage des sols, mais à 2,7 GT/an en les intégrant, soit plus que les émissions de méthane par l'élevage (2,2 GT CO<sub>2</sub> eq/an). La réduction de la consommation d'aliments par l'amélioration de l'efficacité alimentaire

des animaux permet de réduire les émissions associées à leur production. Le choix de matières premières ayant moins d'impact sur la perte de carbone des sols dans la formulation des aliments des monogastriques (Espagnol *et al.*, 2018) constitue également une piste de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), même s'il y a un léger surcoût à l'aliment ainsi formulé. Chez les ruminants, l'utilisation des prairies représente une voie importante de maintien du carbone dans les sols et dans certaines conditions d'augmentation de son stockage (Dollé *et al.*, 2013).

##### b. Le méthane

Le méthane (CH<sub>4</sub>) est un gaz à effet de serre, 25 fois plus puissant que le CO<sub>2</sub>, généralement associé à des fermentations anaérobiques. Les émissions de méthane sont en lien avec les fermentations dans le tube digestif des animaux et pendant le stockage des effluents. Les émissions entériques sont principalement liées à la digestion microbienne dans le rumen des ruminants et dans une moindre mesure dans le gros intestin de tous les animaux. De nombreuses synthèses existent pour faire l'état de l'art de cette question (Gerber *et al.*, 2013 ; Hristov *et al.*, 2013). Nous nous limiterons donc à présenter les grandes pistes actuelles dans ce domaine en montrant aussi les limites associées à ces différentes stratégies.

#### • Réduire les émissions de méthane entérique des ruminants

Les archées présentes dans le rumen sont capables d'éliminer l'hydrogène produit dans le rumen en le combinant avec le CO<sub>2</sub> pour produire le méthane. Trois grandes stratégies, les inhibiteurs de la synthèse du méthane, l'alimentation et la sélection génétique ont montré des possibilités intéressantes pour limiter cette production et les impacts associés. D'autres approches, telle la vaccination, font également l'objet de recherches, mais doivent encore faire preuve de leur efficacité.

L'utilisation d'inhibiteurs de la réaction de synthèse du méthane est une stratégie qui peut s'avérer très efficace en agissant de manière ciblée sur sa production. La revue de Patra *et al.*

(2017) dresse un panorama assez large des connaissances sur les mécanismes et solutions envisagées pour réduire cette production. Des molécules, comme les dérivés nitro-oxy (3NOP et méthyl 3NOP), ont montré dans des essais zootechniques conduits avec des bovins à viande, des bovins laitiers et des ovins, que des doses faibles de quelques g de 3NOP par bovin et par jour apportés dans la ration permettent des réductions importantes et répétables de la production de méthane (environ 25 à - 30 %) sans effet négatif avéré pour l'instant (Jayanegara *et al.*, 2018). D'autres inhibiteurs intéressants ont été identifiés, comme les métabolites secondaires des plantes, mais leur action semble plus aléatoire pour l'instant et nécessite encore des travaux importants pour préconiser leur utilisation. L'acceptabilité de ces inhibiteurs par les consommateurs reste cependant à étudier.

L'alimentation est aussi un moyen possible de réduire les émissions de méthane. La revue de Doreau *et al.* (2011) dresse un inventaire des solutions possibles. On peut notamment agir par l'ajout de lipides ou par l'augmentation d'amidon en remplacement des fibres alimentaires dans la ration pour réduire les émissions de méthane. Ces stratégies sont cependant susceptibles d'effets associés non négligeables, certains positifs comme l'enrichissement du lait en acides gras insaturés, d'autres négatifs comme les émissions de GES induites par la production de ces aliments et par les coûts associés qui peuvent réduire leur pertinence par rapport à d'autres mesures (Pellerin *et al.*, 2017).

La sélection génétique est une voie prometteuse puisque qu'elle peut concerner un nombre très important de ruminants, même s'il faut attendre plusieurs années pour voir les effets du progrès génétique dans ces espèces. La revue de Pickering *et al.* (2015) fait le point sur l'état des possibilités de réduction des émissions de méthane par la sélection génétique. Plus récemment, des travaux ont permis d'estimer que l'héritabilité des émissions de méthane (g/j) chez les vaches laitières serait comprise entre 0,20 et 0,25 (Lassen et Løvendahl,

2016 ; Kandel *et al.*, 2017). Les travaux de Pinares-Patiño *et al.* (2013) chez les moutons ont démontré des possibilités de réduire les émissions par la voie de la sélection avec des héritabilités également assez bonnes sur les émissions de méthane en g/j, mais plus faibles sur les productions de méthane par kg de MS d'aliment ingéré (héritabilité de 0,13). Des résultats d'héritabilité de ces paramètres ont également été obtenus avec des effectifs importants de bovins à viande (Donoghue *et al.*, 2016), mais ils montrent des corrélations génétiques positives élevées entre l'émission de méthane (g/j) et les paramètres de croissance qui doivent inciter à orienter la sélection plus sur une émission de méthane résiduelle négative (émission de méthane observée moins émission de méthane prédite) que sur les émissions totales de méthane. De même pour les vaches laitières, des résultats obtenus à partir des émissions de méthane estimées par analyse des spectres infrarouges du lait montrent des corrélations génétiques positives avec la fertilité des vaches (Kandel *et al.*, 2018), une sélection contre les émissions de méthane pouvant contribuer à dégrader la reproduction. Les stratégies de contre-sélection génétique sur les émissions de méthane devront donc veiller à ne pas altérer d'autres caractères d'intérêt.

Le lien entre efficacité alimentaire (CMJR) et émissions de méthane (g/j) est complexe et les premiers résultats montrent qu'il ne sera pas facile de cumuler les gains sur les deux stratégies. La sélection de bovins à viande sur l'efficacité alimentaire montre que, pour une même alimentation, les animaux les plus efficaces émettent plus de méthane par kg d'aliment ingéré que les animaux les moins efficaces (Herd *et al.*, 2016 ; Renand *et al.*, 2016). Des premiers résultats obtenus chez les vaches laitières Holstein (Olijhoek *et al.*, 2018) montrent également des relations positives entre efficacité et production de méthane (g/kg de MS), ce qui fait que le gain d'efficacité ne se traduit pas par une émission réduite de méthane comme on pourrait le penser compte tenu de la baisse d'ingestion. Ce résultat suggère que la digestibilité et le transit peuvent être fortement

impliqués dans les mécanismes d'efficacité chez les ruminants (Løvendahl *et al.*, 2018). Les mesures à haut débit des émissions de méthane restent un frein important à la sélection d'animaux moins émetteurs, mais sont indispensables pour vérifier que l'on peut réellement simultanément améliorer l'efficacité alimentaire et réduire les émissions de méthane.

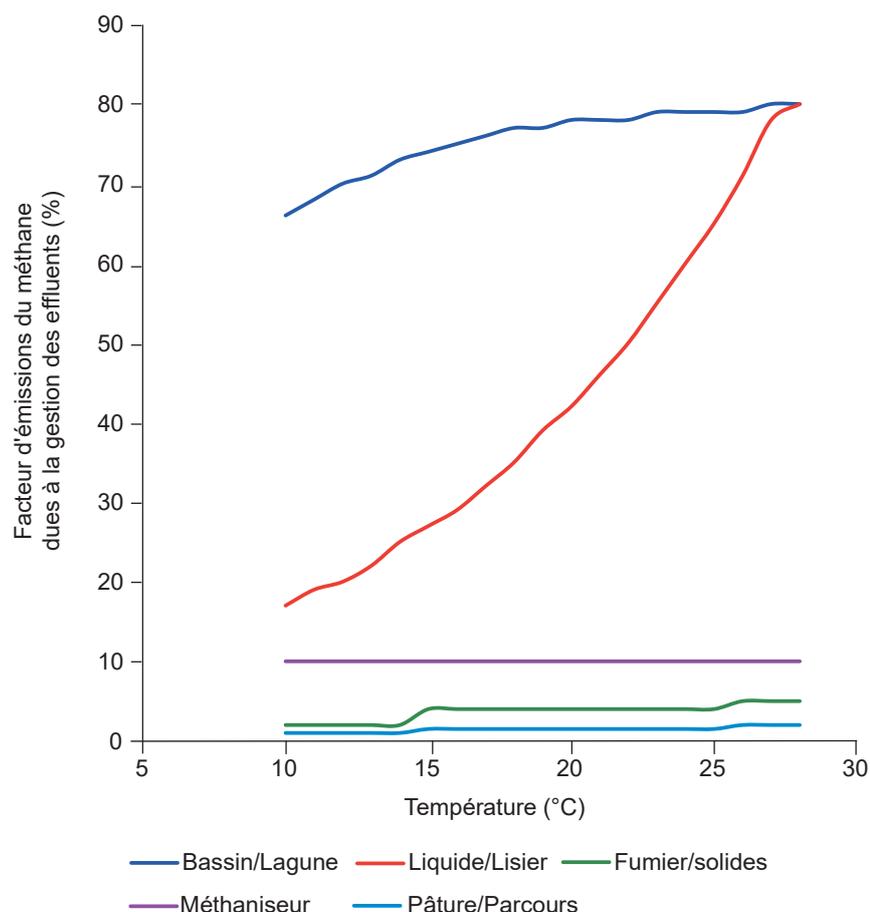
#### • Réduire les émissions de méthane des effluents

La production de méthane par les effluents constitue également une source importante d'émission de méthane dans l'atmosphère, qui ne concerne pas seulement les ruminants. Ceci est particulièrement vrai dans les systèmes de production où les animaux sont élevés en bâtiments, car les émissions de méthane ont lieu principalement pendant le stockage anaérobie des effluents, soit dans les litières paillées, soit dans les fosses à lisier, mais sont négligeables au pâturage. Les facteurs d'émissions proposés par l'IPCC (2006) montrent bien les différences d'émissions de méthane liées aux différents types d'effluents (figure 4). On notera aussi l'effet important de la température, qui dans les systèmes produisant du lisier accroît fortement les facteurs d'émissions. Avec les effets du réchauffement climatique, il faut donc craindre que ces émissions augmentent si les systèmes de stockage n'évoluent pas. En dehors du pâturage qui est une solution économique pour limiter les émissions de méthane, les solutions techniques pour réduire ces émissions existent, mais sont souvent coûteuses. Si les méthaniseurs ou les torchères permettent de réduire les émissions de GES des systèmes lisiers, leur coût reste élevé par tonne de CO<sub>2</sub> eq évité (Pellerin *et al.*, 2017).

### ■ 3.2. Cycle de l'azote

La transformation de l'azote non réactif de l'air en azote réactif a connu une croissance extraordinaire avec la fabrication des engrais azotés de synthèse pour augmenter les rendements des cultures alors que le rôle de la fixation symbiotique a peu augmenté en

**Figure 4.** Facteurs d'émissions du méthane en fonction des différents modes de gestion des effluents et de la température moyenne (d'après IPCC, 2006).



Ces facteurs d'émissions s'appliquent aux matières organiques contenues dans les effluents.

comparaison. Ce fort accroissement de l'azote réactif conduit à la cascade de l'azote (Galloway *et al.*, 2003) qui se traduit par l'émission de nombreux composés à risques pour l'environnement ( $N_2O$  pour le réchauffement climatique,  $NO_3$  pour l'eutrophisation des milieux aquatiques,  $NH_3$  pour l'acidification) et pour la santé humaine ( $NH_3$  et maladies respiratoires). L'élevage joue un rôle important dans cette cascade de l'azote par sa consommation importante d'aliments et notamment de protéines qu'il utilise avec un rendement souvent faible, de 10 à 40 %. La question d'essayer de réduire l'utilisation de protéines et les émissions liées à leur transformation est donc un enjeu important de l'élevage. Cette réduction des protéines doit permettre de réduire l'excrétion d'azote, en particulier urinaire, qui est difficile à conserver pour la fertilisation dans la gestion des effluents et qui contribue pour beaucoup aux émissions de l'élevage en termes de  $NH_3$  et  $N_2O$ .

#### a. Maximiser le rendement de l'utilisation des protéines métabolisables

L'alimentation de précision a pour but d'ajuster l'alimentation individuellement en fonction de besoins spécifiques de chaque animal. Ce qui est nouveau dans ce concept, c'est que cet ajustement ne se fait plus seulement en fonction de modèles *a priori*, mais aussi en fonction des réponses des animaux eux-mêmes. En effet, les modèles de prévision peinent à prévoir parfaitement les réponses individuelles. Le monitoring va permettre de savoir plus de choses sur l'état des animaux et leurs réponses aux conditions d'élevage, l'alimentation de précision va permettre d'intégrer cette information pour corriger les apports afin d'apporter aux animaux ce qui convient le mieux, au bon moment et avec l'efficacité maximale. Ce concept, déjà utilisé pour l'alimentation en concentrés énergétiques des vaches laitières utilisant des robots de traite, peut bien entendu s'appliquer à l'alimentation protéique.

Chez les ruminants, limiter l'apport en protéines métabolisables augmente leur rendement d'utilisation (Brun-Lafleur *et al.*, 2010 ; Sauvart *et al.*, 2015). De même l'amélioration de l'équilibre en acides aminés digestibles permet d'accroître le rendement de l'utilisation des protéines métabolisables (Haque *et al.*, 2012). En général, le faible rendement marginal d'utilisation des protéines fait que la baisse de production induite par une réduction d'apport protéique est moins forte que la baisse de consommation de ces protéines, favorisant ainsi une meilleure utilisation de ces protéines. Un premier travail dans ce sens a permis de montrer qu'avec des régimes à base d'ensilage de maïs, on pouvait réduire de plus de 40 % la quantité de tourteaux nécessaires par kg de matières protéiques du lait (Cutullic *et al.*, 2013) grâce à une augmentation de près de 10 points de l'efficacité d'utilisation des protéines alimentaires. S'il faut accepter une réduction de la production de lait par vache de 5 % seulement, celle-ci a lieu sans altération de l'efficacité énergétique (kg de lait/kg MS consommée).

Chez le porc, moins de 20 % de l'azote ingéré par le porc est non-digestible et donc excrété dans les fèces alors qu'environ 50 % de l'azote ingéré est excrété dans les urines (Dourmad *et al.*, 1999). Maximiser le rendement de l'utilisation des protéines passe surtout par l'optimisation du profil en acides aminés dans l'aliment par rapport aux besoins de l'animal. Ceci permet de réduire la teneur en protéines dans l'aliment, de réduire l'excrétion de l'azote dans les urines, et de maximiser le rendement d'utilisation des protéines. Une réduction importante de la teneur en protéines est possible en utilisant des acides aminés libres, comme la lysine, la méthionine, la thréonine, le tryptophane et la valine. Il est admis qu'une réduction de la teneur de protéines dans l'aliment de 1 point résulte en une réduction d'excrétion d'azote de 8 à 10 %.

Le concept de « protéine idéale » a été développé dans les années 1960 et permet d'exprimer les besoins en acides aminés par rapport à la lysine. L'évolution des besoins en acides

aminés au cours de la croissance est prise en compte d'abord par rapport à l'évolution du besoin en lysine (en kg d'aliment ou par rapport à l'énergie) et les autres acides aminés suivent le besoin en lysine selon le profil de la protéine idéale. Le besoin en lysine (et donc ceux des autres acides aminés) diminue au cours de la croissance. Pour maximiser le rendement d'utilisation des protéines, il est important de suivre, au mieux, cette diminution dans les apports. Les systèmes d'alimentation en bi-phase, ou en multi-phase où plusieurs aliments sont distribués en fonction du stade de croissance, permettent d'améliorer l'efficacité d'utilisation d'azote. Or, avec le développement des outils de monitoring, il est maintenant possible d'aller plus loin et de développer des systèmes d'alimentation de précision. Il ne s'agit pas uniquement de suivre les besoins moyens en acides aminés au cours de la croissance, mais d'y apporter une dimension individuelle. Il s'agit ici d'estimer la croissance (ou le dépôt de protéines) et la consommation d'aliment attendus pour ainsi nourrir chaque individu selon ces propres besoins. Par rapport à un système de l'alimentation en trois phases, une système d'alimentation de précision (en multi-phases et individualisé), l'apport en lysine a pu être réduit par 27 % et l'excrétion d'azote par 22 %, sans conséquences sur les performances (Andretta *et al.*, 2014).

Le fait que la majorité de l'azote soit excrété *via* les urines est dû au catabolisme des acides aminés. Ce catabolisme pourrait être dû à un apport en acides aminés supérieur aux besoins et donc potentiellement « évitable ». Une autre partie est liée aux besoins de l'entretien, mais cette partie est considérée comme relativement faible (van Milgen et Dourmad, 2015). La majorité du catabolisme dit « inévitable » est dû au fait que les acides aminés ne peuvent pas être utilisés avec un rendement marginal de 100 %, même si l'apport en un acide aminé est limitant pour le dépôt protéique. Ces rendements marginaux sont différents entre acides aminés essentiels (van Milgen *et al.*, 2008 ; van Milgen et Dourmad, 2015) et ils pourraient aussi être affectés par le poids de l'animal (NRC, 2012). Des études

préliminaires semblent indiquer que le rendement marginal pourrait être très variable entre individus au sein d'une population. Si c'est confirmé, cela pourrait offrir une possibilité intéressante, non seulement dans un contexte d'alimentation de précision, mais aussi pour étudier l'héritabilité de ce rendement marginal et d'essayer de l'améliorer par la sélection génétique.

#### **b. Réduire la dégradabilité des protéines de l'alimentation des ruminants à fort besoin**

L'alimentation des vaches laitières fortes productrices nécessite des apports importants de protéines métabolisables pour satisfaire les besoins de synthèse des matières protéiques du lait. Si les microbes du rumen peuvent synthétiser une part importante des protéines à partir des fermentations de la ration dans le rumen, cela est généralement insuffisant pour couvrir les besoins en protéines des vaches laitières. Pour y parvenir, il faut donc accroître la part de protéines qui échappe à la dégradation par les microbes dans le rumen, soit en apportant plus de protéines globalement, mais avec une inefficience importante, soit en augmentant la part des protéines qui échappe à la dégradation en les protégeant mieux de l'attaque par les microbes, ce qui permet d'économiser des protéines, de réduire l'excrétion urinaire d'azote et de mieux valoriser les ressources protéiques utilisées. Il est donc intéressant de traiter ces protéines avec différentes technologies pour accroître leur protection. Ceci est possible en particulier avec des rations à base d'ensilage de maïs dans la mesure où plus de la moitié des protéines sont apportées par les seuls compléments protéiques.

Le dilemme de la protection des protéines pour une meilleure efficacité de leur utilisation par les ruminants vient de l'équilibre qu'il faut trouver entre une protection efficace contre la dégradation par les microbes dans le rumen, et la conservation d'une bonne digestibilité des protéines qui sortent du rumen dans l'intestin. La technique des tourteaux tannés au formaldéhyde avait bien réussi à trouver

ce compromis (Vérité et Journet, 1977), mais cette technologie a actuellement disparu compte tenu des risques à la production en usine. Le développement de nouvelles méthodes est donc important et de nombreux compléments protéiques combinant une ou plusieurs technologies apparaissent aujourd'hui sur le marché. Le traitement des tourteaux ou des graines par la chaleur pour favoriser la formation de réactions de Maillard, l'utilisation de tannins naturels ou d'huiles essentielles sont autant de solutions proposées aujourd'hui pour favoriser le by-pass des protéines alimentaires du rumen. Ces nouvelles solutions posent cependant des difficultés pour évaluer l'impact de ces traitements sur les valeurs alimentaires des sources protéiques, en particulier lorsqu'elles sont supposées avoir une action systémique. Il convient de proposer rapidement de nouvelles méthodologies pour quantifier les gains de protéines métabolisables permis par ces solutions, probablement en utilisant des réponses biologiques.

