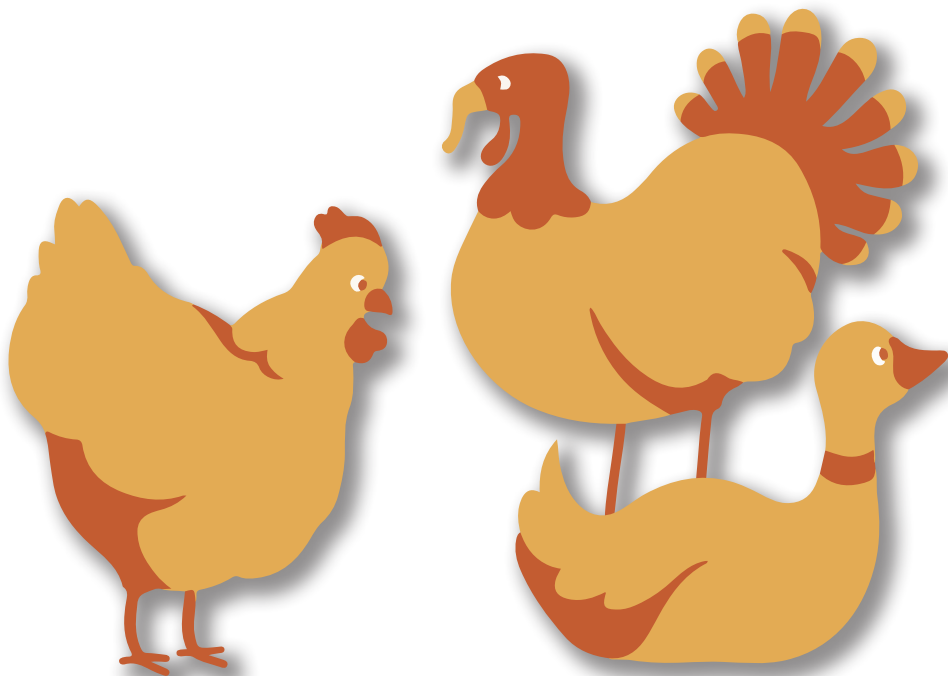


12^e Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras



5 & 6 avril 2017

TOURS - Centre des congrès Vinci



WVPA



RAISING LIFE



NOTHING IS MORE PRECIOUS THAN LIFE. THAT IS THE PHILOSOPHY DRIVING PHILEO.

With global population increasing, the world faces a growing demand for sustainable food.

Phileo Lesaffre Animal Care works at the crossroads of nutrition and health. We are committed to delivering poultry health and performance solutions that contribute to food safety and the responsible use of antibiotics.

In every country, our progress is led by the most advanced science as well as practical on-farm experience.

phileo-lesaffre.com



ORVIA GOURMAUD SÉLECTION

5, La Seigneurtière – Saint-André-Treize-Voies

85260 MONTRÉVERD – FRANCE

Tél : +33 (0)2 40 02 02 00 // Fax : +33 (0)2 40 02 02 07

E-mail : contact@orvia.fr

WWW.ORVIA.FR

MASTERING A WHOLE PROCESS

La maîtrise de tout un process

GENETIC SELECTION / Sélection Génétique

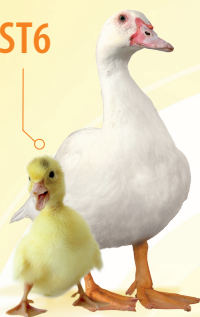
INTEGRAL INDUSTRIAL PROCESS / Processus Industriel Complet

ENVIRONMENT & ANIMAL WELFARE / Environnement & BEA

RISK MANAGEMENT / Management des Risques

CONSULTANCY & SERVICES / Conseils & Services

ST6



MUSCOVY DUCK

Canard de Barbarie

ST5



PEKIN DUCK

Canard Pékin

STIMUL



MULE DUCK

Canard Mulard

SI



WHITE & GREY GEESSE

Oie blanche & grise



Les 12^{èmes} Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras ont été organisées avec le soutien financier des sociétés et organismes suivants :



SYNTHESES

ANALYSE RETROSPECTIVE DE L'EVOLUTION DU MARCHÉ MONDIAL DES VIANDES DE VOLAILLES ET DYNAMIQUES EMERGENTES

Cadudal François¹

¹ITAVI - 7, rue du Faubourg Poissonnière - 75009 PARIS
francois.cadudal@itavi.asso.fr

RÉSUMÉ

Au cours de la période 1960-2015, la production mondiale de viande de volailles a connu un développement rapide, jusqu'à rejoindre le niveau de production de viande porcine. Ce développement a été concomitant avec la diffusion depuis les États-Unis et l'Europe de l'Ouest vers le reste du monde d'une aviculture industrielle basée sur la sélection génétique, l'optimisation des intrants et la mise en place de liens étroits entre les différents maillons des filières.