### **■ 3.3. Cycle du phosphore**

Comme pour l'azote, améliorer l'utilisation du phosphore passe par l'optimisation des apports par rapport aux besoins. Si l'apport raisonnable en fertilisants organiques aux cultures est un atout important pour les besoins des plantes en phosphore, l'excès de ces apports conduit, par ruissellement particulière des matières organiques, à une eutrophisation des milieux aquatiques. Même si en France, l'élevage ne contribue globalement que pour 10 % aux rejets de phosphore (Meschy *et al.*, 2008), la concentration des élevages sur certains territoires constitue un facteur de risque important. L'utilisation optimale de cette ressource limitée sur la planète est donc un enjeu important pour l'élevage. La revue de Meschy *et al.* (2008) brosse un tableau toujours d'actualité des pistes permettant une bonne maîtrise des apports de phosphore dans les différentes filières animales.

Contrairement aux ressources azotées, le phosphore dans les ressources d'origine végétale, majoritairement sous forme de phytates, est peu

digestible directement. La phytase permet de dégrader le phytate. Chez les ruminants, l'hydrolyse des phytates est en grande partie réalisée par les phytases des microbes du rumen. Mais les phytates sont peu ou pas digestibles par les monogastriques (Humer *et al.*, 2015). Chez les porcs, la digestibilité fécale de phosphore est aux alentours de 30 % pour le maïs, et les tourteaux de soja et de colza. Cette même valeur est valable pour les céréales comme le blé et l'orge si la phytase endogène est détruite par un traitement thermique, mais la digestibilité est plus élevée si ce n'est pas le cas (Sauvant *et al.*, 2002). C'est pour cette raison que des phytases d'origine microbienne ont été développées et elles sont largement utilisées dans l'alimentation des monogastriques. La digestibilité augmente de façon curvilinéaire avec l'apport de phytase microbienne et les phytases produites par des bactéries et des levures semblent être plus efficaces que celles initialement produites par des champignons (Humer *et al.*, 2015). Ces apports de phytases ont largement contribué à réduire les apports de phosphore dans l'alimentation des monogastriques. Néanmoins, la digestibilité de phosphore dépasse rarement le 60 à 70 %, même avec des apports de phytases élevés (Jourdain et Jondreville, 2007).

Le besoin en phosphore (et en calcium) est principalement déterminé par les besoins osseux et par l'exportation de ces minéraux dans le lait. Comme pour l'azote, le besoin en phosphore (exprimé en g P digestible/kg d'aliment) diminue au cours de la croissance, mais le besoin pour maximiser la minéralisation osseuse est supérieur au besoin pour maximiser la croissance. Pour améliorer l'efficacité d'utilisation de phosphore, l'alimentation par phases est donc un levier important. Dans une étude récente, Gonzalo *et al.* (2018) utilisaient l'alimentation minérale par phases, mais avec des périodes de sous-alimentation en P et Ca. La sous-alimentation améliorait l'efficacité d'utilisation de phosphore sans conséquences sur la croissance et la minéralisation osseuse et permettait de réduire l'apport en phosphore digestible jusqu'à 34 %.

Que ce soit pour l'azote ou pour les minéraux, la maîtrise des apports dans l'alimentation pour permettre une efficacité de leur utilisation élevée est un enjeu important pour réduire les rejets vers l'environnement. Il convient cependant de noter que ces éléments N et P ont des impacts majoritairement locaux (à l'exception du N<sub>2</sub>O). Les aspects d'organisation territoriale et de concentration des élevages sont donc importants pour la maîtrise de ces impacts et pour faire en sorte que la vertu fertilisante des effluents organiques ne se transforme pas en pollution des milieux aquatiques.

#### 4. Les gains d'efficacité alimentaire et de réduction des rejets à l'échelle animale sont-ils conservés aux échelles supérieures ?

En passant en revue les pistes d'amélioration de l'efficacité, notamment celles de la figure 2, il est clair que la plupart d'entre elles sont bien de nature à réduire également les impacts sur l'environnement, soit par la diminution des ressources utilisées, soit par la réduction des émissions associées, soit les deux. Nous avons plusieurs fois mentionné ces effets bénéfiques attendus. Cela paraît trivial et pourrait nous dispenser de le vérifier. Cependant, le triangle de la performance doit nous inciter à vérifier l'efficacité des solutions retenues par rapport aux objectifs recherchés. Plusieurs effets systémiques peuvent en effet annihiler les effets bénéfiques attendus. Cette perte de bénéfice attendu vient généralement des interactions entre entités du système ou entre processus qui n'ont pas été prises en compte. Des exemples ont déjà été cités et on pourrait donner l'exemple des gains d'émissions directes de méthane par l'alimentation de bovins en élevage et en finition qui peuvent être compensés, après analyse par cycle de vie, par des augmentations d'émissions, notamment liées aux ressources nécessaires pour y parvenir (Nguyen *et al.*, 2012). Chaque situation étant particulière, il est difficile de ne pas procéder à partir d'exemples pour analyser ce problème. Deux exemples ont

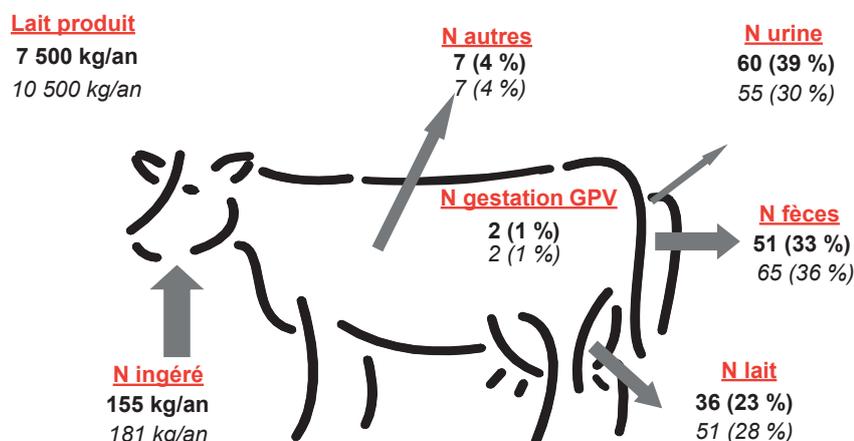
été choisis dans cet article pour illustrer deux types d'interactions importantes, celles entre l'élevage et le territoire et celles liées à la coproduction de lait et de viande et d'en évaluer les conséquences sur les performances globales.

#### ■ 4.1. Interactions élevage – territoire concernant les impacts du cycle de l'azote

Les principes d'augmentation de l'efficacité protéique des vaches laitières vus précédemment convergent pour indiquer que des systèmes relativement intensifs à l'animal, avec des rations utilisant des quantités importantes d'ensilages de maïs et un apport de protéines contrôlé vont permettre de réduire les rejets d'azote pour une même production de lait. La figure 5 illustre la comparaison du bilan azoté annuel d'une vache laitière moyenne dans une conduite de système herbager et d'une vache forte productrice dans un système basé sur des rations complètes à base d'ensilage de maïs avec une complémentation protéique équilibrée. Il en ressort que l'efficacité d'utilisation de l'azote par la vache laitière est supérieure dans le système le plus intensif à base d'ensilage de maïs et que les rejets d'azote sont plus faibles : 2,4 g de N excrété par g de N Lait vs 3,1 g de N dans le système herbager. Les écarts sont encore plus importants sur les émissions d'azote urinaire qui sont les plus à risque : 1,1 g de N urinaire excrété par g de N Lait vs 1,7 g de N dans le système herbager. La gestion de l'azote dans ces systèmes herbagers devrait donc être théoriquement plus problématique.

L'analyse des pertes d'azote des systèmes de production laitiers montre cependant que les systèmes herbagers ont toujours moins d'impacts que les systèmes basés sur l'utilisation d'ensilage de maïs. Deux grands facteurs expliquent ce phénomène. Le premier facteur est lié au fait que l'augmentation de la production par vache induit la plupart du temps une intensification de la production par hectare notamment liée à la production de maïs et un achat important de compléments protéiques. Cette augmentation de la

**Figure 5.** Bilan azote annuel d'une vache laitière (animal moyen en supposant 30 % de primipares dans le troupeau) dans un système « herbager » (gras) et dans un système « intensif ensilage de maïs » (italiques) en kg de N par an et entre parenthèses en % de l'ingéré pour les sorties du système (d'après Favardin et Peyraud 2010).



pression d'azote par hectare conduit donc généralement à des pertes d'azote par hectare plus importantes, notamment au niveau des nitrates (Chatellier et Vérité, 2003). De plus, il existe sans doute une plus forte réorganisation de l'azote en matières organiques avec les systèmes herbagers lorsque la prairie n'est pas retournée au profit d'un stockage net dans les sols limitant les pertes de nitrate par lessivage. Sinon, lorsque les prairies entrent dans les rotations avec le maïs, la minéralisation devient plus importante. Le second facteur concerne le temps de présence des animaux en bâtiments qui est important avec les fourrages conservés et généralement plus réduit avec le pâturage. Le temps en stabulation et le stockage

des effluents qui en découle favorisent les émissions d'ammoniac qui ont des effets sur les petites particules et l'acidification. Ces émissions d'ammoniac ne vont pas réduire pour autant l'eutrophisation, les dépôts d'ammoniac conduisant in fine à la formation de nitrates. Le **tableau 2** illustre les différences importantes d'émissions d'ammoniac dans les systèmes herbagers et montre que celles-ci ne sont pas liées directement à l'efficacité d'utilisation de l'azote par les animaux.

L'amélioration de l'efficacité de conversion de l'azote par les animaux ne garantit donc pas de réduire les risques de la cascade de l'azote et peut même les aggraver.

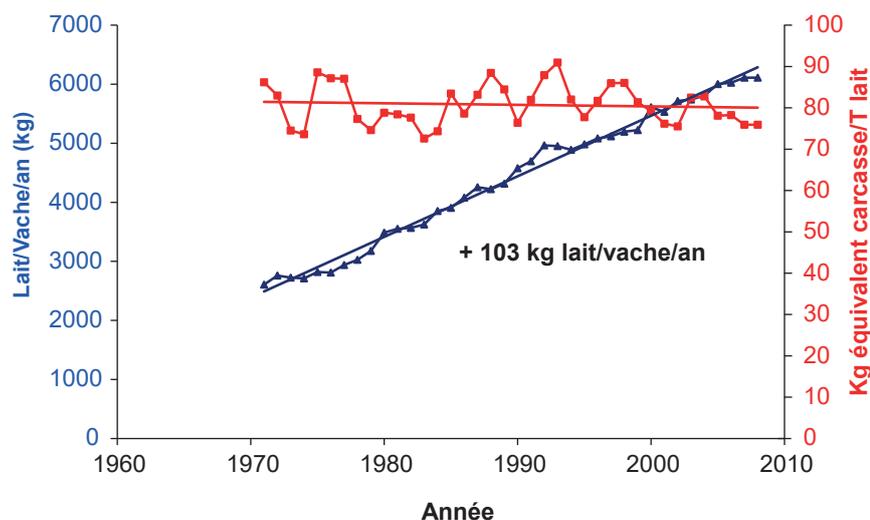
## ■ 4.2. Interactions liées à la coproduction : exemple du lait et de la viande

Le changement d'échelle concernant l'efficacité alimentaire et les émissions de GES devrait théoriquement poser moins de problème, car ce sont des facteurs à impact global et non pas local comme l'exemple de l'azote. Les gains d'efficacité liés à l'augmentation de production par animal, grâce au progrès génétique laisse présager des gains très importants sur les émissions associées. Dans l'étude de l'efficacité des vaches laitières, la synthèse de Knapp *et al.* (2014) souligne les effets très positifs de l'augmentation de production sur la baisse des émissions de méthane par kg de lait produit, d'environ 60 % d'après les calculs de Capper *et al.* (2009). L'analyse des données d'inventaire d'émissions ne sont cependant pas aussi optimistes. L'analyse des données françaises en est un bon exemple, très intéressant car le ratio entre production de viande et de lait par le cheptel bovin évolue très peu au cours des dernières décennies (**figure 6**). Les statistiques montrent une constante augmentation de la production de lait par vache laitière (environ + 100 kg de lait/vache/an) et de viande par animal pour les animaux de race à viande (gain de poids et format, environ + 2 à + 3 kg de carcasse de vache de réforme /an) liée en partie aux progrès de la sélection génétique.

**Tableau 2.** Comparaison de différents systèmes laitiers plus ou moins herbagers sur l'autonomie, l'efficacité et les émissions de NH<sub>3</sub> (d'après Favardin *et al.*, 2014 à partir des données de l'Institut de l'Élevage, 2011).

	Nord et Est			Grand Ouest		
	Maïs > 30	10 < Maïs < 30	Maïs < 10	Maïs > 30	10 < Maïs < 30	Maïs < 10
<b>Maïs (% SFP)</b>	Maïs > 30	10 < Maïs < 30	Maïs < 10	Maïs > 30	10 < Maïs < 30	Maïs < 10
<b>Lait (kg/VL)</b>	8 169	7 500	6 334	7 827	6 786	5 608
<b>N ingéré (kg/VL/an)</b>	187	181	152	165	163	142
<b>N excrété (kg/T lait)</b>	17,4	18,8	18,8	15,6	18,4	19,6
<b>Autonomie N</b>	49 %	57 %	78 %	67 %	73 %	79 %
<b>Efficacité de l'N</b>	23,6 %	22,4 %	21,4 %	25,7 %	23,1 %	21,4 %
<b>NH<sub>3</sub> (kg N/T Lait)</b>	4,9	4,0	1,8	2,2	3,4	1,7

**Figure 6.** Évolution en France des productions moyennes annuelles de lait par vache laitière et du ratio entre production de viande et production de lait entre 1972 et 2008 (d'après les données Eurostats, 2009).

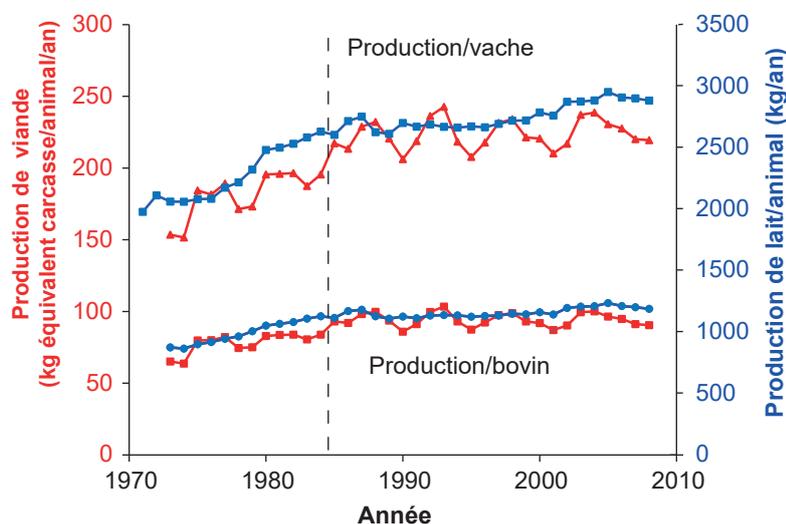


Cette progression des performances de production s'accompagne souvent de moindres performances au niveau des qualités d'élevage (longévité, reproduction, mortalité des veaux...). Cependant, on peut constater que la production moyenne de lait ou de viande du cheptel français, exprimée par vache (laitières et allaitantes) ou par bovin présent en France, n'a pratiquement pas progressé depuis 20 ans malgré l'augmentation des performances individuelles de production des animaux (figure 7, Pflimlin *et al.*, 2009). De même, les émissions de GES et les consommations d'aliments associées ne semblent pas beaucoup diminuer

malgré ces augmentations de performance de production. Comment expliquer que ces augmentations de performances individuelles des animaux grâce à la spécialisation qui s'accompagnent d'une augmentation d'efficacité à l'échelle animale et de moindres émissions à risque pour l'environnement ne se retrouvent pas à grande échelle ?

L'explication de ce paradoxe a été proposée dans l'article de Cederberg et Stadig (2003) qui ont étudié les problèmes d'allocation lait et viande dans l'évaluation par analyse de cycle de vie d'une exploitation laitière. Ce travail

**Figure 7.** Évolution en France des productions annuelles de lait et de viande exprimées par vache (laitière ou allaitante) ou par bovin présent entre 1970 et 2008 (d'après Pflimlin *et al.*, 2009 à partir des données Eurostats).



soulignait qu'une augmentation de production de lait dans l'exploitation laitière se traduisait par une baisse de production de viande à même production de lait et qu'il fallait prendre en compte les émissions liées à ce défaut de production de viande pour ne pas commettre de biais dans l'analyse (expansion de système). Ce constat est confirmé par le travail de Zehetmeier *et al.* (2012) qui teste l'effet d'un scénario d'augmentation de production laitière et montre des effets positifs sur les émissions par kg de lait à l'échelle de l'exploitation laitière seule, mais rien de significatif en prenant en compte la modification de production de viande qui doit être compensée à plus grande échelle si l'on suppose que la consommation n'a pas été affectée. La modélisation du cheptel bovin français pour étudier différents scénarios d'évolution de l'élevage sur les émissions de GES sous contrainte de maintien de la production montre une grande inertie des émissions de  $\text{CH}_4$  du cheptel face à la spécialisation des races en raison de la moindre productivité en viande du troupeau laitier lorsque sa spécialisation laitière s'accroît (Puillet *et al.*, 2014). Tous ces résultats sont donc contraires aux effets spectaculaires, mais dépourvus de vision systémique, publiés par Capper *et al.* (2009). À l'opposé, les trajectoires des animaux pour la viande et leur âge d'abattage, l'âge au premier vêlage, et le sexage des semences en prenant en compte les effets de ressources alimentaires utilisées (accroissement de terres labourées vs prairies stockant du carbone) restent des options importantes pour gérer les émissions de  $\text{CH}_4$  à un niveau global.

Ce cas complexe de la coproduction du lait et de la viande par le cheptel bovin montre clairement que l'on ne peut pas extrapoler simplement à grande échelle (cheptel national) des gains d'efficacité et d'émissions à risques pour l'environnement observés à l'échelle de l'animal. Cette remarque est d'autant plus importante pour des impacts à effet globaux pour lesquels on pourrait penser qu'il suffit de faire le produit de ces gains individuels avec les effectifs pour estimer les effets globaux.

Ces deux exemples illustrent clairement que des indicateurs trop simplistes d'efficacité ne permettent pas toujours d'atteindre les objectifs souhaités, principalement parce qu'ils ne résistent pas au changement d'échelle. Même si l'augmentation de productivité est un des leviers important dans certains contextes permettant d'améliorer l'efficacité et de diminuer les rejets, elle ne peut garantir à elle seule la consommation de ressources et la baisse des émissions. Seule une approche systémique des effets induits par les changements de conduites proposés permet de vérifier que l'on pourra atteindre les objectifs recherchés, même si cela est plus complexe à étudier et nécessite souvent des modèles plus élaborés.

## Conclusion

Cette synthèse montre qu'il existe de nombreux niveaux d'organisation sur lesquels on peut agir pour accroître l'efficacité alimentaire des productions animales et réduire les risques pour l'environnement qui constitue en enjeu majeur pour l'élevage. La recherche a beaucoup contribué à améliorer la productivité des animaux et plus récemment la conversion des aliments en produits animaux pour améliorer l'efficacité alimentaire des élevages. Ces travaux ont largement permis d'accroître l'efficacité des productions animales et de réduire certains impacts. Cependant, si l'on doit continuer de s'appuyer sur des

solutions visant à améliorer les processus élémentaires d'efficacité de conversion des aliments par les animaux ou par le troupeau, cela ne suffit pas toujours à améliorer l'efficacité globale. La quête de l'indicateur idéal d'efficacité est sans doute vaine, mais une combinaison des différents indicateurs en fonction des objectifs recherchés est indispensable.

Les interactions entre les différentes entités à différents niveaux d'organisation montrent que les bénéfices espérés peuvent être perdus avec le changement d'échelle. Si l'on propose ou imagine une solution à un niveau d'organisation élémentaire, il est important de se donner les moyens de vérifier son efficacité à des niveaux d'organisation plus agrégés. La science propose souvent une démarche agrégative pour résoudre des problèmes globaux, en faisant l'hypothèse que si l'on peut décrire précisément et améliorer chaque entité du système, la performance globale en sera améliorée. Les exemples évoqués dans cet article montrent que ce n'est pas toujours vrai. Des approches « désagrégatives » déclinant des optimums (ou des contraintes) globaux à des échelles infra restent encore largement à inventer pour aborder les questions d'optimisation d'allocation des ressources et de la place de l'élevage dans cette valorisation (« penser global, décliner local »). Pour l'élevage, c'est principalement dans l'optimisation de l'allocation des ressources alimentaires liée à l'utilisation des sols et à la valorisation/gestion de bioproduits

pour concevoir la complémentarité des systèmes et activités agricoles (cultures, élevages) et des services/dis-services associés au sein des territoires qu'il faut être créatif. Les approches de recherche en écologie industrielle ou dans l'étude du métabolisme territorial offrent des perspectives intéressantes pour y arriver. Ensuite c'est dans l'optimisation du fonctionnement global des systèmes d'élevage que l'on pourra réellement améliorer la performance de l'élevage et faire de celui-ci un allié puissant de la conversion des bio-ressources en en limitant les impacts sur l'environnement. Enfin, des études pour aller plus loin dans l'évaluation multicritère qu'une simple multiplication d'indicateurs sont nécessaires et doivent permettre d'aider à faire ce lien entre ressources, productions et territoires.

## Remerciements

Les auteurs remercient les différents financeurs des projets consacrés à l'efficacité alimentaire des animaux d'élevage et dont les travaux ont contribué à cette synthèse : Le projet DEFFILAIT ANR-15-CE20-0014 a reçu un financement de l'ANR et d'Apis-Gène, le projet GenTORE a reçu un financement du programme H2020 de l'Union européenne au titre de la convention de subvention n° 727213 et le projet Feed-a-Gene a reçu un financement du programme H2020 de l'Union européenne au titre de la convention n° 633531.

## Références

- Andretta I., Pomar C., Rivest J., Pomar J., Lovatto P.A., Radünz Neto J., 2014. The impact of feeding growing-finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 92, 3925-3936.
- Arthur P.F., Renand G., Krauss D., 2001. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. *Livest. Prod. Sci.*, 68, 131-139.
- Barea R., Dubois S., Gilbert H., Sellier P., van Milgen J., Noblet J., 2010. Energy utilization in pigs selected for high and low residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, 88, 2062-2072.
- Brumm M.C., Gonyou H.W., 2001. Effects of facility design on behavior and feed and water intake. In: *Swine Nutrition*. Lewis A.J., Southern L.L. (Eds). CRC Press, Boca Raton, USA, 499-518.
- Brun-Lafleur L., Delaby L., Husson F., Faverdin P., 2010. Predicting energy x protein interaction on milk yield and milk composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 93, 4128-4143.
- Capper J.L., Cady R.A., Bauman D.E., 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J. Anim. Sci.*, 87, 2160-2167.
- Cederberg C., Stådig M., 2003. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *Intern. J. Life Cycle Assess.*, 8, 350-356.
- Chatelet A., Gondret F., Merlot E., Gilbert H., Friggens N.C., Le Floch N., 2018. Impact of hygiene of housing conditions on performance and health of two pig genetic lines divergent for residual feed intake. *Animal*, 12, 350-358.
- Chatellier V., Vérité R., 2003. L'élevage bovin et l'environnement en France : le diagnostic justifie-t-il des alternatives techniques ? *INRA Prod. Anim.*, 16, 231-249.
- Cutullic E., Delaby L., Edouard N., Faverdin P., 2013. Rôle de l'équilibre en azote dégradable et de l'alimentation protéique individualisée sur l'efficacité d'utilisation de l'azote. *Renc. Rech. Rum.*, 20, 53-56.
- de Verdal H., Narcy A., Bastianelli D., Chapuis H., Mème N., Urvoix S., Le Bihan-Duval E., Mignon-Grasteau S., 2011. Improving the efficiency of feed utilization in poultry by selection. 2. Genetic parameters of excretion traits and correlations with anatomy of the gastro-intestinal tract and digestive efficiency. *BMC Genetics*, 12, 71.

- Dollé J.B., Faverdin P., Agabriel J., Sauvant D., Klumpp K., 2013. Contribution of cattle farming to GHG emissions and soil carbon sequestration according to production system. *Fourrages*, 215, 181-191.
- Donoghue K.A., Bird-Gardiner T., Arthur P.F., Herd R.M., Hegarty R.F., 2016. Genetic and phenotypic variance and covariance components for methane emission and postweaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.*, 94, 1438-1445.
- Doreau M., Martin C., Eugene M., Popova M., Morgavi D.P., 2011. Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. In : *Gaz à effet de serre en élevage bovin : le méthane*. Doreau M., Baumont R., Perez J.M. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 24, 461-474.
- Dourmad J.Y., Jondreville C., 2007. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. *Livest. Sci.*, 112, 192-198.
- Dourmad J.Y., Sève B., Latimier P., Boisen S., Fernández J., van der Peet-Schwering C., Jongbloed A.W., 1999. Nitrogen consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. *Livest. Prod. Sci.*, 58, 261-264.
- Dourmad J.Y., Nassy G., Salaün Y., Riquet J., Lebret B., 2015. Estimation des pertes alimentaires dans la filière porcine entre la sortie de l'élevage et la commercialisation des produits. *Innov. Agronom.*, 48, 115-125.
- Durruna O.N., Plastow G., Mujibi F.D.N., Grant J., Mah J., Basarab J.A., Okine E.K., Moore S.S., Wang Z., 2011. Genetic parameters and genotype x environment interaction for feed efficiency traits in steers fed grower and finisher diets. *J. Anim. Sci.*, 89, 3394-3400.
- Espagnol S., Tailleur A., Dauguet S., Garcia-Launay F., Gaudré D., Dusart L., Méda B., Gac A., Laisse S., Morin L., Dronne Y., Ponchant P., Wilfart A., 2018. Réduire les impacts environnementaux des produits animaux avec des éco-aliments. *Innov. Agronom.*, 63, 231-242.
- FAO, 2006. *Livestock's long shadow. Environmental issues and options*. FAO, Rome, Italie, 390p.
- Faverdin P., Peyraud J.L., 2010. Nouvelles conduites d'élevage et conséquences sur le territoire : cas des bovins laitiers. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 1, 89-100.
- Faverdin P., Baratte C., Perbost R., Thomas S., Ramat E., Peyraud J.L., 2014. Un outil web pour évaluer simplement l'autonomie alimentaire et l'excrétion d'azote des troupeaux laitiers : CowNex. *Renc. Rech. Rum.*, 391-395.
- Fischer A., 2017. *Étude de la variabilité interindividuelle de l'efficacité alimentaire de la vache laitière. Thèse de doctorat de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage*, 230p.
- Fischer A., Luginbuhl T., Delattre L., Delouard J.M., Faverdin P., 2015. Rear shape in 3 dimensions summarized by principal component analysis is a good predictor of body condition score in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 98, 4465-4476.
- Fischer A., Friggens N.C., Berry D.P., Faverdin P., 2018a. Isolating the cow-specific part of residual energy intake in lactating dairy cows using random regressions. *Animal*, 12, 1396-1404.
- Fischer A., Delagarde R., Faverdin P., 2018b. Identification of biological traits associated with differences in residual energy intake among lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 101, 4193-4211.
- FranceAgriMer, 2012. *L'observatoire de la biomasse – Évaluation des ressources disponibles en France. Les synthèses de FranceAgriMer*, Édition mai 2012.
- Galloway J.N., Aber J.D., Erisman J.W., Seitzinger S.P., Howarth R.W., Cowling E.B., Cosby B.J., 2003. The nitrogen cascade. *Bioscience*, 53, 341-356.
- Gerber P.J., Hristov A.N., Henderson B., Makkar H., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A.T., Yang W.Z., Tricarico J.M., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J., Oosting S., 2013. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, 7, 220-234.
- Gilbert H., Billon Y., Brossard L., Faure J., Gatellier P., Gondret F., Labussière E., Lebret B., Lefaucheur L., Le Floch N., Louveau I., Merlot E., Meunier-Salaün M.C., Montagne L., Mormède P., Renaudeau D., Riquet J., Rogel-Gaillard C., van Milgen J., Vincent A., Noblet J., 2017a. Sélection pour la consommation alimentaire moyenne journalière résiduelle chez le porc : impacts sur les caractères et défis pour la filière. *INRA Prod. Anim.*, 30, 439-453.
- Gilbert H., Billon Y., Brossard L., Faure J., Gatellier P., Gondret F., Labussière E., Lebret B., Lefaucheur L., Le Floch N., Louveau I., Merlot E., Meunier-Salaün M.C., Montagne L., Mormède P., Renaudeau D., Riquet J., Rogel-Gaillard C., van Milgen J., Vincent A., Noblet J., 2017b. Review: divergent selection for residual feed intake in the growing pig. *Animal*, 11, 1427-1439.
- Gonzalo E., Létourneau-Montminy M.P., Narcy A., Bernier J.F., Pomar C., 2018. Consequences of dietary calcium and phosphorus depletion and repletion feeding sequences on growth performance and body composition of growing pigs. *Animal*, 12, 1165-1173.
- Haque M.N., Rulquin H., Andrade A., Faverdin P., Peyraud J.L., Lemosquet S., 2012. Milk protein synthesis in response to the provision of an "ideal" amino acid profile at 2 levels of metabolizable protein supply in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 95, 5876-5887.
- Hardie L.C., VandeHaar M.J., Tempelman R.J., Weigel K.A., Armentano L.E., Wiggins G.R., Veerkamp R.F., de Haas Y., Coffey M.P., Connor E.E., Hanigan M.D., Staples C., Wang Z., Dekkers J.C.M., Spurlock D.M., 2017. The genetic and biological basis of feed efficiency in mid-lactation Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 100, 9061-9075.
- Herd R.M., Arthur P.F., 2009. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, 87, E64-E71.
- Herd R.M., Velazco J.I., Arthur P.F., Hegarty R.F., 2016. Associations among methane emission traits measured in the feedlot and in respiration chambers in Angus cattle bred to vary in feed efficiency. *J. Anim. Sci.*, 94, 4882-4891.
- Hristov A.N., Ott T., Tricarico J., Rotz A., Waghorn G., Adesogan A., Dijkstra J., Montes F., Oh J., Kebreab E., Oosting S.J., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P.S., Firkins J.L., 2013. SPECIAL TOPICS-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *J. Anim. Sci.*, 91, 5095-5113.
- Humer E., Schwarz C., Schedle K., 2015. Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 99, 605-625.
- INRA-CIRAD, 2009. *Agrimonde. Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable. Note de synthèse*. <https://www6.paris.inra.fr/depe/Media/Fichier/Prospectives/Agrimonde/Synthese-du-rapport>
- Institut de l'Élevage, 2011. *Observatoire de l'alimentation des vaches laitières, données 2007*.
- IPCC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, forestry and other land use. Emissions for livestock and manure management*, 4, Chap. 10, 87p.
- Jayanegara A., Sarwono K.A., Kondo M., Matsui H., Ridla M., Laconi E.B., Nahrowi, 2018. Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. *Ital. J. Anim. Sci.*, 17, 650-656.
- Kandel P.B., Vanrobays M.L., Vanlierde A., Dehareng F., Froidmont E., Gengler N., Soyeurt H., 2017. Genetic parameters of mid-infrared methane predictions and their relationships with milk production traits in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, 100, 5578-5591.
- Kandel P.B., Vanderick S., Vanrobays M.L., Soyeurt H., Gengler N., 2018. Corrigendum to: Consequences of genetic selection for environmental impact traits on economically important traits in dairy cows. *Anim. Prod. Sci.*, 58, 1966-1966.
- Knap P.W., Wang L., 2012. Pig breeding for improved feed efficiency. In: *Feed efficiency in swine*. Patience J.F. (Ed). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 167-181.
- Knapp J.R., Laur G.L., Vadas P.A., Weiss W.P., Tricarico J.M., 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J. Dairy Sci.*, 97, 3231-3261.
- Labussière E., Dubois S., Gilbert H., Thibault J.N., Le Floch N., Noblet J., van Milgen J., 2015. Effect of inflammation stimulation on energy and nutrient utilization in piglets selected for low and high residual feed intake. *Animal*, 9, 1653-1661.
- Lairez J., Feschet P., Aubin J., Bockstaller C., Bouvarel I., 2015. *Agriculture et développement durable : Guide pour l'évaluation multicritère*. Educagri, Dijon/QUAE, Versailles. 228p.
- Laisse S., Baumont R., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Veysset P., Rémond D., Peyraud J.L., 2018. L'efficacité nette de conversion des aliments par les animaux d'élevage : une nouvelle approche pour évaluer la contribution de l'élevage à l'alimentation humaine. *INRA Prod. Anim.*, 31, 269-288.

- Lassen J., Løvendahl P., 2016. Heritability estimates for enteric methane production in dairy cattle using non-invasive methods. *J. Dairy Sci.*, 99, 1959-1967.
- Løvendahl P., Difford G.F., Li B., Chagunda M.G.G., Huhtanen P., Lidauer M.H., Lassen J., Lund P., 2018. Review: Selecting for improved feed efficiency and reduced methane emissions in dairy cattle. *Animal*, 12, s336-s349.
- Merlot E., Gilbert H., Le Floc'h N., 2016. Metabolic response to an inflammatory challenge in pigs divergently selected for residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, 94, 563-573.
- Meschy F., Jondreville C., Dourmad J.Y., Narcy A., Nys Y., 2008. Maîtrise des rejets de phosphore dans les effluents d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 21, 79-86.
- Meunier-Salaün M.C., Guérin C., Billon Y., Sellier P., Noblet J., Gilbert H., 2014. Divergent selection for residual feed intake in group-housed growing pigs: characteristics of physical and behavioural activity according to line and sex. *Animal*, 8, 1898-1906.
- Montagne L., Loisel F., Le Naou T., Gondret F., Gilbert H., Le Gall M., 2014. Difference in short-term responses to a high-fiber diet in pigs divergently selected for residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, 92, 1512-1523.
- Montanholi Y.R., Odongo N.E., Swanson K.C., Schenkel F.S., McBride B.W., Miller S.P., 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J. Thermal Biol.*, 33, 468-475.
- Montanholi Y., Fontoura A., Swanson K., Coomber B., Yamashiro S., Miller S.P., 2013. Small intestine histomorphometry of beef cattle with divergent feed efficiency. *Acta Vet. Scand.*, 55, 9.
- Nahon D., 2012. Sauvons l'agriculture ! Collections Sciences. Odile Jacob, Paris, France, 264p.
- Nguyen T.T.H., van der Werf H.M.G., Eugene M., Veyssset P., Devun J., Chesneau G., Doreau M., 2012. Effects of type of ration and allocation methods on the environmental impacts of beef-production systems. *Livest. Sci.*, 145, 239-251.
- Nkrumah J.D., Okine E.K., Mathison G.W., Schmid K., Li C., Basarab J. A., Price M. A., Wang Z., Moore S.S., 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 84, 145-153.
- Noblet J., Shi X.S., Dubois S., 1993. Energy cost of standing activity in sows. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 127-136.
- Noblet J., Gilbert H., Jaguelin-Peyraud Y., Lebrun T., 2013. Evidence of genetic variability for digestive efficiency in the growing pig fed a fibrous diet. *Animal*, 7, 1259-1264.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine National Academy Press, Washington, DC, USA, 400p.
- Olijhoek D.W., Løvendahl P., Lassen J., Hellwing A.L.F., Höglund J.K., Weisbjerg M.R., Noel S.J., McLean F., Højberg O., Lund P., 2018. Methane production, rumen fermentation, and diet digestibility of Holstein and Jersey dairy cows being divergent in residual feed intake and fed at 2 forage-to-concentrate ratios. *J. Dairy Sci.*, 101, 9926-9940.
- Patra A., Park T., Kim M., Yu Z.T., 2017. Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 8, 13. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0145-9>
- Pellerin S., Bamiere L., Angers D., Beline F., Benoit M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Henault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., Chemineau P., 2017. Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environ. Sci. Policy*, 77, 130-139.
- Pflimlin A., Faverdin P., Béranger C., 2009. Un demi-siècle d'évolution de l'élevage bovin. Bilan et perspectives. *Fourrages*, 200, 429-464.
- Pickering N.K., Oddy V.H., Basarab J., Cammack K., Hayes B., Hegarty R.S., Lassen J., McEwan J.C., Miller S., Pinares-Patino C.S., de Haas Y., 2015. Animal board invited review: genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants. *Animal*, 9, 1431-1440.
- Pinares-Patiño C.S., Hickey S.M., Young E.A., Dodds K.G., MacLean S., Molano G., Sandoval E., Kjestrup H., Harland R., Hunt C., Pickering N.K., McEwan J.C., 2013. Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal*, 7, 316-321.
- Puillet L., Agabriel J., Peyraud J.L., Faverdin P., 2014. Modelling cattle population as lifetime trajectories driven by management options: A way to better integrate beef and milk production in emissions assessment. *Livest. Sci.*, 165, 167-180.
- Rastoin J.L., Ghersi G., 2010. Le système alimentaire mondial: Concepts et méthodes, analyses et dynamiques. Collection Synthèse, QUAE, Paris, France, 565p.
- Renand G., Vinet A., Maupetit D., 2016. Relations entre émissions de méthane entérique et efficacité alimentaire chez des génisses charolaises en croissance. *Renc. Rech. Rum.*, 23, 19-22.
- Richardson E.C., Herd R.M., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Austr. J. Exp. Agric.*, 44, 431-440.
- Ryschawy J., Disenhaus C., Bertrand S., Allaire G., Aznar O., Plantureux S., Josien E., Guinot C., Lasseur J., Perrot C., Tchakerian E., Aubert C., Tichit M., 2017. Assessing multiple goods and services derived from livestock farming on a nation-wide gradient. *Animal*, 11, 1861-1872.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. INRA Éditions, Paris, France, 301p.
- Sauvant D., Cantalapiedra-Hijar G., Delaby L., Daniel J.B., Faverdin P., Nozière P., 2015. Actualisation des besoins protéiques des ruminants et détermination des réponses des femelles laitières aux apports de protéines digestibles dans l'intestin. *INRA Prod. Anim.*, 28, 347-367.
- Soteriades A.D., Faverdin P., Moreau S., Charroin T., Blanchard M., Stott A.W., 2016a. An approach to holistically assess (dairy) farm eco-efficiency by combining Life Cycle Analysis with Data Envelopment Analysis models and methodologies. *Animal*, 10, 1899-1910.
- Soteriades A.D., Stott A.W., Moreau S., Charroin T., Blanchard M., Liu J. Y., Faverdin P., 2016b. The Relationship of Dairy Farm Eco-Efficiency with Intensification and Self-Sufficiency. Evidence from the French Dairy Sector Using Life Cycle Analysis, Data Envelopment Analysis and Partial Least Squares Structural Equation Modelling. *Plos One* 11. e0166445.
- van Milgen J., Dourmad J.Y., 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 6, 15.
- van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.Y., Sève B., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 143, 387-405.
- VandeHaar M.J., 2012. Feeding and breeding dairy cattle to improve feed efficiency. *Pacific Northwest Anim. Nutr. Conf.* [http://dairy-efficiency.org/sites/default/files/user\\_uploaded\\_files/2012\\_PNWANC\\_Feed\\_efficiency.pdf](http://dairy-efficiency.org/sites/default/files/user_uploaded_files/2012_PNWANC_Feed_efficiency.pdf)
- Vérité R., Journet M., 1977. Utilisation des tourteaux traités au formol par les vaches laitières. II.- Effets sur la production laitière du traitement des tourteaux au formol et du niveau d'apport azoté au début de la lactation. *Ann. Zoot.*, 26, 183-205.
- Young J.M., Dekkers J.C.M., 2012. The genetic and biological basis of residual feed intake as a measure of feed efficiency. In: *Feed efficiency in swine*. Patience J.F. (Ed). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 153-166.
- Zehetmeier M., Baudracco J., Hoffmann H., Heissenhuber A., 2012. Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal*, 6, 154-166.