L'accroissement de la consommation mondiale de viandes de volailles est lié à des facteurs multiples comme l'accroissement de population, l'urbanisation et l'émergence d'une « classe moyenne » modifiant les régimes alimentaires mais également les préoccupations liées à la santé ou encore la compétition exercée entre sources de protéines animales.

Les déséquilibres entre offre et demande se sont accentués depuis les années 80 tant sur les aspects quantitatifs que qualitatifs, entraînant le développement d'un commerce international des viandes de volailles représentant 12 % de la production mondiale en 2015.

Les évolutions passées et futures des filières avicoles mondiales dépendant de dynamiques régionales spécifiques, le présent article examine les mutations passées et récentes des marchés avicoles en Asie de l'Est et du Sud-Est, en Afrique subsaharienne, dans les pays de l'ex-URSS et dans la zone Afrique du Nord et Moyen-Orient.

ABSTRACT

Global poultry meat market: retrospective analysis & recent dynamics

Between 1960 and 2015, the global poultry meat production experienced a rapid development. It is now the second most produced meat after pork. Such production growth was driven by the spreading of modern aviculture from the US and Western Europe around the World. This modern poultry production is based on genetic selection, optimisation of inputs as well as the implementation of close ties between poultry value chain stakeholders.

The growth in poultry meat consumption may be linked with various factors such as demographic growth, urbanisation and an emerging "middle class" changing consumption patterns, health concerns as well as competition among animal protein sources.

The supply/demand equilibriums changed dramatically since the 80's, both on quantitative and qualitative aspects. Such changes lead to an increasing international trade of poultry meat which currently account for 12 % of global poultry meat production.

The past and present evolutions of poultry meat sectors around the world depend mostly on interrelated regional dynamics. This paper focus on the dynamics of several poultry markets: Eastern & South-Eastern Asia, Sub-Saharan Africa, ex-USSR and North Africa & Middle-East region.

INTRODUCTION

La production mondiale de viandes de volailles a fortement progressé à partir des années 70 (+ 5 % par an en moyenne) rejoignant le niveau de production de viande porcine en 2016. Ce développement rapide a été concomitant avec l'émergence d'une aviculture industrielle basée sur la sélection génétique de souches productives, l'optimisation des intrants (alimentation animale) et la mise en place de liens étroits entre les maillons « élevage » et « transformation ». Ce schéma né aux États-Unis dans les années 30 s'est rapidement diffusé à l'Europe occidentale puis au reste du monde au fur et à mesure de l'émergence économique des pays. Si la production dans le cadre de l'auto-subsistance familiale (basse-cours) ne pèse plus guère en Europe ou en Amérique du Nord, elle reste encore importante dans de très nombreuses régions (Asie, Afrique notamment).

Les analyses sont nombreuses à mettre en avant les atouts des productions avicoles. Parmi les principaux atouts sont souvent cités l'absence d'interdits religieux (par rapport au porc ou à la viande bovine), la relative brièveté des cycles de production rendant l'investissement attractif ou encore le faible indice de consommation en faisant l'une des viandes les moins chères à produire mais également un bilan environnemental meilleur que pour les autres viandes. La croissance de la consommation mondiale de viande de volaille a été inégalement répartie et a principalement eu lieu dans les pays en développement d'Amérique Latine, d'Afrique ou encore d'Asie : + 6 % à + 7 % par an contre + 3 % à + 4 % pour l'Europe (incluant l'ex-URSS) et l'Amérique du Nord. Par ailleurs, production et consommation n'ont pas évolué au même rythme dans la plupart des pays, induisant des flux de commerce entre pays excédentaires et pays déficitaires.

Entre 1990 et 2015, le commerce mondial des viandes de volailles a progressé de 9 % par an en volume tandis que la production ne s'accroissait que de 4 % par an durant la même période¹. Néanmoins, le commerce mondial semble ralentir depuis 2010 et ce malgré la multiplication des accords commerciaux à travers le monde.

Une première partie permettra de rappeler les grands équilibres du marché mondial des viandes de volailles et les principaux déterminants de son évolution puis, compte tenu de l'enjeu que représentent les pays en développement, des éclairages seront apportés sur les dynamiques au sein des grandes zones géographiques que sont le Proche et Moyen-Orient, l'Asie de l'Est et du Sud-Est, l'Afrique mais également les pays de l'ex bloc soviétique.