## Résumé

L'élevage est soumis à des défis considérables pour s'adapter au problème de compétition sur les ressources, notamment alimentaires, et aux problèmes environnementaux. L'amélioration de l'efficacité de conversion des ressources alimentaires en produits animaux est une voie importante susceptible de répondre simultanément aux deux enjeux. Cette revue définit cette notion d'efficacité en la plaçant dans le cadre plus global du triangle de la performance : pertinence, efficacité et efficacité. Elle montre l'importance de mettre en perspective ces questions d'efficacité alimentaire des animaux en abordant la question du changement d'échelle. Dans les secteurs de production de viande et de lait, elle fait le point sur les travaux conduits pour améliorer l'efficacité à la fois par la sélection d'animaux capables de mieux transformer les aliments en produits animaux et par une conduite alimentaire plus précise et mieux équilibrée. Elle évoque les principales avancées pour réduire les émissions à risques pour l'environnement. Raisonner l'efficacité alimentaire et les émissions de rejets à l'échelle de l'animal pour la production de lait ou de viande offre des perspectives de progrès importants, mais ne garantit pas toujours une amélioration de l'efficacité à une échelle plus globale, ni une réduction des impacts sur l'environnement. Il faut donc bien prendre soin de vérifier que les stratégies proposées sont efficaces et permettent d'atteindre les objectifs recherchés avec des indicateurs appropriés. La prise en compte des effets du changement d'échelle pour améliorer la performance globale est un vrai nouveau défi pour la recherche.

## Abstract

### ***Integrate scale changes to improve the efficiency of livestock production (systems?) and reduce emissions***

*Livestock production is facing the challenge to adapt to the problem of competition for resources (especially food resources) and to reduce its environmental impact. Improving the efficiency of converting food resources into animal-derived products is an important way to address both issues simultaneously. This review paper addresses the notion of efficiency by placing it in a broader context of the performance triangle composed of relevance, efficiency, and effectiveness. We will show that feed efficiency issues have to be considered at different levels of organization. For the meat and dairy production sectors, we address research that has been carried out to improve feed efficiency through selection of animals that are better capable of transforming feed resources into animal-derived products and through feeding techniques in which the nutrient supply is better adjusted to the animal's requirement. We also discuss progress that has been made to reduce the environmental impact of livestock production. Considering feed efficiency and emission reduction at the animal level is important and offers a considerable prospect for progress. However, it does not guarantee that efficiency is improved and that environmental impact is reduced at higher levels of organization. It is important to ensure that the proposed livestock management strategies are effective and that they achieve the desired objectives using appropriate indicators. Accounting for the effect of scale changes on the overall performance of livestock production is a new challenge for research.*

FAVERDIN P., VAN MILGEN J., 2019. Intégrer les changements d'échelle pour améliorer l'efficacité des productions animales et réduire les rejets. In : Numéro spécial, De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 305-322.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2499>

# Quelle science pour les élevages de demain ? Une réflexion prospective conduite à l'INRA

Jean-Louis PEYRAUD<sup>1</sup>, Joël AUBIN<sup>2</sup>, Marc BARBIER<sup>3</sup>, René BAUMONT<sup>4</sup>, Cécile BERRI<sup>5</sup>, Jean-Pierre BIDANEL<sup>6</sup>, Christine CITTI<sup>7</sup>, Corinne COTINOT<sup>8</sup>, Christian DUCROT<sup>9</sup>, Pierre DUPRAZ<sup>10</sup>, Philippe FAVERDIN<sup>11</sup>, Nicolas FRIGGENS<sup>12</sup>, Sabine HOUOT<sup>13</sup>, Marie-Odile NOZIÈRES-PETIT<sup>14</sup>, Claire ROGEL-GAILLARD<sup>6</sup>, Véronique SANTÉ-LHOUTELLIER<sup>16</sup>

<sup>1</sup>INRA, Direction Scientifique Agriculture, 75338, Paris, France

<sup>2</sup>SAS, Agrocampus Ouest, INRA, 35000, Rennes, France

<sup>3</sup>INRA – ESIEE – CNRS – UPEM, UMR LISIS, 77454, Marne La Vallée, France

<sup>4</sup>Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

<sup>5</sup>BOA, INRA, Université de Tours, 37380, Nouzilly, France

<sup>6</sup>GABI, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 78350, Jouy-en-Josas, France

<sup>7</sup>IHAP, Université de Toulouse, INRA, ENVT, 31076, Toulouse, France

<sup>8</sup>UMR BDR, ENVA, INRA, Université Paris-Saclay, 78350, Jouy-en-Josas, France

<sup>9</sup>ASTRE, Université de Montpellier, CIRAD, INRA, 34988, Montpellier, France

<sup>10</sup>INRA – AgroCampus Ouest, UMR SMART-LERECO, 35042, Rennes, France

<sup>11</sup>PEGASE, INRA, Agrocampus-Ouest, 35042, Rennes, France

<sup>12</sup>UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France

<sup>13</sup>UMR ECOSYS, INRA-AgroParisTech-Université Paris-Saclay, 78850, Thiverval-Grignon, France

<sup>14</sup>SELMET, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, 34000, Montpellier, France

<sup>15</sup>INRA, UR QuaPA, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

Courriel : jean-louis.peyraud@inra.fr

■ Pour clore ce numéro spécial sur « De grand défis et des solutions pour l'élevage », cet article synthétise une large réflexion prospective conduite à l'INRA au cours des derniers mois sur le statut et le rôle de l'élevage au sein de systèmes agri-alimentaires circulaires et durables, et sur les nouveaux fronts de science et priorités de recherche pour les années à venir qui en découlent.

## Introduction

Dans un contexte où l'élevage est au cœur de nombreuses controverses, le président de l'INRA, Philippe Mauguin, a souhaité que soit conduite une réflexion scientifique prospective pour explorer les futurs possibles en explorant de réelles ruptures. L'objectif était d'éclairer l'INRA sur les actions à mettre en œuvre pour développer une recherche ambitieuse sur et pour l'élevage de demain afin de favoriser et accompagner les changements. Cette réflexion devait intégrer les différentes filières animales,

les évolutions de la consommation de produits animaux et les différents piliers de la durabilité. Elle devait aussi permettre d'identifier les nouveaux fronts de science et les défis technologiques, analyser le positionnement à l'international de l'institut, définir les collaborations à construire, en particulier à l'international et analyser les conséquences en terme d'évolution du dispositif de recherche. Cet article fait l'état des lieux du résultat de ces réflexions, en particulier sur l'analyse des enjeux, le cadre conceptuel pour penser les élevages demain et donne un résumé des thématiques principales retenues.

## 1. Ambitions et périmètre de la réflexion scientifique prospective

### ■ 1.1. Impulser une nouvelle dynamique aux recherches sur et pour l'élevage

L'ambition du chantier a été double. Premièrement, il s'agissait de repenser la place, les rôles et contributions de l'élevage et en quoi il doit se transformer pour contribuer pleinement au développement de systèmes agri-alimentaires plus durables : réductions

des impacts environnementaux, amélioration de la sécurité nutritionnelle, production des services utiles à la société et contribution au développement économique des territoires. On parle ici de systèmes agri-alimentaires au sens où l'objectif est de produire des aliments pour l'Homme, ce qui est le premier objectif de l'agriculture, mais aussi des biens non alimentaires (énergie, produits biosourcés) et des biens non marchands comme la santé des écosystèmes. La seconde ambition était d'identifier et promouvoir des thématiques de recherches interdisciplinaires permettant d'explorer les nouveaux fronts de science et les défis technologiques, porteurs d'avenir et donnant de nouvelles perspectives aux travaux sur l'élevage afin de renforcer l'excellence scientifique de l'INRA, d'affirmer une position de leader et de lever des verrous de connaissances et méthodologiques (voire réglementaires) pour développer les innovations permettant de faire progresser l'élevage. La production de connaissances doit aussi permettre d'éclairer les porteurs d'enjeux et le débat public à partir d'une argumentation basée sur des faits scientifiques.

La posture adoptée a considéré que les fronts de science actuels et futurs se situent à l'interface entre les disciplines et que seule l'approche interdisciplinaire permettra de penser la complexité des systèmes biologiques, agronomiques et alimentaires en renouvelant les questions scientifiques, et d'aborder les grands enjeux de l'élevage. L'objectif a donc été de réfléchir les fronts de science nécessitant de renforcer les interactions entre communautés scientifiques travaillant sur des disciplines, thématiques et fenêtres de temps différentes. Les questions relevant principalement d'une seule discipline ou de collaborations déjà bien établies n'ont pas été incluses (où à la marge) dans la réflexion qui de ce fait n'a pas vocation à représenter toutes les activités de l'INRA dans le secteur de l'élevage. Pour autant, ces recherches contribuent à alimenter les approches mises en avant dans la réflexion prospective. Il s'agit par exemple, et sans vouloir être exhaustif, des travaux sur la caractérisation, l'étude de la dynamique

évolutive et l'annotation fonctionnelle des génomes animaux, l'étude fine de l'architecture génétique des caractères, l'étude approfondie des cellules souches, les travaux sur la biologie des vecteurs de parasites et des interactions entre hôtes et agents pathogènes pour identifier de possibles solutions thérapeutiques ou vaccinales, les travaux sur la surveillance des maladies et les agents pathogènes émergents et l'identification des agents pathogènes et des toxiques. Il s'agit aussi de travaux sur des développements méthodologiques comme par exemple les ontologies, la combinaison de la génétique quantitative et de la génétique des populations, l'intégration des données génétiques, épigénétiques, métagénomiques, le développement de modèles pour la sélection génomique intégrative ou encore l'utilisation de l'intelligence artificielle pour découvrir de nouveaux biomarqueurs.

## ■ 1.2. Périmètre de la réflexion

La réflexion a été centrée sur l'élevage français et européen mais en considérant un emboîtement d'échelles vers le niveau mondial. En effet, les systèmes européens partagent les mêmes enjeux, certains spécifiques, voire en décalage avec le reste du monde. De ce point de vue, l'élevage européen peut dans une certaine mesure avoir un rôle précurseur annonciateur d'évolutions qui pourraient avoir lieu aussi à terme dans d'autres régions du monde et éclairer des voies de progrès pouvant bénéficier aux pays tiers. Les systèmes agri-alimentaires européens se distinguent par une consommation de produits animaux élevée par habitant mais qui diminue. À l'inverse, la consommation augmente dans d'autres parties du monde, en lien avec l'accroissement démographique, l'urbanisation et l'amélioration du niveau de vie (Chine, Sud Est Asiatique) ou devrait s'accroître dans d'autres régions (Afrique de l'Ouest et de l'Est) pour améliorer l'état de santé des populations et réduire les retards de croissance (voire les cas d'anémie) des enfants. Les attentes sociétales en Europe vis-à-vis de l'élevage sont plus fortes et évoluent plus rapidement que

dans de nombreux pays qui pourtant sont confrontés aux mêmes enjeux de pollution locale, de gestion des territoires et de bien-être animal que les pays européens. Enfin, les conditions de l'élevage européen restent différentes de celles d'autres régions du monde telles que les méga-fermes chinoises ou les grands troupeaux bovins du continent américain ou d'Océanie et, à l'autre extrémité, les petites exploitations familiales de pays en développement qui ne posent pas les mêmes questions.

Pour autant, il n'est pas possible d'examiner la situation en Europe sans considérer le niveau mondial. À cette échelle globale, l'élevage joue un rôle essentiel pour éradiquer la faim, la pauvreté, la malnutrition et les déficiences en micronutriments (HLPE, 2016) et apporte une contribution à tous les objectifs du développement durable tels que définis par les Nations Unies (FAO, 2018). Sur les plans environnementaux et des marchés, il y a nécessité d'inclure les effets environnementaux délocalisés de l'élevage européen au premier rang desquels on peut citer la contribution au réchauffement climatique et les effets induits par les importations de soja. Par ailleurs, l'élevage européen étant dans un marché ouvert, une bonne vision des évolutions de la demande en produits animaux et en aliments du bétail, ainsi qu'une connaissance des dynamiques de production dans d'autres parties du monde sont nécessaires pour éviter une déstabilisation des marchés intérieurs par des importations massives de produits animaux fabriqués de manière non durable et loin des standards de qualité européens et, à l'inverse, pour analyser les marchés porteurs pour des productions européennes.

Enfin, l'opportunité d'élargir les recherches de l'INRA au niveau mondial, sur des thématiques où nous sommes reconnus (agroécologie, génomique...) aura plusieurs intérêts : *i)* l'élevage est souvent le parent pauvre des approches globales en particulier parce que les systèmes d'élevage sont complexes, difficiles à représenter de façon réaliste en modélisation, en tout cas beaucoup plus que les systèmes de culture ; *ii)* renforcer (au-delà du

métaprogramme GLOFOOD et de l'étude Agrimonde Terra) la présence de l'INRA dans les rapports internationaux concernant l'élevage, développer des modèles d'élevage en interaction avec les systèmes de culture et apporter de la généricité en complémentarité des travaux du CIRAD qui sont plus centrés sur l'étude de cas et par là, contribuer à améliorer les systèmes locaux. L'accès à ces terrains d'étude plus diversifiés permettrait en retour de mettre à l'épreuve nos idées, concepts et modèles.

### ■ 1.3. Une réflexion dédiée à l'élevage d'animaux terrestres et de poissons

Le chantier (encadré 1) a concerné toutes les filières animales dont l'aquaculture, l'élevage dans les territoires ruraux et les différentes formes d'élevage périurbain et urbain (espaces verts animalisés...). En revanche, concernant les substituts à la viande nous avons considéré que la viande *in vitro* (ou les produits obtenus par impression 3D tels que le surimi) n'entrait pas dans le périmètre de la réflexion concernant les volets techniques. Il est en effet illusoire de vouloir concurrencer par la recherche publique des travaux disposant de financements privés considérables et cette production souffre par ailleurs de nombreuses limites qui font douter de sa pertinence (Hocquette *et al.*, 2013). La production d'insectes (ou d'autres sources de protéines comme la lombriculture) est considérée dans le cadre des possibilités offertes pour la production de protéines pour l'alimentation animale à partir du recyclage de déchets. En revanche, la production d'insectes pour l'alimentation humaine n'est pas considérée d'un point de vue zootechnique, mais l'évaluation globale de ces filières reste un enjeu pour nos recherches. Il faut pouvoir évaluer leurs impacts environnementaux et économiques par rapport à la production de viande blanche et l'acceptabilité des produits par le consommateur (Sommes-nous prêts à manger des insectes en Europe ? Quelle saveur des produits ?). La question du cortège microbien/parasite accompagnant la production d'insectes reste une question majeure.

#### Encadré 1. Organisation de la réflexion prospective scientifique

La réflexion a été animée par un groupe de pilotage de 15 chercheurs appartenant à plusieurs départements de recherche et couvrant les principales filières animales et domaines de compétences. Le groupe animé par Jean-Louis Peyraud était constitué de Joel Aubin (Phase), Marc Barbier (SAD), René Baumont (Phase), Cécile Berri (Phase), Jean Pierre Bidanel (GA), Christine Citti (SA), Corinne Cotinot (Phase), Christian Ducrot (SA), Pierre Dupraz (SAE2), Nicolas Friggens (Phase), Philippe Faverdin (Phase), Sabine Houot (EA), Marie-Odile Nozières-Petit (SAD), Claire Rogel-Gaillard (GA), Véronique Santé-Lhoutellier (CEPIA). Un comité de pilotage composé des chefs de départements les plus concernés (GA, Phase, SA, SAD, SAE2 et EA) et directeurs de métaprogrammes (Glofoods, Ecoserv, Gisa, Selgen), du Directeur Scientifique Agriculture et de Philippe Chemineau (DARESE) s'est réuni à deux reprises durant la première moitié du chantier pour aider à cadrer le dispositif.

Le groupe d'animation a identifié dix thèmes de travail en réponse à des enjeux cognitifs et finalisés stratégiques pour l'INRA et ayant vocation à promouvoir des approches systémiques et interdisciplinaires et, pour certains d'entre eux au moins, à affirmer un leadership de l'INRA au plan international. Les 10 groupes de travail (GT) ont mobilisé 104 chercheurs de l'INRA et de l'IRSTEA. Ces groupes, animés par un chercheur (ou un tandem) issu du groupe de pilotage ont analysé les gaps de connaissance, les enjeux de recherche, les questions scientifiques émergentes, les verrous méthodologiques, et réalisé une analyse critique de notre dispositif.

- GT1 : Compréhension des enjeux sociétaux et économiques autour de l'élevage (P. Dupraz, SAE2)
- GT2 : Élaboration précoce des phénotypes des animaux et des caractères de production (C Cotinot, Phase et C. Rogel-Gaillard, GA)
- GT3 : Compréhension des régulations chez l'animal en production (N Friggens, Phase)
- GT4 : Gestion intégrée de la santé et du Bien-être animal (C. Ducrot et C. Citti, SA)
- GT5 : L'élevage pour valoriser des ressources alimentaires variées dans un contexte de changement climatique (R. Baumont, Phase, et Jean-Louis Peyraud, DSA-Agriculture)
- GT6 : Gestion des effluents de l'élevage (S. Houot, EA)
- GT 7 : Qualité des produits et des coproduits animaux (C. Berri, Phase)
- GT 8 : Les bouquets de services de l'élevage (J. Aubin, Phase et P. Dupraz, SAE2)
- GT 9 : Valorisation de la diversité à différents niveaux d'organisation (M.O. Nozières-Petit, SAD)
- GT 10 : L'élevage à l'ère du numérique (P. Faverdin et L. Brossard, Phase)

En complément, les groupes filières animales (<https://www6.inra.fr/groupe-filieres/Filieres-Animales>) ont été mobilisés pour faire remonter les besoins et questions de recherches avec une entrée par les grands challenges socio-économiques à relever.

Deux séminaires ouverts aux Instituts techniques ont été programmés courant 2018 pour éclairer le contexte socio-économique de l'élevage et faire émerger des questions de recherche. Le séminaire « Où va l'élevage ? Contexte sociétal » a permis d'échanger sur les controverses concernant l'élevage. Le séminaire « Où va l'élevage ? Contexte économique », co-organisé avec le chantier sur la PAC (H. Guyomard), a concerné la dichotomie entre une demande quantitative pour les produits animaux qui s'accroît hors Europe alors qu'elle stagne/baisse sur le marché intérieur européen qui semble s'orienter vers une demande de montée en gamme de la qualité. Les échanges ont aidé à construire une vision partagée, analyser les drivers sociétaux et économiques, à dessiner un avenir pour les filières d'élevage et mettre en avant les questions de recherche à aborder, afin de fournir des éléments permettant d'argumenter les choix à effectuer.

## 2. L'élevage au cœur de multiples enjeux environnementaux, sociétaux et économiques

L'élevage est une composante clé de la vitalité de nombreux territoires et il est présent dans presque toutes les régions avec une grande diversité de systèmes de production ; le secteur

contribue de manière substantielle à l'économie. Le chiffre d'affaire est de 165 milliards d'euros par an en 2015, ce qui représente 45 % de celui du secteur agricole en Europe (37 % en France). L'UE-28 est généralement autosuffisante en produits d'origine animale et exporte sur les marchés mondiaux pour 19,5 milliards d'euros (Dumont *et al.*, 2016). L'essentiel de la

biomasse végétale produite en France et en Europe (et au plan mondial aussi) n'est pas consommable par l'Homme et l'élevage en est le principal consommateur (Dronne, 2018). L'alimentation animale joue aussi un rôle économique et de tampon majeur pour les grandes filières végétales (céréales, colza) en valorisant les écarts entre l'offre de grains et la demande des marchés pour la consommation humaine interne et l'export de manière structurelle, mais aussi lorsque des déséquilibres de marchés apparaissent. Pour autant l'élevage est confronté à une crise de légitimité, environnementale, sociale et économique sans précédent et il doit évoluer en profondeur.

### ■ 2.1. Enjeux et moteurs des évolutions

Des déséquilibres écologiques liés à l'intensification des systèmes, à leur spécialisation et à leur concentration sur certains territoires sont apparus dès les années 1980 avec la question du nitrate en Bretagne et la qualité de l'eau (Hénin, 1980 ; Peyraud *et al.*, 2014). Par la suite, il y a eu une prise de conscience des effets plus globaux de l'élevage sur le changement climatique avec les émissions de gaz à effet de serre, et sur la perte de biodiversité liée à la disparition de la forêt primaire permettant la culture du soja (rapport « *Livestock Long Shadow* », FAO, 2006). Plus récemment les questions des émissions d'ammoniac et de particules fines affectant la qualité de l'air, les risques de pollution chimique et biologique des écosystèmes par dissémination de pathogènes, de résidus médicamenteux et de gènes de résistance aux antibiotiques par les effluents sont apparus comme autant de nouveaux défis. L'élevage est aussi questionné pour son utilisation importante des ressources naturelles (Godfray *et al.*, 2010 ; Foley *et al.*, 2011) dont la terre, l'eau, l'énergie fossile qui pourraient être valorisées directement en alimentation humaine, en particulier *via* des productions végétales dont une partie est directement consommables par l'Homme.

Au-delà des impacts sur la qualité de l'environnement et l'utilisation des ressources, d'autres sujets sont venus

plus récemment alimenter les controverses sur l'élevage, notamment la question du bien-être animal et des conditions d'élevage dans le cadre des modèles « intensifs » (Delanoue et Roguet, 2015). Ces controverses et leur intensité varient selon les filières et les pays, avec une attention particulière sur la résistance aux antibiotiques au Danemark, des controverses très fortes autour du bien-être animal en Allemagne, aux Pays Bas, au Royaume Uni, dans les Pays Scandinaves et plus récemment en France alors que les pays du Sud et la Pologne sont moins sensibles à ces questions (pour le moment du moins). Enfin, il est aussi établi qu'une forte consommation de viande rouge et de viandes transformées est associée à un risque accru de cancer colorectal (Bouvard *et al.*, 2015) et les politiques nutritionnelles encouragent une réduction de la consommation de viande dans les pays de l'OCDE. L'OMS recommande un équilibre 50/50 entre protéines animales et végétales pour une alimentation saine alors que les pays d'Europe de l'Ouest sont plutôt proches d'un ratio 65/35 et avec un apport protéique globalement excédentaire. Une diminution modérée de la consommation sera un moteur majeur pour le futur de l'élevage. Au final et pris dans leur ensemble, ces impacts de l'élevage sur l'environnement, sur l'utilisation des ressources, sur le bien-être des animaux et sur la santé humaine ont conduit certains auteurs à préconiser une réduction importante (50 % ou plus) de la consommation de produits animaux en Europe (Meier et Christen, 2012 ; Heller *et al.*, 2013 ; Westhoek *et al.*, 2014 ; Poore et Nemecek, 2018).

Une autre série d'enjeux est interne aux filières animales. Le modèle de développement historique fondé sur la substitution du travail par du capital et des consommations intermédiaires – encore ancré dans les esprits, les économies d'échelle incitant toujours à l'agrandissement des structures –, la demande de l'aval pour des produits plus homogènes, des volumes toujours plus importants et disponibles toute l'année et les relations complexes et parfois difficiles entre les producteurs, l'amont et l'aval des filières, rendent difficile l'instauration de nouveaux

équilibres. Les filières doivent faire face à une instabilité croissante des prix, des marchés et des revenus, pénalisant *in fine* l'attractivité des métiers (Nozières-Petit *et al.*, 2018) à un moment où la pyramide des âges est défavorable et la question du renouvellement des générations est posée. L'abandon du métier d'éleveur et la non reprise d'exploitations risquent d'être des moteurs déterminants dans la baisse des effectifs d'animaux, avant même l'impact des réglementations. Les exploitations s'agrandissent pour des raisons d'économie d'échelle, mais les structures de plus grande taille sont plus difficiles à transmettre, rendent plus difficile l'optimisation des pratiques agro-écologiques et vont à l'encontre des souhaits de la société. Dans ce contexte déjà difficile, les filières françaises ont perdu en compétitivité face à la concurrence européenne et mondiale (Turolla *et al.*, 2018 ; SENAT, 2019). La reconquête pour l'élevage français des parts de marchés intérieurs doit être instruite face à des concurrents très compétitifs – comme c'est le cas en volaille où 70 % de la consommation hors foyer provient de l'importation – et dans un contexte où la consommation baisse (viande rouge) où au mieux stagne (volaille) et où la production ne correspond pas toujours à la demande nationale.

### ■ 2.2. Mais aussi des opportunités sont à saisir

Au niveau économique, l'Europe peut bénéficier de la forte demande mondiale en visant des marchés rémunérateurs faisant valoir la compétitivité hors coût de ses produits : empreintes environnementales relativement plus faibles, sécurité sanitaire des produits et exigences de bien-être des animaux plus élevées que pour les autres pays exportateurs sur les marchés de masse (cf. Dumont *et al.*, 2017) et, notamment les produits français, dont les produits sous signe officiel de qualité, avec l'image de gastronomie qui les caractérise. Sur le marché interne, les ambitions de la grande distribution et des transformateurs, leur souhait de diversifier les produits dès l'amont de la filière et l'évolution des demandes d'une partie des consommateurs de

plus en plus soucieux de leur alimentation vers des qualités premium (Obsoco, 2016), relayées en France par les États généraux de l'alimentation (EGA, atelier 11) vont forcer les évolutions vers des productions plus durables et un accroissement (sans doute modéré) des productions de niche.

Concernant l'environnement et l'utilisation des ressources, le rôle de l'élevage est reconnu comme essentiel pour boucler les cycles de nutriments dans le cadre d'approches agro-écologiques reposant sur les ressources naturelles, les services écosystémiques, les processus écologiques et le recyclage des éléments nutritifs en privilégiant les engrais organiques plutôt que synthétiques (HLPE, 2016 et 2019 ; Mottet *et al.*, 2017 ; de Boer et van Ittersum, 2018) et en exploitant la capacité des animaux à valoriser les biomasses non directement utilisables en alimentation humaine (Wilkinson, 2011 ; Laisse *et al.*, 2018). Il y a donc aussi, à côté des démarches visant la réduction des impacts, des opportunités à saisir pour développer un élevage plus durable et dont les rôles et services sont reconnus et appréciés par la société. La **figure 1** récapitule les principaux challenges que l'élevage doit relever et en quoi il doit se transformer pour contribuer positivement aux objectifs du développement durable (ODD) tels qu'ils ont été définis par les nations unies (voir aussi-FAO, 2018). Les ODD ont été rassemblés en quatre grands domaines pour une lecture simplifiée. L'élevage contribue aux autres ODD (FAO, 2018), mais de

manière beaucoup plus marginale en Europe.

### 3. Une vision pour l'élevage demain et les recherches à mener

#### ■ 3.1. Un nouveau paradigme pour construire le futur de l'élevage

Des progrès significatifs ont été accomplis depuis le début des années 1980 sur la réduction des émissions par unité de produit, grâce à la recherche d'une efficacité accrue des facteurs de production. Mais les travaux conduits ont principalement cherché à optimiser le fonctionnement des systèmes dans une logique de progrès incrémentiel, d'approche linéaire supposant les ressources non limitées et en pensant l'optimisation de la production d'un seul produit sans considérer les effets secondaires et les autres maillons des systèmes agri-alimentaires. Les modes de consommation sont aussi analysés sous l'angle des empreintes des différents produits pris indépendamment les uns des autres. Ces analyses linéaires ne prennent pas correctement en compte les nombreuses et complexes interactions existant au sein des systèmes alimentaires entre différents produits. Dans un monde aux ressources finies et avec des écosystèmes parfois fortement dégradés (sol, aquifères, atmosphère), les adaptations à accomplir sont majeures et interrogent sur la place et le rôle que doit tenir l'élevage au sein des

systèmes agri-alimentaires circulaires et durables. Si la recherche d'efficacité accrue d'utilisation des ressources reste une priorité car elle permet d'assurer un volume de production pour l'industrie et l'export et que des progrès sont encore possibles. Cette recherche d'efficacité n'est pas suffisante car elle ne garantit pas la résilience des systèmes de production face aux aléas climatiques, sanitaires et elle ne traduit pas l'aptitude des systèmes de production à restaurer la qualité des écosystèmes et à sécuriser les ressources ou au contraire à continuer à les dégrader même si c'est plus lentement que par le passé. C'est pourquoi au-delà de la recherche d'une efficacité accrue, qui est une approche portée par le concept « d'intensification durable », il faut aussi capter l'aptitude des pratiques à maintenir, voire « régénérer » la qualité des écosystèmes et des ressources (HLPE, 2019) par le développement d'une agriculture et d'un élevage agro-écologique (INRA, 2012).

Les systèmes agri-alimentaires circulaires et durables doivent intégrer une production végétale et un élevage économes en ressources non (ou peu) renouvelables, qui non seulement produisent une alimentation saine à un prix abordable, mais éliminent aussi les pertes en recyclant les biomasses entre secteurs, contribuent à entretenir la qualité des écosystèmes et assurent la sécurité des ressources, et produisent d'autres biens et services reconnus par la société, à commencer par le stockage de carbone dans les sols, la préservation de la biodiversité ou la production

**Figure 1.** Challenges à relever pour une contribution renforcée de l'élevage aux objectifs du développement durable.

				Domaines	Challenges
				<b>Sécurité alimentaire et nutritionnelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accroître la disponibilité en aliment pour un prix abordable</li> <li>- Améliorer la sécurité nutritionnelle (produits animaux)</li> </ul>
				<b>Développement économique des territoires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribuer à la vitalité des territoires et à la qualité de vie</li> <li>- Promouvoir des systèmes de productions acceptables</li> <li>- Accroître la résilience des systèmes d'élevage</li> </ul>
				<b>Santé et bien-être (one-health)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôler les maladies (émergentes) infectieuses</li> <li>- Améliorer la santé et le bien être des animaux</li> <li>- Assurer la sécurité sanitaires avec moins de médecines</li> </ul>
				<b>Changement climatique et pérennité des ressources</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accroître l'efficacité d'utilisation des ressources et assurer leur pérennité</li> <li>- Réduire les émissions et boucler les cycles de nutriments</li> <li>- Accroître la biodiversité et éviter les pertes de biodiversité</li> </ul>

d'énergie renouvelable (figure 2). La circularité vise à rétablir des boucles entre différents éléments du système global à différents niveaux ce qui a de nombreuses implications. L'élevage y joue un rôle essentiel (Mottet *et al.*, 2017 ; Van Zanten *et al.*, 2018) et doit être considéré comme une des clés au sein des territoires pour apporter des solutions. La circularité peut se définir à différentes échelles, de l'exploitation agricole au monde, mais la dimension territoriale (à différentes échelles : inter-exploitations, bassin de production, bassin de vie...) est déterminante pour la connaissance, la mobilisation et l'entretien des ressources disponibles. Elle pose les questions de la diversité des territoires, de la valorisation de la diversité des systèmes d'élevage et de la gouvernance pour la mise en œuvre de tels systèmes.

Par ailleurs, la santé et le bien-être des animaux (hors cadre des maladies infectieuses zoonotiques où beaucoup de travaux ont été et sont réalisés) ont jusqu'ici été étudiés pour corriger les effets délétères apparus avec l'accroissement de la productivité, mais sans considérer les liens avec la santé humaine et celle des écosystèmes. Dans un contexte de forte contestation de l'élevage et d'enjeux sanitaires majeurs (antibiorésistance), il convient

de changer d'approche et de concevoir des systèmes visant en priorité à respecter les animaux et les Hommes et améliorant la qualité de vie des éleveurs. Ces systèmes doivent réduire le risque de développement de résistance aux antibiotiques (O'Neill, 2016) dans un monde où santé animale et santé humaine sont liées et où l'Homme et l'animal partagent une même pharmacopée. L'OMS a adopté en 2015 un plan pour combattre la résistance aux antibiotiques sous le concept de « *One World, One Health* » reconnaissant que la santé de l'Homme était liée à celle des animaux et des écosystèmes. L'amélioration des conditions de vie des animaux et la prévention des maladies, plutôt que leur traitement, deviennent ainsi la priorité. Le concept de « *One Welfare* » a été proposé (Fraser, 2016) pour souligner les liens entre bien-être animal et bien-être humain et reconnaître que tous deux dépendent d'un bon état écologique de l'environnement.

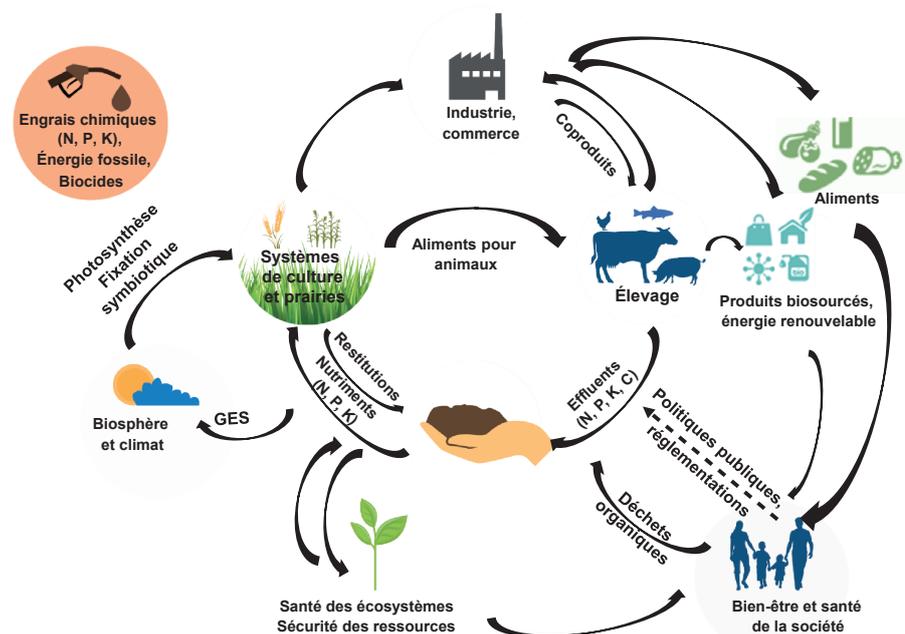
### ■ 3.2. Repenser les voies de progrès des systèmes d'élevage

La prise en compte d'un périmètre plus large considérant l'élevage comme un des éléments d'une bioéconomie circulaire ouvre de nouvelles perspectives de progrès en complément des

pistes déjà explorées et qui doivent continuer de l'être.

Le développement de systèmes agri-alimentaires circulaires et durables ne peut s'envisager sans un élevage lui-même multiperformant, dont l'empreinte carbone soit neutre, résilient au changement climatique et assurant la santé de l'animal, de l'Homme et des écosystèmes. La recherche doit permettre de lever les verrous en travaillant sur les émissions de GES ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ), le stockage de C et l'adaptation aux changements climatiques au niveau de l'animal, des effluents, de la conduite des systèmes, des filières et des outils de politiques publiques incitant aux changements tout en contribuant à fortement réduire voire annuler les émissions vers les agroécosystèmes des autres formes d'N réactif (ammoniac, nitrate) et du phosphore. Dans le même temps, et d'ailleurs les deux sont liés, il faut mettre le bien-être et la santé des animaux et des Hommes au cœur des préoccupations pour la conception de nouveaux systèmes d'élevage. Ces objectifs peuvent être source de tensions et des compromis seront à trouver. Par exemple, l'accès des animaux à des parcours extérieurs pour le bien-être peut conduire à une maîtrise plus difficile des émissions vers l'air et l'eau, et de la santé (exposition à la faune sauvage).

**Figure 2.** Représentation des rôles de l'élevage au sein de systèmes agri-alimentaires circulaires et durables.



La question de la diversité et de la diversification à tous les niveaux (notamment de l'animal, des troupeaux et des systèmes) devient centrale dans une approche agroécologique. Ceci conduit à une évolution du paradigme de la recherche dans toutes les disciplines pour comprendre ses intérêts et limites et aider à son pilotage. En outre, les prix souvent bas et variables des produits animaux et les crises sanitaires invitent à revenir sur la question de la diversité des modèles de production et du lien avec celle de l'organisation des filières et des marchés. Il est nécessaire d'éclairer la question des économies de taille, de gamme et des effets d'agglomération et d'analyser comment se saisir des préférences des consommateurs pour mieux orienter la construction de la qualité des produits de l'élevage au sein des filières et en ciblant au mieux leurs débouchés.

### ■ 3.3. Repenser les liens entre élevage, productions végétales et dynamique des territoires

Le (re)couplage animal-végétal est essentiel pour l'amplification des approches agroécologiques. Il doit contribuer à une agriculture assurant le recyclage des éléments nutritifs, plus efficiente globalement et moins consommatrice d'énergie fossile et de produits chimiques, plus autonome en protéines, assurant la fertilité des sols, entretenant la biodiversité, valorisant les paysages et offrant des opportunités de développement de circuits alimentaires locaux. Ce (re)couplage concerne la valorisation optimisée des effluents pour réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse et entretenir le stock de matière organique du sol (initiative 4p1000). Il concerne aussi la diversification des rotations et des assolements, l'alimentation animale offrant des degrés de liberté bien plus importants que l'alimentation humaine pour utiliser et remobiliser dans la chaîne alimentaire une très grande diversité de biomasses végétales non directement utilisables en alimentation humaine. L'échelle et les modalités du (re)couplage peuvent être très variables depuis le niveau de l'exploitation, d'échanges entre exploitations voisines jusqu'aux échanges entre territoires. De manière plus disruptive, la réintroduction de l'élevage dans des territoires où il a disparu, voire l'utilisation de l'élevage comme outil du biocontrôle (désherbage, lutte contre les parasites) dans les zones spécialisées en grandes cultures, vignes et vergers sont à considérer. Le (re)couplage présente un intérêt tout particulier dans le cadre du développement de l'agriculture biologique où l'élevage fournit des engrais bon marché et où il peut bénéficier en retour d'aliments locaux certifiés bio à prix intéressant.

Toutes ces évolutions interpellent la recherche dans trois dimensions. Il faut considérer les flux de matières et d'énergie dans les territoires (métabolisme territorial) avec des approches quantitatives dynamiques et spatialisées et transformer ces informations sous formes d'indicateurs (au sens large) permettant de comprendre et piloter

ces flux. L'élevage doit aussi s'entendre de façon très large en considérant les synergies, antagonismes et hybridations qui peuvent apparaître entre les types d'élevage (intensif vs extensif, monogastrique vs ruminant...). Il faut considérer les différents rôles de l'élevage, et non uniquement la production d'aliments et de produits biosourcés, comme une clé d'entrée pour imaginer des solutions, ce qui n'exclut pas de confronter les deux approches dans un second temps. Le (re)couplage pose enfin des questions autour de nouveaux modèles économiques et de la gestion de la sécurité sanitaire.

### ■ 3.4. Repenser la filière, les liens entre élevage, transformation et consommation des produits animaux

La reconnexion entre élevage, transformation et consommation nécessite un changement de paradigme pour les recherches sur la qualité des produits animaux, afin de créer de la valeur en réponse aux attentes sociétales qui sont multiples ; ce qui concerne non seulement la qualité intrinsèque des produits (sanitaire, nutrition, saveur, aptitudes pour la transformation), mais aussi leur qualité extrinsèque (liées aux modes de production et de distribution) auxquelles les consommateurs sont de plus en plus sensibles.