¹ Estimations réalisées par l'auteur d'après données commerce extérieur et FAO (cf. matériels et méthodes)

1. MATERIELS ET METHODES

Les éléments chiffrés de cette synthèse sont issus de plusieurs bases de données ayant parfois nécessité des retraitements de l'auteur.

1.1. Sources de données

Les données de production et de consommation de produits carnés et aquatiques, incluant les viandes de volailles, sont essentiellement issues de la base FAOstat disponibles sur la période 1961-2013. Les années 2014 et 2015 ont été reconstituées à partir des données d'Eurostat pour les pays de l'Union européenne (UE), les données de la base « FAO-OCDE Outlook » pour les principaux pays hors de l'Union européenne, les données « USDA PSD tables » pour les pays non disponibles dans les bases précédentes ainsi que certaines sources statistiques nationales lorsqu'elles étaient disponibles. Afin de conserver la cohérence des données, les évolutions de production ont été privilégiées aux données brutes pour les données complémentaires.

Les données relatives à la population sont issues des bases de données de l'ONU extraites à partir de FAOstat et les consommations individuelles ont été recalculées. Quant aux données macro-économiques (notamment le PIB exprimé en dollar Parité Pouvoir d'Achat), elles sont issues de la base « Penn World Table version 9.0 » disponible depuis 1950.

Les projections à l'horizon 2030 ont été réalisées par l'auteur sur la base des projections de population de l'ONU et des projections macro-économiques du FMI. La constitution d'une base de données du commerce mondial a fait l'objet d'un travail spécifique décrit ci-après.

1.2. Sources et traitement des données du commerce extérieur

Les données du commerce extérieur sur la période 1990-2015 sont issues d'une compilation de diverses bases de données :

- Eurostat pour les pays de l'UE, les pays européens hors UE ainsi que certains pays du pourtour méditerranéen.
- Douanes nationales pour un certain nombre de Pays tiers (États-Unis, Canada, Mexique, Brésil, Russie, Thaïlande, Japon, Chine, Maroc, etc.)

Ces données ont été complétées par une extraction de la base UNComtrade. De cette base de données ont été extraites les données relatives aux déclarations d'exportations considérant qu'elles étaient plus exhaustives. Ainsi, dans les analyses développées, les importations d'un pays représentent in fine, la somme des déclarations d'exportations vers ce pays. Un certain nombre de pays n'ayant pas de statistiques douanières disponibles, la base de données a été complétée, en évitant les doubles comptes, par les déclarations d'importations en provenance de pays n'étant pas déjà dans la liste des pays déclarants.

Les pays dont 100 % des données sont disponibles sur la période 1990-2015 représentaient entre 86 % et 90 % de la production mondiale de viande de volailles. En ajoutant les pays ayant au moins 80 % des données disponibles sur la période, la couverture de la production mondiale oscille entre 95 % et 97 % de la production mondiale. Concernant l'Afrique subsaharienne, l'absence de données douanières fiables limite la vision de l'importance du commerce entre pays de la zone.

Les analyses portent, la plupart du temps, sur des zones géographiques larges et les plus cohérentes possibles décrites dans la figure 1.

Les données de commerce présentées dans le présent article ont fait l'objet d'un retraitement, sur la période 1990-2015, afin d'éliminer des éléments présentés :

- le commerce entre pays membres de l'UE à 28 états membres (configuration actuelle)
- le commerce entre la République Populaire de Chine et ses Régions Administratives Spéciales de Hong-Kong et Macao.

Les produits pris en compte correspondent aux viandes et abats de volailles du chapitre 0207 de la nomenclature douanière internationale (SH6), les viandes saumurées (021090 puis 021099) ainsi que les préparations à base de volailles (1602 31, 32 et 39).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1 L'accroissement des déséquilibres offre/demande des viandes de volailles depuis les années 80 à l'échelle mondiale

La consommation de viande de volailles est passée de 8,8 millions de t² au début des années 60 à 104 millions de t² en 2015, ce qui en fait désormais la seconde viande consommée dans le monde juste derrière le porc. La croissance démographique (3 milliards d'habitants en 1960 contre 7,2 milliards d'habitants en 2015) n'explique qu'un tiers de cet accroissement de consommation de viande de volailles tandis que la forte croissance de la consommation par habitant, passée de 2,9 kgéc en moyenne à 16 kgéc en 2015, y contribue pour les deux-tiers.

Au cours du demi-siècle écoulé, les trois quarts de la hausse de la consommation de volaille a eu lieu dans les pays en développement, avec des taux de croissance de l'ordre de 6 % à 7 % par an.