Ce volet amène de nouvelles questions. La première concerne l'évaluation de la place des produits animaux au sein de régimes alimentaires durables c'est-à-dire nutritionnellement adéquats, socialement acceptables et moins négativement impactant sur l'environnement dans un contexte de transition alimentaire. De nombreuses études concluent à la nécessité de réduire, parfois drastiquement, la consommation de produits animaux, mais les conséquences restent mal renseignées notamment sur l'environnement et le développement économique et social des territoires selon les scénarios d'usage des terres ainsi libérées par l'élevage. Des questions nouvelles apparaissent aussi sur la construction de la qualité des produits animaux tout au long de la chaîne. Un domaine majeur de connaissance et d'innovations concerne

ici la compréhension et la maîtrise des microbiomes (et aussi des micronutriments et des polluants) tout au long de la chaîne alimentaire. Un autre domaine concerne l'étude des conséquences de l'adoption de systèmes de productions plus agroécologiques sur la qualité des produits et sa variabilité, les conséquences pour la transformation, les conditions d'adoption des innovations par l'ensemble des acteurs des filières de l'amont à l'aval et le développement d'outils d'authentification et de contrôle des conditions d'élevage.

## 4. Un cadre conceptuel pour développer les innovations

### ■ 4.1. Les leviers de l'agroécologie et de l'économie circulaire

La mise en œuvre de l'agroécologie s'appuie sur la recherche et le renforcement des synergies entre les composantes du système de production ainsi que sur la diversification des systèmes, l'organisation spatiotemporelle des cycles biologiques pour boucler les cycles de nutriments, réduire les émissions et l'usage des intrants (eau, énergie, engrais, biocides), améliorer la santé des écosystèmes, accroître la biodiversité, la production des services écosystémiques et la résilience des systèmes de production face aux aléas (climatiques, sanitaires, économiques). Il s'agit de maximiser le recours aux processus biologiques, leurs interactions et la biodiversité domestique à tous les niveaux d'organisation en substitution des intrants chimiques (INRA, 2012). L'économie circulaire explore quant à elle les possibilités de bouclage des cycles de matière et d'énergie dans une démarche souvent *trans*-sectorielle et *trans*-systèmes. Elle repose sur le recyclage des biomasses entre les différentes étapes de production en priorité pour réduire la consommation de ressources et les émissions vers l'environnement. L'agroécologie et l'économie circulaire sont complémentaires pour produire avec moins d'intrants (Dumont *et al.*, 2013 ; Thomas *et al.*, 2014), l'intensité du lien au sol déterminant le niveau d'articulation entre

les leviers de l'agroécologie et ceux de l'économie circulaire.

Ces démarches permettent de renouveler en profondeur les questions de recherche. Le développement de pratiques agroécologiques en élevage amène à considérer le temps long en privilégiant les capacités d'adaptation des animaux et des systèmes dans le temps, et non plus la production maximale à court terme ce qui était souvent l'objectif des recherches par le passé. Les pratiques agroécologiques nécessitent de modifier la relation au risque et de considérer la diversification des productions (potentielle économie de gamme) et des systèmes au sein des territoires comme un levier pour faire face à l'accroissement de la dépendance aux conditions du milieu et à la sensibilité aux aléas par rapport aux systèmes conventionnels dans lesquels il s'agissait de contrôler les fluctuations environnementales. Elles amènent aussi à piloter par des actions à différentes échelles (de l'animal à la mosaïque paysagère), le métabolisme des agroécosystèmes associant l'élevage au sein des territoires. Ceci recouvre notamment la gestion plus préventive et moins curative de la santé et du bien-être des troupeaux, le bouclage des cycles de nutriments et la gestion de la matière organique des sols, la recherche d'une plus grande autonomie alimentaire des troupeaux, la limitation des intrants. Elles amènent également à repenser la préservation, la caractérisation et l'utilisation de la biodiversité : l'utilisation et la gestion des ressources génétiques animales ; la valorisation de plantes présentant des caractères d'intérêt comme notamment des légumineuses (autonomie en protéines et azote, intérêts de métabolites secondaires pour la santé des troupeaux) ; la gestion spatiotemporelle de la diversité des ressources ; la gestion de la matière organique et de la biomasse de (micro)organismes du sol ; la préservation de la biodiversité végétale et des habitats par des pratiques d'élevage adaptées notamment afin de maintenir des services de régulation (pollinisation...) ou culturels et sociaux.

Le développement de l'économie circulaire permet pour sa part de réexaminer la capacité des animaux à recycler,

dans la chaîne alimentaire, les biomasses non directement comestibles par l'Homme et dont la ressource pourrait augmenter à l'avenir (diversification des rotations, ressources aquatiques, valorisation des résidus alimentaires, insectes produits par recyclage de résidus...). Il renouvelle les questions sur l'efficacité digestive et l'alimentation des troupeaux, la disponibilité des ressources, et pose la question de l'évaluation environnementale et sanitaire de ces nouvelles filières et de leur gouvernance. Il conduit aussi à s'interroger sur de nouvelles valorisations des coproduits de l'élevage avec, en premier lieu, les effluents par la production d'énergie ou l'extraction et la valorisation de nutriments (N et P) ou de molécules d'intérêt et les possibilités de transfert entre territoires et, en second lieu, la valorisation des carcasses, voire de lait et d'œufs grâce à de nouveaux développements technologiques pour la production de molécules bioactives et/ou d'ingrédients fonctionnels d'intérêt pour d'autres industries (pharmaceutiques notamment).

#### ■ 4.2. Le levier de l'innovation technologique

Les innovations technologiques dans les domaines des biotechnologies, du numérique et des procédés industriels peuvent et doivent contribuer aux approches agroécologiques et d'économie circulaire. Ceci recouvre *i)* les connaissances sur le génome et le phénotype à haut débit qui doivent permettre une sélection plus précise sur des caractères d'intérêt socioéconomique et de disposer d'animaux plus robustes, plus adaptables et efficaces et des produits animaux aux qualités améliorées (Phocas *et al.*, 2017) ; *ii)* la maîtrise du microbiome et de l'épigénome animal *via* la mise en œuvre d'une programmation précoce des individus (*in utero*, *in ovo*, pendant la période périnatale) pour pouvoir moduler l'expression du génome de manière ciblée et orienter les phénotypes ; et *iii)* la maîtrise et la gestion des communautés microbiennes pour améliorer la santé par des approches préventives, basées sur l'écologie microbienne. La prédiction des capacités d'adaptation et des performances des animaux nécessite le

développement de nouveaux biomarqueurs, source importante d'innovations technologiques.

Les nouvelles technologies du numérique (capteurs, robotique, internet des objets, « *block-chain* »...) fournissent des outils et des concepts innovants pour la gestion de l'élevage, et le phénotypage sur de grands effectifs pour une sélection génomique efficace. Le traitement en continu et automatisé d'une énorme quantité de données offre aussi de nouvelles possibilités pour la certification et une transparence accrue des relations entre entreprises et avec les consommateurs en ce qui concerne les modes de production. L'innovation dans les procédés technologiques doit permettre d'améliorer la valeur nutritionnelle des coproduits végétaux pour l'alimentation animale, les traitements des effluents et les coproduits issus des carcasses.

#### ■ 4.3. Le levier de l'innovation organisationnelle

La coopération entre les différentes parties prenantes concernées, l'évolution des politiques publiques et des marchés sont des éléments essentiels pour la transition de l'élevage qui nécessite de nouvelles perspectives partagées, de nouveaux partenariats, de nouvelles chaînes de valeur. Ces évolutions doivent aussi reposer sur une connaissance précise des différentes trajectoires d'évolution de consommation de produits animaux en France, en Europe et dans le monde et des motivations qui les sous-tendent pour mieux orienter la production.

Les principaux leviers d'action concernent la définition de dispositifs et instruments de régulation (motivations pour la production de services, taxation pour des dis-services, alignement des politiques publiques avec des objectifs de santé...), la recherche de nouvelles solidarités entre les acteurs du monde de l'élevage, de l'amont vers l'aval, et les autres acteurs des territoires pour développer de nouveaux systèmes bien acceptés socialement et réalistes d'un point de vue économique. Ils concernent aussi la gestion de la coexistence et de l'hybridation entre systèmes dominants

et systèmes alternatifs pour répondre à différentes demandes des consommateurs, l'innovation dans les collectifs de travail et la répartition de la valeur ajoutée pour une attractivité accrue des métiers et le maintien de l'emploi rural. Enfin les effets environnementaux, sociaux et économiques de l'élevage étant fortement imbriqués, le développement de scénarios prospectifs permettant une vision globale des performances (notion de bouquets de services/dis-services) de l'élevage afin de pourvoir les articuler, de pointer des synergies et des antagonismes et au final de gérer les compromis en rendant visibles les arbitrages sont nécessaires (Ryschawy *et al.*, 2017 ; Ryschawy *et al.*, 2019) et doivent aussi contribuer à programmer les recherches.

## 5. Priorités scientifiques et nouveaux fronts de science

Pour répondre aux enjeux de l'élevage, quatre priorités scientifiques ont été définies (tableau 1). Elles mettent en avant les ruptures thématiques et méthodologiques à envisager et les nouveaux fronts

de science à développer pour contribuer à inscrire l'élevage comme contributeur au développement de systèmes agri-alimentaires durables. On peut noter que bon nombre de travaux conduits dans les départements de sciences animales de l'INRA, trouvent naturellement leur place dans cette vision, notamment au sein de la priorité 3.

### ■ 5.1. Priorité 1 : Développer des élevages créateurs de valeurs et répondant aux attentes sociétales

Les divergences fortes entre les attentes sociétales et les déterminants de la rentabilité des élevages d'une part, et entre le soutien public à l'élevage et ses effets environnementaux et sociaux d'autre part, posent des questions de recherche nouvelles. Quatre domaines de recherche ont été identifiés.

#### a. Comprendre les enjeux sociétaux et économiques qui se nouent autour de l'élevage

La première question concerne l'analyse des conséquences d'un alignement des politiques publiques avec les objectifs de santé publique car

l'application des principes d'économie publique à l'élevage et aux produits animaux conduirait à des politiques très éloignées de celles qui sont actuellement en place telles que la taxation des émissions de GES (donc de la viande rouge et des engrais) plutôt que des aides publiques aux ruminants, le soutien aux prairies permanentes plutôt qu'aux terres arables, etc. qui peuvent avoir des effets majeurs sur la reconfiguration de l'élevage. La deuxième question concerne la place de l'élevage dans la chaîne de valeur, le maintien de l'emploi en élevage, l'attractivité des métiers dans les zones rurales et les modes de coopération et de contractualisation entre les différents acteurs concernés pouvant créer de la valeur et des carrières attrayantes et contribuer à la transition vers des modèles d'élevage innovants. La troisième question concerne les déterminants des évolutions structurelles des entreprises (exploitations, industries) et leurs conséquences sur les performances de l'élevage pour éclairer les possibilités d'évolution des systèmes, leur répartition territoriale, notamment en revisitant les questions d'économie de taille, de gamme et les effets

**Tableau 1.** Liste des priorités scientifiques, des enjeux de recherche associées et des thématiques des groupes de travail (GT) les plus impliqués.

Priorité scientifique	Enjeu des recherches	GT
1. Développer des élevages créateurs de valeurs et répondant aux attentes sociétales	Comprendre les enjeux qui se nouent autour de l'élevage et dans quelle mesure les différents modes d'élevage peuvent contribuer à rendre une diversité de services pour la société (économique, environnementaux, alimentaires, culturels, patrimoniaux) en fonction des territoires et de leur spécificité	1, 7, 8, 9
2. Utiliser l'aptitude des animaux à valoriser des biomasses diverses pour développer une agriculture agro-écologique bouclant les cycles de nutriments	Accroître l'efficacité d'utilisation des biomasses végétales, particulièrement celles non consommées par l'Homme, tout en limitant les pertes, en améliorant la qualité des sols et en réduisant les intrants et l'usage des ressources non renouvelables	5, 6
3. Améliorer les aptitudes des animaux et proposer des systèmes d'élevage durables	Disposer de systèmes d'élevage conçus autour du bien-être et de la santé des animaux, climato intelligents et réduisant au minimum (quasi suppression) l'usage des intrants médicamenteux, et disposer d'une diversité d'animaux plus efficaces et robustes, adaptés à des conditions d'élevage variées et pas forcément optimales, et produisant des produits adaptés à la demande	2, 3, 4, 5, 7
4. Faire entrer l'élevage dans l'ère du numérique	Étudier comment des évolutions (techniques, organisationnelles) permises par l'émergence du numérique et de la massification des données permettent de mieux répondre aux attentes des éleveurs, des consommateurs et des citoyens vis-à-vis des trois premières priorités	10

d'agglomération, l'analyse du rôle de la qualité des produits, de la traçabilité et comprendre l'influence des normes privées et publiques sur la capacité à conquérir de nouveaux marchés. En lien avec les priorités suivantes concernant l'amélioration génétique et la re-conception des systèmes d'élevage, il est nécessaire de progresser sur l'analyse des causalités de long terme. Il s'agit de quantifier dans quelle mesure les politiques, la PAC en particulier, ont orienté, et peuvent orienter dans le futur, les systèmes d'élevages au travers des conditions d'installations et du progrès technique induit par les prix et leurs anticipations par les différents acteurs des systèmes agri-alimentaires.

#### b. Évaluer les rôles de l'élevage et des produits de l'élevage au sein des systèmes agri-alimentaires

La disponibilité alimentaire comme condition nécessaire à la sécurité alimentaire globale et la place des produits animaux dans la diète est une question centrale. Les modèles d'équilibre globaux qui explorent par grandes régions différents scénarios démographiques et climatiques doivent être améliorés par une prise en compte plus explicite de l'élevage qui n'est approché que par des coefficients d'efficacité moyens et par une meilleure connaissance et utilisation des trajectoires de consommation de produits animaux dans les différentes parties du monde. Les modèles localisés de métabolisme territorial visent à évaluer ex-ante des scénarios d'évolution de l'agriculture en intégrant les effets des pratiques. Cette approche, trop peu développée, doit permettre la recherche d'optimum entre les différentes productions pour maximiser la valorisation des biomasses produites avec réduction des impacts locaux et globaux. Ceci concerne par exemple l'organisation repensée entre cultures et élevage qui permet de mieux répondre à ces objectifs que l'organisation par filières, la recherche de valeur ajoutée par passage d'un territoire en agriculture bio, la recherche d'une efficacité maximale en visant des marchés à l'export ou les apports de l'élevage pour contribuer à la diversification des cultures et réduire les

pesticides, la place de la gouvernance des territoires face à celle des filières qui domine aujourd'hui, etc. Ces études doivent prendre en compte la place respective des ruminants et des monogastriques car leurs performances environnementales sont contrastées – et ils peuvent être complémentaires ou en compétition selon les territoires et les objectifs –, ainsi que la diversité des territoires en distinguant *a minima* le Grand Ouest fourrager, le Centre spécialisé en céréaliculture, les zones de montagnes humides et les territoires de polyculture élevage.

#### c. Évaluer les systèmes d'élevage pour les faire progresser et alimenter le débat public

L'approche par les bouquets de services vise à décrire les performances économiques, sociales et environnementales de l'élevage, à comprendre leurs déterminants biologiques, techniques, culturels et économiques, à analyser les synergies et les antagonismes entre les performances et *in fine* à expliciter les choix. Elle permettra d'aborder des questions concernant l'évolution des compromis entre les services et dis-services, les relations entre services et résilience des systèmes, l'évaluation de l'élevage dans les approches circulaires territorialisées, l'évaluation des interactions entre élevage et biodiversité à différentes échelles et la question de la valorisation de services marchands et non marchands. Toutefois, cette notion, encore nouvelle, nécessite des apports méthodologiques concernant l'extension de la notion de services écosystémiques à des notions de dynamisme économique et de bien-être des populations ; la délimitation du système étudié et des services (diversité des bénéficiaires, réalité des processus, centres de décision économiques et politiques...) afin d'appréhender correctement les interactions entre éléments du système et celles du système avec son environnement et la construction d'indicateurs et de systèmes d'indicateurs. En complément, l'évaluation des systèmes par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV), largement utilisée, doit encore progresser pour prendre en compte les fortes interactions entre produits et activités lorsque

l'on veut l'appliquer à des systèmes, des territoires et à nos régimes alimentaires. Les progrès concernent la prise en compte des dynamiques temporelles et la spatialisation des effets, la mobilisation de modèles plus précis pour les phénomènes se déroulant sur un pas de temps long (stockage de C), le développement d'indicateurs pour prendre en compte les services (biodiversité, emplois, culturels...), la qualité nutritionnelle des produits et l'économie. Les approches par ACV « conséquentielle » incluant les effets indirects sur les filières connexes des changements de pratiques sont riches de perspectives mais encore insuffisamment développées.

#### d. Accroître et valoriser la diversité pour développer un élevage multiperformant

Dans une logique de développement de systèmes agro-écologiques la diversité devient un objet central de recherches. À l'échelle des systèmes, la prise en compte explicite de la diversité et de la diversification ouvre de nouveaux fronts de recherche. Ils concernent sa caractérisation et la mise en évidence de ses intérêts en regard des fonctions attendues, et la définition des conditions d'expression de cet intérêt en tant que source d'adaptabilité/de résilience, d'efficacité et de constance de la production. Ils concernent aussi les modalités de son pilotage en comprenant mieux l'organisation de l'action collective pour ce pilotage, les objectifs et outils de gouvernance, d'action publique pour appuyer et gérer cette diversité. La question de la réintroduction de l'élevage au sein de territoires où il a disparu est une question à fort enjeu. Aux échelles infra les questions concernent l'intérêt de la diversité animale pour mieux gérer les systèmes et notamment l'évolution des schémas de sélection animale pour répondre à la diversité de la demande, les complémentarités entre types d'animaux en regard de la diversité croissante des ressources. Elles concernent aussi les modalités d'une diversification amont des produits sachant que les verrous financiers, technologiques, logistiques, etc. semblent très importants et empêchent les opérateurs de réadapter leurs stratégies pour mieux répondre à l'attente.

## ■ 5.2. Priorité 2 : Utiliser l'aptitude des animaux à valoriser des biomasses variées pour une agriculture bouclant les cycles de nutriments

La question de l'alimentation des animaux et de la gestion des effluents sont des éléments clés *i)* pour la recherche d'une éco-efficience accrue des systèmes agri-alimentaires, *ii)* pour une moindre dépendance aux engrais minéraux et aux protéines importées, *iii)* pour le développement d'une alimentation locale et aujourd'hui souhaitée sans OGM et *iv)* contribuant à la transition énergétique. Les nouveaux fronts de science concernent trois domaines :

### a. Remobiliser dans la chaîne alimentaire des gisements de biomasse et de protéines non comestibles par l'Homme, grâce à l'élevage

L'élevage peut permettre de valoriser des biomasses produites par la diversification des rotations rendue nécessaire pour limiter l'usage des pesticides et de nouveaux gisements de coproduits peuvent aussi être identifiés (Halmemies-Beauchet-Filleau *et al.*, 2018). Ces nouvelles ressources alimentaires seront souvent très variables dans l'espace, le temps et en qualité ce qui pose des questions spécifiques. Leur utilisation raisonnée nécessite le développement de systèmes d'information basés sur des simulateurs permettant d'évaluer la disponibilité et les prix, en tenant compte des compétitions d'usage, des contextes locaux (agronomique, économique, moyens de transports, organisations entre acteurs...) et de la gestion de la sécurité sanitaire. Une deuxième question concerne l'efficacité d'utilisation par l'animal. Il s'agit notamment de comprendre l'origine des variations interindividuelles (comportement alimentaire, digestion, microbiote) qui seront exacerbées avec ces ressources souvent de moindre qualité, de prédire les performances des troupeaux en réponse aux variations de l'offre alimentaire et développer de procédés technologiques pour améliorer leur valeur nutritionnelle et sanitaire ou diversifier les utilisations comme par

exemple le fractionnement des légumineuses fourragères pour leur utilisation en alimentation des porcs. La troisième question concerne l'évaluation de l'intérêt agronomique et environnemental de la valorisation par l'animal de ces ressources plutôt qu'une utilisation par retour direct au sol ou après traitement et/ou valorisation énergétique (méthanisation, compostage). Enfin, la valorisation de protéines d'invertébrés (insectes mais aussi vers de terre) produits par recyclage de biomasses de déchets alimentaires humains ou d'effluents ou de protéines d'origine aquatique (algues) pose la question de l'efficacité globale du recyclage, de la valorisation par l'animal de ces protéines en substitution du soja, de la qualité nutritionnelle et sanitaire des produits animaux et de l'acceptabilité par la société de ces nouveaux modes d'alimentation des animaux. L'utilisation en tant que produits de biocontrôle pour la santé animale de certains composés des légumineuses ou des algues est un champ qui mérite d'être exploré.