L'accroissement de la consommation individuelle est à mettre en relation avec un ensemble de facteurs interdépendants : urbanisation modifiant les régimes alimentaires et l'émergence d'une « classe moyenne » ayant les ressources pour diversifier l'origine des protéines consommées, convergence de régimes alimentaires favorisant historiquement les protéines végétales avec le régime « occidental » à forte

composante en protéines animales (Drenowski et al., 1997).

Une relation étroite se dégage entre niveau de consommation par habitant et revenu moyen disponible mesuré par le Produit Intérieur Brut par habitant exprimé en Parité Pouvoir d'Achat (cf. figure 2), unité permettant de comparer les niveaux de revenus entre économies et exprimé en dollar constant (base 2011) pour comparer les évolutions sur la longue période. La relation entre niveau de vie et consommation de viandes de volaille est grossièrement linéaire et suit une pente similaire quelle que soit la région considérée à l'exception d'une part, de l'Amérique du Sud où l'évolution de la consommation a été plus rapide que celle du niveau de vie et, d'autre part, de l'Asie du Sud (Inde, Pakistan, Bangladesh) où les produits laitiers sont privilégiés comme source de protéine animale.

Entre 1990 et 2015, le commerce mondial des viandes de volailles a presque décuplé, passant de 1,56 million de t² (4 % de la production mondiale) à 13,0 millions de t² (12 %), résultant d'un décalage entre les dynamiques de production et de consommation locales.

Trois périodes avec des dynamiques marquées peuvent être distinguées :

- de 1990 à 1996, période bornée par l'effondrement du bloc soviétique et la mise en place des accords de Marrakech et de l'ALENA³, le commerce mondial se développe fortement passant de 4 % à 10 % de la production mondiale échangée. Les flux de viandes de volailles des États-Unis vers l'ex-U.R.S.S. en est le principal moteur tout comme l'émergence de la demande chinoise bénéficiant aux États-Unis mais également aux pays d'Amérique Latine et d'Europe.
- de 1996 à 2006, les échanges représentent environ 10 % de la production. Le solde commercial européen se dégrade principalement sous l'effet d'un recul des exportations tandis que le Brésil développe fortement ses ventes sur tous les grands marchés internationaux (Europe, Russie, Asie, pays du Proche et Moyen-Orient). La fin de la période est marquée, d'une part, par l'émergence d'une forte demande à l'importation de la part de la Chine et, d'autres par l'épisode de grippe aviaire qui perturbe fortement les filières à travers le monde à l'exception notable de l'Amérique du Sud.
- de 2006 à 2015, la part des échanges dans la production mondiale progresse de 2 points pour s'établir à 12 % et reste stable durant la période. Les exportations du continent américain se stabilisent autour de 7,1 millions de t² tandis que l'Europe redevient exportatrice nette et que le solde du commerce des pays de l'ex-U.R.S.S. s'améliore de manière rapide entre 2008

² t² : tonne équivalent carcasse, unité de mesure employée pour pouvoir agréger des données en poids concernant des animaux vivants et des viandes sous différents présentations : carcasses, viandes désossées ou non.

³ ALENA : Accord de Libre-Échange Nord-Américain entre les États-Unis, le Canada et le Mexique.

(- 1,88 million de t  c) et 2015 (-0,40 million de t  c). Dans le même temps, le déficit de l'Asie se stabilise autour de 2,5 millions de t  c tandis que les importations des zones Afrique et Proche et Moyen-Orient continuent de se développer.

Ainsi en 2015, trois grandes zones sont très largement importatrices de viandes de volailles :

- L'Asie : 4,16 millions de t  c soit 32 % des importations mondiales en 2015, la Chine représentant 10 % des importations mondiales. Environ 70 % des approvisionnements de la zone proviennent de l'extérieur dont 30 % en provenance du Brésil et 20% des   tats-Unis, le commerce entre pays de la zone ne représentant que 30 % des importations.
- L'Afrique du Nord et le Proche et Moyen-Orient : 2,50 millions de t  c soit 19 % des importations mondiales en 2015. De 80 % à 85 % des volumes de volailles sont fournis par des pays extérieurs au périmètre géographique, pour les 2/3 par le seul Brésil, le commerce entre pays de la zone représentant moins de 10 % des volumes importés.
- L'Afrique subsaharienne : 1,91 million de t  c, soit 15 % des volumes mondiaux. Les principaux fournisseurs sont l'Europe (près de 40 % des volumes), le Brésil (environ 30 %) et les   tats-Unis (20 %) exportant sur ces marchés essentiellement les coproduits d'autres marchés plus rémunérateurs comme les poules de réforme, des ailes, etc.

Les découpes de volailles représentent 75 % du commerce mondial en 2015. Néanmoins les forts écarts de prix moyen sur les différents marchés reflètent une forte variété dans la nature des pièces échangées : 1,81   /kg  c vers le Japon, 1,35   /kg  c vers le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, autour de 1 à en Asie du Sud-Est et entre 0,65 et 0,90 à/kg  c en Afrique subsaharienne.

En 2015, près de 45 % de la population mondiale vit dans des pays en développement dont l'évolution de la production avicole n'a pas permis de satisfaire l'accroissement rapide de la demande, entraînant une dépendance accrue aux marchés mondiaux pour leur approvisionnement. Dans le même temps, certains pays en développement se sont récemment positionnés comme acteurs internationaux ou régionaux.

Si les éléments cités précédemment mettent en évidence qu'une large partie de la dynamique des filières avicoles mondiales se joue en dehors de l'Europe et des   tats-Unis, il convient d'apprécier l'hétérogénéité des dynamiques à l'œuvre entre et au sein de ces grandes zones géographiques.

2.2 Le déficit croissant des pays d'Afrique du Nord et du Proche et Moyen-Orient

La région a connu une forte poussée démographique, passant de 150 millions d'habitants en 1960 à près de 540 millions en 2015, ainsi qu'une modification des régimes alimentaires. Si les produits végétaux restent

prépondérants dans les régimes alimentaires, notamment le blé, la part des produits animaux issus de systèmes d'élevages industriels basés sur des intrants importés (maïs et soja) a fortement progressé et particulièrement les viandes de volailles qui représentent désormais 20 % des apports caloriques en produits animaux.

Le recours aux importations est rendu nécessaire par la rareté des terres cultivables, la contrainte hydrique et l'occupation des terres arables par des cultures destinées à l'alimentation humaine (blé). Aussi, de 30 % à 50 % des calories consommées dans la région sont importées, la Turquie avec un taux de 10 % faisant figure d'exception (Marty et al., 2015).

   cette contrainte structurelle sur la disponibilité en matières premières locales s'ajoutent des conditions climatiques impactant la productivité des volailles ou nécessitant des surcoûts d'aménagement (climatisation) par rapport aux zones tempérées.

Par rapport à la France, le coût de production du kilo de viande de poulet est supérieur de 13 % en Turquie (Cadudal, 2014), 114 % en Algérie (Kaci et al., 2017), et de 36 % en Arabie Saoudite (Hussein, 2016), rendant les productions locales non compétitives sur les marchés internationaux. Au-delà des contraintes physiques (disponibilité en matières premières, climat), la faible articulation entre maillons des filières et de la maîtrise sanitaire expliquent également les importants écarts avec la situation française.

Les pays du Golfe⁴, bénéficiant d'importantes ressources financières liées à leurs exportations de pétrole et de gaz, représentent à eux seuls plus de 75 % des volumes de viandes de volailles importés dans la zone. Essentiellement sous forme de poulet entier congelé jusqu'à la fin des années 1990, les importations concernent de manière croissante des pièces de volailles (40 % des volumes importés en 2015). Le développement rapide des chaînes de restauration dans la région (Bakr et al., 2016) est un des moteurs de la place croissante prise par les découpes.

Le commerce à destination des pays de la zone, traditionnellement dominé par le Brésil et dans une moindre mesure par la France (Chatellier et al., 2015), voit l'apparition de nouveaux acteurs comme l'Ukraine, suivant en cela une réorientation des flux similaire à ce qui a pu être observé dans l'approvisionnement en matières premières destinées à l'alimentation animale : des Amériques vers les pays de l'ex-URSS. Les opérateurs brésiliens ne sont pas restés inactifs dans la région, investissant récemment dans leur réseau de distribution dans les   mirats, en Irak ou encore à Oman.    ce titre, l'investissement de BRF, principal opérateur brésilien sur ces marchés, dans une usine de plats préparés aux   mirats est significatif dans une région où les industries agro-alimentaires sont principalement des industries de

⁴ Arabie Saoudite, Yémen, Oman, Koweït, Qatar, Bahreïn

premières transformations et où urbanisation, développement des chaînes de restauration et élévation du niveau de vie induisent une demande pour les produits élaborés.