### b. Gérer les effluents d'élevage pour boucler les cycles de nutriments et contribuer à la fertilité des sols

Les voies de progrès pour accroître l'efficacité de la valorisation agronomique des effluents et limiter les émissions vers l'eau et l'air concernent la prise en compte de manière intégrée de l'ensemble des maillons (de l'alimentation animale qui affecte la composition des effluents à l'épandage au champ), de l'ensemble des processus liés au cycles biogéochimiques du C, de l'N et du P, et de la connaissance des dynamiques de minéralisation des formes organiques de l'N avec leurs effets sur les composantes de la fertilité des sols selon les types d'effluents et les procédés technologiques appliqués (séparation de phase, compostage...). Si la maîtrise des émissions gazeuses (volatilisation d'ammoniac, émission de gaz à effet de serre) tout au long des filières de gestion des effluents d'élevage reste un enjeu fort, il importe aussi de mieux connaître l'impact des épandages sur la dissémination de contaminants (antibiotiques, pathogènes) et leur transfert dans la chaîne alimentaire. À l'échelle des territoires, des démarches participatives

doivent permettre de développer des dynamiques d'innovation pour reconquérir la qualité des eaux, substituer des engrais organiques aux minéraux, réaliser des transferts vers des territoires aux sols pauvres en matière organique. La diversification des débouchés des effluents est un autre enjeu. La méthanisation qui contribue au développement des énergies renouvelables génère des questions sur l'efficacité du procédé, les équilibres à trouver entre production de biogaz, qualité des digestats et évolution du stock de carbone des sols, et les effets sur le métabolisme territorial (évolution des cultures, interactions entre exploitations, compétitions éventuelles entre élevage et méthanisation pour l'accès aux ressources, flux accrus d'éléments). L'utilisation des effluents comme substrats pour l'extraction de molécules d'intérêt (acides organiques pour l'industrie chimique, composés ligno-cellulosiques pour la production de fibres, nutriments pour la production d'insectes, d'algues, de bio-engrais) sont des pistes à explorer.

### c. Réduire les émissions de méthane des ruminants

Plusieurs voies sont à explorer simultanément pour réduire les émissions de méthane des ruminants. Au plan global, la réduction des effectifs de ruminants, souvent évoquée pour réduire les émissions, peut avoir des contre-effets non analysés à ce jour. Les ruminants consomment de grandes quantités de biomasse sur la planète et la question du devenir de ces ressources fibreuses face à des scénarios de réduction de l'élevage doit être évaluée car leur récolte mécanique ou leur décomposition pourraient être une source majeure de GES comme d'ailleurs le retournement des prairies lié à la réduction du nombre de ruminants. L'étude de scénarios alternatifs permettant de réduire les effectifs bovins nationaux tout en maintenant les niveaux de production (engraissement d'animaux issus du troupeau laitier, baisse des effectifs allaitants et recherche de précocité) sont à explorer. Au niveau de l'animal, il faut comprendre les relations entre efficacité digestive et rejets de méthane, pour développer des programmes de sélection efficace car les deux performances apparaissent antagonistes, et

étudier les possibilités de modifications de l'écosystème microbien du rumen lors de son implantation dans les premiers stades de la vie. Au niveau de l'alimentation, l'utilisation d'additifs peut être efficace, mais il reste à préciser les conséquences sur la qualité des produits animaux (présence de résidus), la santé animale, l'acceptabilité par les consommateurs et les conditions de rentabilité de leur utilisation. L'utilisation de fourrages riches en composés secondaires (saponine, tannins) est une voie prometteuse à explorer.

**■ 5.3. Priorité 3 : Améliorer les aptitudes des animaux et proposer des systèmes et filières d'élevage durables**

Cette priorité, très vaste, recouvre le cœur des compétences des départements des sciences animales de l'INRA.

**a. Développer les capacités d'adaptation des animaux**

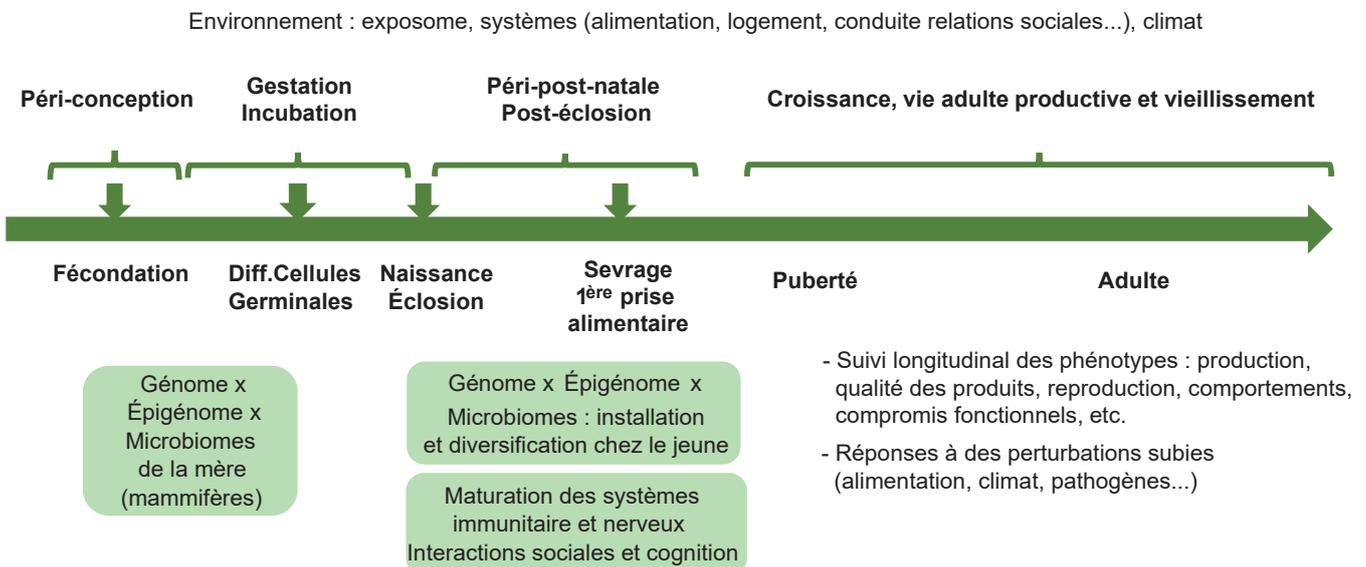
Le développement de systèmes d'élevages agroécologiques renouvelle les priorités scientifiques de la recherche sur les animaux. Il faut développer leurs capacités d'adaptation face à un environnement plus changeant, qu'elles soient de nature comportementale ou physiologique, répondre à la question de la qualité de vie et développer une gestion préventive plutôt que curative de la santé. La réponse à ces enjeux

nécessite de passer d'une vision statique de l'animal telle qu'elle a été développée jusqu'à maintenant à une vision dynamique prenant en compte de manière beaucoup plus intégrée que par le passé les différentes fenêtres temporelles au cours de la vie et entre générations ainsi que l'ensemble des performances (reproduction, production, robustesse, longévité, capacité d'adaptation à la chaleur, caractéristique des produits...) ce qui doit permettre l'étude des effets à long terme des événements se déroulant dans des phases précoces et de caractériser l'aptitude des animaux à faire des compromis et à s'adapter à des environnements variables au cours de leur vie. Cela implique de décloisonner les compétences sur les différentes périodes de la vie et les différentes fonctions étudiées, et de renforcer les collaborations entre biologistes, biostatisticiens et bio-informaticiens pour l'intégration de données hétérogènes et complexes.

Les principaux fronts de science concernent la compréhension de l'élaboration précoce des phénotypes (phase périconceptionnelle, vie embryo-larvaire/fœtale, période néonatale jusqu'au sevrage) (figure 3). L'holobionte est une échelle nouvelle à prendre en compte. Il s'agit d'analyser les interactions [Génome x Épigénome x Microbiome] et Environnement ce qui recouvre notamment la compréhension

des rôles multiacteurs des écosystèmes microbiens pour l'hôte et sa santé, la mise en évidence et la compréhension de la transmission non génétique de certains caractères dans la variabilité des phénotypes ; l'analyse des mécanismes physiologiques et comportementaux du développement des capacités sensorielles, cognitives et émotionnelles des animaux, et de leur état de conscience ; la compréhension du développement des tissus et organes. Au cours de la vie de l'animal il s'agit d'étudier ses capacités d'adaptation et notamment de savoir si et comment des animaux sélectionnés dans un environnement favorable s'adaptent à un milieu plus changeant ; d'être capable de prédire les conséquences de la sélection d'un caractère sur les autres fonctions de l'animal ; de caractériser les états mentaux des animaux et leur robustesse comportementale ; de comprendre les relations entre le bien-être animal, la santé et la conscience qu'un animal a de son état. Enfin un troisième champ concerne l'étude des relations entre communautés microbiennes et santé des animaux et des Hommes. Il s'agit de comprendre les fonctions des communautés microbiennes (liens entre les différents microbiomes, assemblages microbiens les plus résilients/bénéfiques aux différentes étapes de la vie), d'analyser les modes de transmission des agents pathogènes et d'évaluer les risques de transmission au regard des

**Figure 3. Élaboration précoce et étude des phénotypes : couplage santé, bien être, reproduction, production, longévité, adaptation au chaud, réduction des émissions de méthane, qualité des produits.**



pratiques, de développer des méthodes de pilotage des écosystèmes microbiens au bénéfice de la santé et du bien-être. L'ensemble de ces recherches doit dépasser le seul cadre de la compréhension des phénomènes pour développer des méthodes d'intervention permettant de les maîtriser (levier des innovations technologiques dans la [figure 2](#)) et de prédire les effets sur l'animal.

#### b. Développer des systèmes d'élevage climato-intelligents conçus pour le bien-être et de la santé des animaux et des Hommes

Les recherches doivent concerner différents niveaux d'échelle en interaction et intégrer le changement climatique qui va challenger les animaux et les systèmes fourragers. À l'échelle de l'animal il s'agit de mettre en place un environnement adapté au fonctionnement écologique et évolutif des espèces et de favoriser les processus naturels de régulation du métabolisme. Il s'agit aussi de favoriser les processus de régulation des agents pathogènes en étudiant les interactions antagonistes avec des espèces pathogènes, l'immunité naturelle et induite des animaux, les communautés d'espèces animales limitant la diffusion des agents pathogènes, l'automédication, les apprentissages des jeunes. À l'échelle des troupeaux et de l'exploitation, il faut concevoir des systèmes multiperformants en s'appuyant sur une meilleure prise en compte, voire l'arrêt, des pratiques traumatisantes (castration, caudectomie, débecquage, dégriffage, écornage...), la recherche de l'expression naturelle des comportements, la nécessité de limiter les périodes à risque pour la santé, la pression infectieuse et les pratiques réduisant les émissions. Un point particulier concerne l'analyse des synergies et antagonismes entre un bien-être animal amélioré et les émissions de GES et des différentes formes d'azote réactif et de phosphore. À l'échelle des filières et territoires, il s'agit de développer des systèmes de surveillance de nouvelle génération pour la circulation/transmission des agents pathogènes, de réfléchir à de nouvelles organisations au sein des filières/territoires pour encourager la réduction des usages d'antibiotiques et plus généralement d'engager des démarches collectives vertueuses.

#### c. Améliorer la qualité des produits animaux et innover dans la valorisation des coproduits animaux

Au-delà des travaux sur l'élaboration de la qualité des produits animaux, de nouveaux fronts de science sont à considérer. Ils concernent le développement d'outils prédictifs peu ou pas invasifs de la qualité intrinsèque (sanitaire, nutritionnelle, sensorielle, technologique) afin d'évaluer sa variabilité qui peut être augmentée dans le cas de pratiques d'élevage plus agro-écologiques et plus diversifiées et la gérer par exemple en orientant les produits vers différents segments de marchés, notamment dans le cas des filières viande. Un deuxième front concerne la découverte, à partir de produits animaux, de biomolécules pouvant se substituer avantageusement à certaines molécules chimiques de synthèse utilisées en santé publique. Les recherches de peptides à activité biologique ont démarré sur le lait (par exemple les complexes immuno-allergènes) et les œufs, et l'identification de telles molécules dans les viandes pourrait être un débouché pour certains bas morceaux non commercialisés ou à faible valeur marchande ou en fin de date limite de consommation. Un troisième front concerne l'étude de l'origine du microbiote des aliments afin d'en déduire les pratiques d'élevage qui permettraient d'assurer la qualité sanitaire des produits et, dans le cas des produits laitiers au lait cru, une diversité microbienne élevée favorable au développement des qualités gustatives des fromages. Enfin, un dernier front de science concerne l'étude exhaustive des fonctionnalités et bioactivités ainsi que des procédés d'extraction des protéines fibreuses des carcasses (collagène, élastine, kératine, cf. Ferraro *et al.*, 2016) ou des produits animaux eux-mêmes (lait et œuf) pour des applications avancées dans le domaine de la biomédecine, des biomatériaux et de l'agro-alimentaire. La bioactivité des résidus peptidiques issus de ces protéines ouvre aussi à la possibilité de remplacer des composants synthétiques largement utilisés par l'industrie alimentaire d'aujourd'hui ainsi que la récupération du phosphore pour limiter notre dépendance en ce type d'intrants.

### ■ 5.4. Priorité 4 : Faire entre l'élevage dans l'ère du numérique

Les perspectives offertes par les technologies du numérique sont extrêmement attractives dans de très nombreux domaines : gestion du bien-être (objectivation de l'état de l'animal dans le cadre d'une obligation de résultat), de la santé (meilleure détection des maladies à la fois plus précoce et plus exhaustive, meilleure caractérisation des symptômes), de l'alimentation (ajustement en fonction des réponses animales à l'échelle du groupe ou de l'individu), de la reproduction (des informations en continu sur les comportements et certains paramètres biologiques des individus). Enfin, la sélection génétique a beaucoup à gagner de ces informations à haut débit, le génotypage étant aujourd'hui bien moins limitant que le phénotypage à grande échelle des caractères d'intérêt zootechnique.

#### a. Utiliser les technologies du numérique en élevage

Il faut déterminer en quoi ces technologies permettent de mieux répondre aux nouveaux enjeux de l'élevage. L'enjeu des recherches réside bien plus dans l'étude de la plus-value permise par l'information que dans les développements des techniques en elles-mêmes, ce qui n'interdit pas de les qualifier pour mieux en cerner les usages et de participer à leur développement en partenariat. Les questions concernent ici quatre points. En premier lieu, il s'agit de déterminer les gains rendus possibles par la gestion de la diversité individuelle en élevage à partir des informations disponibles en dynamique et en combinant la connaissance de la diversité génétique (possibilités du génotypage) et la diversité phénotypique. Il devient en effet possible aujourd'hui de passer d'une gestion basée sur la production et les besoins associés à une gestion en dynamique sur des critères beaucoup plus variés et des actions ciblées. En deuxième lieu, la recherche doit préciser comment il est possible de valoriser au mieux toute la masse d'informations qui va débarquer dans les élevages demain. La structuration des systèmes d'information est décisive et doit permettre de restituer

à l'éleveur les données de façon claire pour les décisions, voire de déléguer l'application de celles-ci à des robots. Il faut analyser les conséquences sur le métier d'éleveur de ces technologies qui suppriment des tâches d'astreinte mais en créent de nouvelles (entretien/surveillance des équipements), qui peuvent être source de stress (alarmes trop nombreuses) et conduire à un moindre investissement dans les savoirs faire. Le déploiement de ces nouvelles technologies va également modifier l'organisation des acteurs du conseil et de la sélection et permettre de développer la traçabilité des modes de production pour le consommateur. Enfin, développer des outils permettant d'évaluer le retour sur investissement de ces technologies est une véritable question de recherche.

#### b. Utiliser les technologies du numérique pour acquérir de la connaissance

Pour la recherche, ces outils sont une formidable opportunité de vision large « macroscopique » de systèmes biologiques en complément de la vision « microscopique » permise par les révolutions technologiques des « omics ». La possibilité d'intégrer les données issues des capteurs utilisés dans les élevages commerciaux permet de changer de dimension dans nos objets d'étude et d'observer de grands effectifs dans des environnements et avec des conduites très différentes pour un phénotypage à grande échelle. Dans ce contexte, l'INRA n'est plus le principal fournisseur de données, mais il a un rôle important pour relier ces informations à haut débit avec des données difficiles à acquérir en élevage mais accessibles par l'expérimentation (émissions gazeuses, aptitudes digestives...). Ce travail est indispensable pour interpréter et utiliser ces données en élevage, mais les liens entre ces données n'étant pas nécessairement mécanistes, il faudra associer des techniques de fouilles de données et d'apprentissage automatique pour réaliser des sauts technologiques et faire avancer les fronts de science. Ces nouvelles technologies doivent aussi nous permettre de développer des biomarqueurs peu ou pas invasifs et des systèmes d'aide à la décision.

## Conclusion

Cette réflexion scientifique prospective a permis de développer une vision pour le positionnement de l'élevage au sein de systèmes agri-alimentaires circulaires et durables et de fournir un cadre conceptuel pour le développement futur des recherches et des innovations. Repositionner l'élevage au cœur des systèmes agri-alimentaires, ouvre de nouvelles perspectives pour améliorer simultanément les différentes dimensions de l'élevage. Cette approche permet aussi de positionner l'élevage non plus uniquement comme un élément aux impacts négatifs qu'il faut réduire, mais aussi comme une ressource pour trouver des solutions innovantes améliorant la durabilité des systèmes agri-alimentaires. Les évolutions à réaliser et les progrès à accomplir nécessitent une recherche ambitieuse qui ne peut pas être réalisée dans la seule continuité des recherches actuelles. Des ruptures sont à réaliser tant au niveau des thématiques de recherche que des méthodes d'approche. Il est notamment indispensable de renforcer les approches interdisciplinaires, non seulement entre biologistes du domaine animal, mais aussi avec les sciences du végétal, les sciences sociales et économiques et les sciences des données. Parmi les virages à négocier, trois sont d'une importance toute particulière :

Le premier concerne, le développement d'une vision dynamique et intégrée de l'animal et des systèmes d'élevage en intégrant les différents niveaux d'approche et les différentes échelles temporelles et spatiales. Cet enjeu va nécessiter de développer des approches analytiques de long terme permettant des suivis longitudinaux et intergénérationnels d'animaux placés dans des conditions contrôlées et de quitter l'approche animal/lot moyen pour s'intéresser aux trajectoires d'évolution. Au final il faut disposer de modèles animaux construits par un vécu différent alors que jusqu'à présent nous disposions essentiellement de modèles génétiques reposant sur des lignées expérimentales divergentes. Cet enjeu doit aussi s'accompagner du

développement de nouvelles méthodes d'investigation pour un suivi non invasif des animaux et de l'élargissement des capacités de phénotypage ainsi que du développement de méthodes alternatives à l'expérimentation animale permettant d'approfondir les processus physiologiques en reproduisant *in vitro* la micro-anatomie d'un organe (organoides) et d'analyser les interactions entre organes (Organ-on-chips). À l'échelle des systèmes d'élevage, il est indispensable de renouveler les compétences de zootechniciens ayant une vision systémique pour conduire des travaux souvent à l'interface entre disciplines et de conception innovante de systèmes ainsi que de renforcer celles en sciences humaines et sociales liées à l'élevage qui apparaissent trop modestes face aux enjeux des controverses liées aux questions du bien-être et santé des animaux et des Hommes, de l'acceptabilité de substituts à la viande et plus généralement de l'éthique en élevage.