Dans ce paysage, la Turquie fait figure d'exception notable puisque ses filières avicoles sont exportatrices nettes (Cadudal, 2014). Les filières avicoles turques bénéficient :

- d'une situation géographique favorable à l'interface des grandes plaines céréalières au nord de la mer Noire et des zones arides du Proche et Moyen-Orient ;
- d'un marché intérieur de près de 80 millions d'habitants ;
- d'une relative stabilité politique comparée aux pays de la région.

Le pays a su attirer des investisseurs étrangers dans ses filières avicoles : le thaïlandais Charoen Pokphand dès 1986, plus récemment le brésilien BRF (rachat de Banvit) ou encore des firmes de génétique aviaire qui bénéficient ainsi d'une base pour produire et distribuer leurs produits dans la région.

Si les exportations de viandes de volailles se sont fortement développées à partir de 2008 pour représenter près de 20 % de la production, le conflit en Syrie et en Irak a fragilisé les opérateurs turcs qui voyaient se fermer leur principal débouché.

Si la Turquie a récemment émergé sur la scène avicole internationale, ses coûts de production élevés par rapport aux européens ou aux américains et sa dépendance aux importations de maïs et surtout de soja cantonnent cependant les filières turques à un rôle régional qui peut lui être disputé par les pays de l'ex-URSS.

2.3 Le redéveloppement de l'aviculture industrielle dans les pays de l'ex-URSS

Depuis le milieu des années 2000, certains pays de l'ex-URSS ont connu un développement rapide d'une aviculture industrielle, largement basée sur des outils de grande taille (élevages et transformation) et une intégration au sein de mêmes groupes de l'ensemble de la chaîne de valeur du champ à la distribution.

L'effondrement de l'économie soviétique s'est traduit par, d'une part, une chute de la consommation de produits d'origine animale et, d'autre part, une substitution de la viande bovine par les viandes de volailles et les œufs plus abordables dans un contexte de pouvoir d'achat des ménages fortement dégradé.

Jusqu'au début des années 2000, les viandes de volailles provenaient essentiellement d'élevages familiaux dans le cadre d'une économie de subsistance et d'importations en provenance des États-Unis principalement (« Bush legs »).

Le développement d'une aviculture industrielle moderne dans ces pays autour de grands outils est issu de la vague de libéralisation des années 1990. Les agro-holdings se sont tout d'abord développées dans le secteur des productions végétales dans le sud de la Russie et en Ukraine, régions de terres noires particulièrement fertiles puis se sont diversifiées au

début des années 2000 dans les productions animales en commençant par les productions avicoles.

En Ukraine, la production de poulet de chair industrielle s'est rapidement développée, quasiment inexistante au début des années 2000 et atteignant 1,2 million de têtes en 2015. À elle seule, l'entreprise leader (MHP) représente 50 % de la production totale du pays en 2015. Le groupe intègre les différents maillons de la chaîne de valeur : 340 000 hectares de terres sur lesquelles sont notamment cultivés le maïs et le tournesol destinés à l'alimentation des volailles, usines de trituration d'oléo-protéagineux, alimentation animale, couvoirs, élevages en propres d'une capacité allant de 20 à 120 millions de têtes par an et des outils d'abattage modernes, le tout parfois sur un même site.

En plus d'économies d'échelles liées à la taille des outils, les opérateurs ukrainiens des filières avicoles bénéficient ainsi d'avantages en termes de coûts de production du fait de l'abondance de céréales et d'oléo-protéagineux (tournesol *hipro* et plus récemment de soja) mais également d'une main-d'œuvre qualifiée et moins chère que dans l'UE (Cadudal, 2015 et 2016). En 2015, le coût de production du poulet ukrainien sortie abattoir était de 1,12 €/kgéc, plus proche des coûts brésiliens (1,06 €/kgéc) que des coûts européens (1,52€/kgéc en moyenne) (Van Horne, 2017).

L'émergence relativement récente de l'Ukraine sur les marchés mondiaux (2009) s'est d'abord caractérisée par des flux en direction des anciennes républiques soviétiques puis dès 2013 par une diversification des flux vers les pays du Moyen-Orient et enfin, en 2014, vers l'Union européenne à la faveur de l'ouverture de contingents à droits nuls dans le secteur des viandes de volailles et des œufs. Cependant les opérateurs ukrainiens ont été fragilisés par la crise économique concomitante au conflit armé dans l'est du pays : baisse du pouvoir d'achat des ménages, coupes budgétaires affectant les aides aux agro-holdings et dévaluation de la grivna qui, si elle a rendu plus compétitive les exportations ukrainiennes sur les marchés internationaux, a également renchérit le coût des intrants importés (produits vétérinaires, génétique, etc.).

En Russie, alors que la production ne couvrait que 40 % des besoins du marché au début des années 2000, elle en couvre plus de 90 % en 2015. Le développement de la production de volaille de chair a suivi un modèle similaire à celui observé en Ukraine autour d'agro-holdings intégrant la chaîne de valeur du champ à la distribution. Cependant, du fait de la taille du pays, le secteur y est moins concentré : les 4 premières entreprises du secteur produisant 45 % de la viande de volaille en Russie. Les outils y sont récents : 60 % de la transformation de poulet de chair provient d'outils construits ou rénovés après 2008 (USDA, 2016).

Cette modernisation des outils de production s'est faite à travers un soutien public à l'investissement, couplé à une politique de restriction des importations

en plusieurs étapes. Des contingents à l'importation ont été mis en place dès 2003, avec des volumes croissants jusqu'en 2008 pour atteindre 1,21 million de téc. En 2008 et 2010, les autorités sanitaires russes ont ciblé spécifiquement les opérateurs étasuniens, qui représentaient près de 70 % des volumes importés, en retirant l'agrément sanitaire leur permettant d'exporter dans un premier temps puis, en interdisant l'importation de viandes chlorinées dans un second temps (Trégaro, 2012). De plus, à partir de 2009, les volumes des contingents à l'importation ont été substantiellement réduits (364 000 téc en 2017) et un embargo a été mis en place en août 2014 sur les viandes de volailles en provenance principalement des États-Unis et d'Europe.

En Asie centrale, le Kazakhstan dispose également d'une base céréalière solide avec ses terres noires situées au nord mais les outils de production de poulet de chair sont plutôt situés au sud (Almaty) et à l'est de cet immense pays. Aussi, ce potentiel céréalière ne s'est pas traduit par un développement aussi rapide des productions avicoles qu'en Russie ou en Ukraine. Certaines anciennes républiques soviétiques ont su tirer profit de leur potentiel agricole et industriel pour redévelopper rapidement une production de volaille de chair, processus accéléré par un soutien important des pouvoirs publics. Ces pays sont ou sont en train de redevenir autosuffisants pour leur approvisionnement en viandes de volailles et pourraient à l'horizon de quelques années devenir des acteurs importants sur les marchés mondiaux.

En effet, le potentiel de croissance interne de ces marchés est limité par, d'une part, une démographie déclinante et, d'autre part, un niveau de consommation déjà élevé : 27,8 kgéc/habitant/an en Russie, 25 kgéc en Ukraine comparé aux 21 kgéc en Allemagne, 26 kgéc en France ou près de 28 kgéc en Pologne. Par ailleurs, ces pays sont limitrophes de grands marchés potentiels : l'Union européenne, ouverte à la seule Ukraine dans le contexte géopolitique actuel ; les pays du Moyen-Orient où les pays de l'ex-URSS exportent déjà une partie significative de leurs grains mais également la Chine sur le modèle de projets de développement de fermes porcines dans l'Extrême-Orient russe destinés à approvisionner le marché chinois (Vorotnikov, 2016).

2.3 L'évolution des filières avicoles asiatiques sous la contrainte de l'influenza aviaire

La transition démographique⁵ en Asie orientale et du Sud-Est étant déjà bien entamée, le changement des habitudes alimentaires est devenu le principal moteur de la croissance de la consommation de viandes de volailles de la région pour atteindre 14 kgéc/habitant en 2015.

Malgré des contextes d'évolution de consommation des produits d'origines animales entre les différents pays de la zone, quelques points communs ressortent :

- La viande de porc reste privilégiée par rapport à la volaille représentant entre 40 % et 60 % des approvisionnements en produits animaux dans la plupart des pays (hormis la Malaisie et l'Indonésie comptant une proportion significative de population musulmane)
- Le développement de la consommation de volaille s'est fait au détriment des viandes de ruminants mais surtout des produits de la pêche et de l'aquaculture.

La région était globalement autosuffisante en viande de volailles jusque au début des années 90 puis le rythme de consommation a dépassé celui de la production, notamment dans les pays industrialisés comme le Japon, la Corée du Sud, Taïwan ou la Chine.

Les filières asiatiques doivent faire face à plusieurs contraintes structurelles :

- Une dépendance aux importations de matières premières destinée à l'alimentation animale comparable à la situation européenne : 15 % du maïs et 90 % du soja sont actuellement importés. Par ailleurs, la dépendance aux matières premières importées pourrait s'accroître d'ici 2030 en raison d'une disparition de terres particulièrement fertiles en périphérie des agglomérations (Bren d'Amour et al., 2016).
- Une récurrence des épisodes d'Influenza Aviaire Hautement Pathogène (IAHP) impactant la production mais également les modes de distribution (importance des achats en vif) et le commerce intra-régional.