Le deuxième concerne l'intégration de l'élevage dans des problématiques plus globales relatives au (re) couplage entre élevage et productions végétales. Une clé d'entrée très transformante pour l'agriculture serait de développer des recherches pour réduire notre dépendance à l'azote de synthèse et aux importations de protéines pour l'alimentation animale et produire une alimentation saine et nutritionnellement adéquate. Cette thématique converge avec l'objectif de réduction des émissions de GES, notamment de N<sub>2</sub>O qui est le principal GES de l'agriculture en Europe, avec la réduction des produits phytosanitaires *via* la diversification des rotations, l'alimentation animale offrant de degrés de liberté pour réfléchir à cette diversification, et l'introduction de légumineuses dans un objectif de réduction de l'usage des engrais de synthèse. Les fronts de science concernent la modélisation de scénarios prospectifs, l'établissement de rotations et assolements plus vertueux, l'analyse de la complémentarité ou compétition entre types d'élevage pour titrer au mieux partie des biomasses, la gestion des effluents, la génétique végétale et animale avec de nouveaux objectifs de sélection, les

technologies de procédés pour le traitement des aliments pour l'Homme et coproduits pour les animaux, le développement et la gouvernance de nouvelles chaînes de valeur à l'échelle des territoires.

Le troisième est lié au développement des « *data sciences* ». De nombreux travaux font appel à l'utilisation d'approches d'analyse de données collectées dans des conditions très variées pour couvrir une gamme de situations environnementales, tant spatiales que temporelles, aussi large que possible à la fois au niveau des

animaux (ou à des échelles infra) et au niveau des systèmes d'élevage, des filières et des territoires. Les questions soulevées concernent la fréquence d'acquisition, la gestion d'un afflux massif de données souvent hétérogènes et leur utilisation. Ce dernier point soulève des questions de nature scientifique sur la meilleure façon de les utiliser à des fins de compréhension des phénomènes étudiés, de nature méthodologique pour analyser la complexité des données collectées et de nature technique renvoyant aux capacités de calcul, à l'algorithmique et aux logiciels. Des complémentarités

sont à trouver entre des approches en intelligence artificielle (« *data driven* ») et les modèles plus mécanistes simulant les processus biologiques. Même si quelques recrutements de « *data scientists* » peuvent s'envisager dans un domaine où la technologie évolue très vite, c'est surtout de chercheurs ayant une double compétence « élevage/data » dont nous avons besoin pour développer des collaborations, avec l'INRIA en particulier, et capitaliser sur l'opportunité de l'Institut Convergences Agriculture Numérique #Digitag, seul Institut Convergences dédié à l'agriculture.

## Références

- de Boer I.J.M., van Ittersum M.K., 2018. Circularity in agricultural production. Wageningen, Netherlands, Wageningen University & Research. [https://www.wur.nl/upload\\_mm/7/5/5/14119893-7258-45e6-b4d0-e514a8b6316a\\_Circularity-in-agricultural-production-20122018.pdf](https://www.wur.nl/upload_mm/7/5/5/14119893-7258-45e6-b4d0-e514a8b6316a_Circularity-in-agricultural-production-20122018.pdf)
- Bouvard V., Loomis D., Guyton K.Z., Grosse Y., Ghissassi F.E., Benbrahim-Tallaa L., Guha N., Mattock H., Straif K., 2015. International agency for research on cancer monograph working group. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *Lancet Oncology*, 16, 1599-1600.
- Delanoue E., Roguet C., 2015. Acceptabilité sociale de l'élevage en France : recensement et analyse des principales controverses à partir des regards croisés de différents acteurs. *INRA Prod. Anim.*, 28, 39-50.
- Dronne Y., 2018. Les matières premières agricoles pour l'alimentation humaine et animale : l'UE et la France. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim, 31, 181-200
- Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Thomas M., Tichit M., 2013. Prospects for agro-ecology and industrial ecology for animal production in the 21<sup>st</sup> century. *Animal*, 7, 1028-1043.
- Dumont B., Dupraz P., Aubin J., Benoit M., Bouamra-Mechemache Z., Chatellier V., Delaby L., Delfosse C., Dourmad J.Y., Duru M., Frappier L., Friant-Perrot M., Gaigné C., Girard A., Guichet J.L., Havlik P., Hostiou N., Huguenin-Elie O., Klumpp K., Langlais A., Lemauiel-Lavenant S., Le Perchec S., Lepiller O., Méda B., Ryschawy J., Sabatier R., Veissier I., Verrier E., Vollet D., Savini I., Hercule J., Donnars C., 2016. Rôles, impacts et services issus des élevages en Europe. Synthèse de l'expertise scientifique collective, INRA, 133p.
- FAO, 2018. World Livestock: transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. Rome. 222p. Licence CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Ferraro V., Anton M., Santé-Lhoutellier V., 2016. The "sisters"  $\alpha$ -helices of collagen, elastin and keratin recovered from animal by-products: functionality, bioactivity and trends of application. *Trends Food Sci. Technol.*, 51, 65-75.
- Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'Connell C., Ray D.K., West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockstrom J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D. and Zaks D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337-342.
- Fraser D., 2016. What do we mean by "One Welfare". In 4<sup>e</sup> Conf. Mondiale de l'OIE sur le bien-être animal. Guadalajara, Mexique.
- Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Toulmin C., 2010. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Halmemies-Beauchet-Filleau A., Rinne M., Lamminen M., Mapato C., Ampapon T., Wanapat M., Vanhatalo A., 2018. Alternative and novel feeds for ruminants: nutritive value, product quality and environmental aspects. *Animal*, 12, S2, s295-s309.
- Heller M.C., Keoleia G.A., Willett W.C., 2013. Toward a life cycle-based, diet-level framework for food environmental impact and nutritional quality assessment: a critical review. *Environ. Sci. Technol.*, 47, 12632-12647.
- Hénin S.C., 1980. Activités agricoles et qualité des eaux. Rapport du groupe de travail. Paris, France, Ministère de l'agriculture ; Ministère de l'environnement.
- HLPE, 2016. Sustainable agricultural development for food security and nutrition: what roles for livestock? A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/a-i5795e.pdf>
- HLPE, 2019. Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. Rome, Italy.
- Hocquette J.F., Mainsant P., Daudin J.D., Cassar-Malek I., Rémond D., Doreau M., Sans P., Bauchart D., Agabriel J., Verbeke W., Picard B., 2013. La viande du futur sera-t-elle produite in vitro ? *INRA Prod. Anim.*, 26, 363-374.
- INRA, 2012. Rapport du chantier Agro-écologie, 107pp.
- Laise S., Baumont R., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Veyssier P., Rémond D., Peyraud J.L., 2018. L'efficacité nette de conversion des aliments par les animaux d'élevage : une nouvelle approche pour évaluer la contribution de l'élevage à l'alimentation humaine. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 269-288.
- Mottet A., de Haan C., Falcucci A., Tempio G., Opio C., Gerber P., 2017. Livestock: on our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Sec.*, 14: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>
- Meier T., Christen O., 2012. Gender as a factor in an environmental assessment of the consumption of animal and plant-based foods in Germany. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 17, 550-564.
- Nozières-Petit M.O., Baritoux V., Couzy C., Derville M., Perrot C., Sans P., You G., 2018. Transformations des filières françaises de produits carnés et laitiers : la place des éleveurs en question. *INRA Prod. Anim.*, 31, 69-82.
- Obsoco, 2016. Observatoire du rapport des français à la qualité dans l'alimentaire. La création de valeur par le haut : saisir les opportunités des attentes des consommateurs en matière de qualité. <http://www.obsoco.com/wp-content/uploads/2016/04/Presentation-de-lobservatoire-de-la-qualite-alimentaire-pour-le-SITE.pdf>
- O'Neill J., 2016. Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations. Report for the UK government, 84p.

Peyraud J.L., Cellier P., Donnars C., Vertes F., 2014. Réduire les pertes d'azote dans l'élevage. Expertise scientifique collective. Éditions Quae Collection Matière à débattre et décider. 168p (Expertise Scientifique collective).

Phocas F., Belloc C., Bidanel J., Delaby L., Dourmad J.Y., Dumont B., Ezanno P., Fortun-Lamothe L., Foucras G., Frappat B., Gonzalez-Garcia E., Hazard D., Larzul C., Lubac S., Mignon-Grasteau S., Moreno C.R., Tixier-Boichard M., Brochard M., 2017., Quels programmes d'amélioration génétique des animaux pour des systèmes d'élevage agro-écologiques. INRA Prod. Anim., 30, 31-46.

Poore J., Nemecek T., 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers [Science](#), 360, 987-992.

Ryschawy J., Disenhaus C., Bertrand S., Allaire G., Aznar O., Plantureux S., Josien E., Guinot C., Lasseur

J., Perrot C., Tchakerian E., 2017. Assessing multiple goods and services derived from livestock farming on a nation-wide gradient. *Animal*, 11, 1861-1872.

Ryschawy J., Dumont B., Therond O., Donnars C., Hendrickson J., Benoit M., Duru M., 2019. Review: An integrated graphical tool for analysing impacts and services provided by livestock farming. *Animal*, 1-13. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000351>

SENAT, 2019. Rapport coordonné par M. Duplomb. Rapport d'information du Sénat sur la place de l'agriculture française sur les marchés mondiaux, rapport n° 528, 32p.

Thomas M., Fortun-Lamothe L., Jouvin M., Tichit M., Gonzales-Garcia E., Dourmad J.Y., Dumont B., 2014. Agro-écologie et écologie industrielle : deux alternatives complémentaires pour les systèmes d'élevage de demain. In : Numéro spécial,

Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage ? Ingrand S., Baumont R. (Eds). INRA Prod. Anim., 27, 89-100.

Turolla S., Bouamra-Mechemache Z., Chatelier V., Cheptea A., Dakpo H., Desjeux Y., Duvaleix-Tréguer S., Caigné C., Huchet M., Jeanneaux Ph., Latouche K., Latruffe L., 2018. Compétitivité des filières animales française (projet COMPANII). Rapport pour le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. 67p.

Westhoek H., Lesschen J.P., Rood T., Wagner S., De Marco A., Murphy-Bokern D., Leip A., van Grinsven H., Sutton M.A., Oenema O., 2014. Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environ. Change*, 26, 196-205.

Wilkinson J.M., 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal*, 5, 1014-1022.

## Résumé

L'ambition de l'Atelier de Réflexion Prospective sur l'élevage a été de repenser la place, les rôles de l'élevage et en quoi il doit se transformer pour contribuer pleinement au développement de systèmes agri-alimentaires plus durables ainsi que d'identifier des thématiques de recherches interdisciplinaires permettant d'explorer des fronts de science ou méthodologiques porteurs d'avenir pour lever les verrous de connaissances. La réflexion a été animée par un groupe de 15 chercheurs et en a mobilisé une centaine. À partir d'une analyse du contexte et des drivers d'évolution des systèmes nous proposons un nouveau cadre conceptuel et des voies de progrès pour penser l'élevage de demain. L'élevage doit s'inscrire dans le cadre de systèmes agri-alimentaires circulaires dans lesquels il doit contribuer, au-delà d'une efficacité accrue des moyens de production, à la préservation de la qualité des ressources et à la production d'une alimentation à un prix abordable. Il faut repenser les systèmes pour qu'ils soient climato-intelligents et répondent aux enjeux de santé et du bien-être des animaux et des Hommes ; repenser les liens entre élevage, production végétale et territoire pour maximiser les recyclages et repenser les liens entre élevage, transformation et consommation des produits de l'élevage. Les innovations doivent être basées sur les principes de l'agroécologie complétés par ceux de l'économie circulaire et par la mobilisation des leviers des (bio)technologies et de l'innovation organisationnelle. Le texte décrit quatre grandes priorités scientifiques avec leurs enjeux de recherche et produit des recommandations pour un plan d'action.

## Abstract

### **Science for tomorrow's livestock farming: A forward thinking conducted at INRA**

*The ambition of the foresight on livestock farming was to rethink the place, the roles of livestock and how it should be transformed to fully contribute to the development of more sustainable agri-food systems. It was also to identify cross-disciplinary research themes that explore promising fronts of science or methodologies to solve knowledge locks. The foresight was managed by a group of 15 researchers and mobilized a hundred researchers. Based on an analysis of the context and the drivers for the evolution of the systems, we propose a new conceptual framework to think about innovations. Livestock farming must be part of circular agri-food systems in which it must contribute, beyond an increased efficiency of production factors, to the preservation of the quality of the resources and to the production of a food at an affordable price. Systems need to be rethought to be climate-smart and to respond to the health and welfare challenges of animals and people, rethink the linkages between livestock, crop production and territories to maximize recycling and rethink livestock linkages, processing and consumption of livestock products. Innovations should be based on the principles of agro-ecology supplemented by those of the circular economy and mobilizing levers of (bio) technologies and organizational innovation. The text describes 4 major scientific priorities with their research issues and produces recommendations for an action plan.*

PEYRAUD J.-L., AUBIN J., BARBIER M., BAUMONT R., BERRI C., BIDANEL J.-P., CITTI C., COTINOT C., DUCROT C., DUPRAZO P., FAVERDIN P., FRIGGENS N., HOUOT S., NOZIÈRES-PETIT M.-O., ROGEL-GAILLARD C., SANTÉ-LHOUTELLIER V., 2019. Quelle science pour les élevages de demain ? Une réflexion prospective conduite à l'INRA. In : Numéro spécial, De grands défis et des solutions pour l'élevage. Baumont R. (Éd). INRA Prod. Anim., 32, 323-338.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2591>

## Major challenges and solutions for livestock farming

Special issue "Major challenges and solutions for livestock farming": Foreword.	P. MAUGUIN	85
The journal "INRA Productions Animales" in the scientific production in the animal sciences and husbandry.	R. BAUMONT, A. GIRARD	87
Livestock, land use and food security in 2050: Insights from the Agrimonde- Terra foresight.	C. LE MOUËL, O. MORA	95
Internationalization of markets in animal production.	V. CHATELLIER	111
The evolution of consumption of animal products in France: multiple challenges.	F. CAILLAVET, A. FADHUILE, V. MICHÈLE	131
What role for animal products in tomorrow's human diet?	D. RÉMOND	147
Livestock intensification in rural areas and the provision of socio-environmental and cultural services.	J.P. DOMINGUES <i>et al.</i>	159
The economic performance of European livestock farming: From the "cost competitiveness" to the "non-cost competitiveness".	V. CHATELLIER, P. DUPRAZ	171
Livestock and territory: which interactions and what questions?	J. LASSEUR <i>et al.</i>	189
Animal production in a circular bioeconomy.	J.-Y. DOURMAD, T. GUILBAUD, M. TICHIT, T. BONAUDO	205
Evolution of animal status and point of views on animal farming in French society: what challenges for agricultural research?	A. FOSTIER	221
What performance for tomorrow's animals? Breeding goals and selection methods.	P. LE ROY, A. DUCOS, F. PHOCAS	233
Role of the early environment in phenotypic variability and adaptation of animals to their environment.	F. PITEL <i>et al.</i>	247
Managing animal diversity in livestock farming systems: which diversity? Which forms of management practices? For which benefits?	M.-A. MAGNE <i>et al.</i>	263
Precision Livestock Farming and animal welfare: is the numerical revolution of agriculture able to take into account animals' and farmers' needs?	I. VEISSIER <i>et al.</i>	281
Evolution of antimicrobial usages in dairy and beef cattle industries: state of progress and prospects.	V. DAVID <i>et al.</i>	291
Integrate scale changes to improve the efficiency of livestock production (systems?) and reduce emissions.	P. FAVERDIN, J. VAN MILGEN	305
Science for tomorrow's livestock farming: A forward thinking conducted at INRA.	J.-L. PEYRAUD <i>et al.</i>	323

## DANS CE NUMÉRO

- 85** Numéro spécial « De grands défis et des solutions pour l'élevage » : Avant-propos.  
P. Mauguin
- 87** La revue INRA Productions Animales dans la production scientifique en élevage et sciences animales.  
R. Baumont, A. Girard
- 95** Productions animales, usage des terres et sécurité alimentaire en 2050 : l'éclairage de la prospective  
Agrimonde-Terra.  
C. Le Mouél, O. Mora
- 111** L'internationalisation des marchés en productions animales.  
V. Chatellier
- 131** L'évolution de la consommation de produits animaux en France : de multiples enjeux.  
F. Caillavet, A. Fadhuile, V. Michèle
- 147** Quelle place pour les produits animaux dans l'alimentation de demain ?  
D. Rémond
- 159** Les effets du processus d'intensification de l'élevage dans les territoires.  
J.P. Domingues, T. Bonaudo, B. Gabrielle, C. Perrot, Y. Trégaro, M. Tichit
- 171** Les performances économiques de l'élevage européen : de la « compétitivité coût » à la « compétitivité hors coût ».  
V. Chatellier, P. Dupraz
- 189** Élevage et territoires : quelles interactions et quelles questions ?  
J. Lasseur, T. Bonaudo, J.-P. Choisis, M. Houdart, M. Napoléone, M. Tichit, B. Dedieu
- 205** Les productions animales dans la bioéconomie.  
J.-Y. Dourmad, T. Guilbaud, M. Tichit, T. Bonaudo
- 221** Évolution de la place de l'animal et des points de vue sur son élevage dans la société française : quels enjeux pour la recherche agronomique ?  
A. Fostier
- 233** Quelles performances pour les animaux de demain ? Objectifs et méthodes de sélection.  
P. Le Roy, A. Ducos, F. Phocas
- 247** Rôle de l'environnement précoce dans la variabilité des phénotypes et l'adaptation des animaux d'élevage à leur milieu.  
F. Pitel, F. Calenge, N. Aigueperse, J. Estellé-Fabrellas, V. Coustham, L. Calandrea, M. Morisson, P. Chavatte-Palmer, C. Ginane
- 263** Gérer la diversité animale dans les systèmes d'élevage : laquelle, comment et pour quels bénéfices ?  
M.-A. Magne, M.-O. Nozières-Petit, S. Cournut, É. Ollion, L. PUILLET, D. Renaudeau, L. Fortun-Lamothe
- 281** Élevage de précision et bien-être en élevage : la révolution numérique de l'agriculture permettra-t-elle de prendre en compte les besoins des animaux et des éleveurs ?  
I. Veissier, F. Kling-Eveillard, M.-M. Mialon, M. Silberberg, A. De Boyer des Roches, C. Terlouw, D. Ledoux, B. Meunier, N. Hostiou
- 291** Évolution de l'usage des antibiotiques en filières bovines : état d'avancement et perspectives.  
V. David, F. Beaugrand, É. Gay, J. Bastien, C. Ducrot
- 305** Intégrer les changements d'échelle pour améliorer l'efficacité des productions animales et réduire les rejets.  
P. Faverdin, J. Van Milgen
- 323** Quelle science pour les élevages de demain ? Une réflexion prospective conduite à l'INRA.  
J.-L. Peyraud, J. Aubin, M. Barbier, R. Baumont, C. Berri, J.-P. Bidanel, C. Citti, C. Cotinot, C. Ducrot, P. Dupraz, P. Faverdin, N. Friggens, S. Houot, M.-O. Nozières-Petit, C. Rogel-Gaillard, V. Santé-Lhoutellier

**30 €**

ISBN : 978-2-7380-1433-7



9 782738 014337