Si la production de poulet est dominante dans la région, la production de canard y est également importante. Par ailleurs, la production même de poulet est duale avec, d'un côté une production de souches « blanches » basée sur la génétique américaine ou européenne⁶ et destinée plutôt à la transformation et à la restauration rapide (Magdelaine et al., 2016) et, d'autre part, des souches dites « colorées » basée sur une génétique locale et destinée aux circuits traditionnels (marchés de vif).

Les pays de la région absorbent à eux seuls près du tiers du commerce mondial en 2015, soit 4,16 millions de téc dont 87 % sous forme de découpes et 11 % sous forme de préparations. Les flux de préparations sont essentiellement destinés au marché japonais en provenance de Thaïlande et de Chine. Le développement des exportations de préparations à base de viandes de volailles s'est fait après l'épisode d'IAHP de 2006 et les restrictions au commerce des viandes crues imposées par les pays de la région. La Chine, principal marché pour les découpes de volailles dans la région avec 1,22 million

⁵ Passage d'un taux de mortalité et de natalité élevés à faibles caractérisé par une croissance modérée et, dans certains pays asiatiques (Japon, Chine, etc.), un vieillissement de la population.

⁶ Environ 50 % de la production en Chine, 85 % en Corée du Sud, 75 % en Thaïlande, 45 % aux Philippines

de t  c en 2015 importe pour près de 40 % de pattes de poulet en provenance des   tats-Unis et du Brésil tandis que le Japon importe principalement des cuisses désossées du Brésil.

Si la plupart des pays asiatiques sont déficitaires en viandes de volailles, la Thaïlande se distingue par la forte orientation de sa filière à l'exportation avec deux débouchés à haute valeur ajoutée : le Japon et l'Union européenne. Cinq entreprises verticalement intégrées assurent environ 75 % des exportations dont le leader Charoen Pokphand (CP). Le groupe CP est également implanté industriellement dans l'alimentation animale, la production intégrée de volaille ou la transformation alimentaire en Asie du Sud-est (Malaisie, Cambodge, Philippines, Vietnam, Laos, Taïwan, Chine), en Europe (Royaume-Uni, Belgique, Pologne), en Russie, en Turquie, en Inde ou encore en Afrique (Tanzanie). Mais la région attire également les investisseurs américains comme Cargill (Thaïlande, Chine, Philippines, Indonésie) ou le brésilien BRF (Thaïlande, Indonésie).

Les filières de la région sont fortement dépendantes des importations de génétique américaine et européenne dont les parts de marché varient en fonction des épisodes d'IAHP et des interdictions d'importations d'animaux vivants associées. Dans ce contexte, les opérateurs australiens et néozélandais émergent sur ces marchés porteurs, fournissant près de 10 % des poussins d'un jour importés en Asie.

2.4 La difficile émergence de l'industrie avicole en Afrique subsaharienne

En dehors de l'Afrique du Sud, l'industrie avicole en Afrique subsaharienne est encore peu développée, l'essentiel des productions étant des élevages vivriers basés sur des souches locales.

Au cours des 50 dernières années, la croissance de consommation de viandes de volailles par habitant a été plus faible en Afrique subsaharienne (2,9 % par an en moyenne) que dans le reste du monde à l'exception de l'Amérique du Nord et de l'Europe. Par ailleurs, avec une moyenne régionale de 5,3 kg  c, la consommation par habitant et par an y est une des plus faibles du monde. Malgré cette relativement faible évolution de la consommation, la dépendance de la région aux marchés mondiaux s'  st constamment accrue à partir des années 80. Alors que la production couvrait 98 % des volumes consommés en 1980, elle n'en couvrait plus que 70 % entre 2011 et 2015.

L'Afrique subsaharienne représentait en 2015 15 % des débouchés mondiaux, soit 1,91 million de t  c essentiellement approvisionnée par du poulet brésilien et des découpes (poules de réforme, ailes de poulet et de dinde, etc.) non valorisées par les marchés intérieurs étatsunien ou européens. Les marchés d'Afrique subsaharienne tendent à prendre de plus en plus d'importance pour les opérateurs européens. En 2015, ils représentaient 48 % des volumes de viandes de volailles exportés par l'UE contre 20 % au début des années 2000.

L'Afrique centrale représente le premier marché en volume (720 000 t  c importées en 2015) par des pays fortement dépendants de leurs exportations de pétrole (Angola, Gabon, Congo) ou de l'industrie minière (Angola, RDC). La seconde zone majeure d'importation est l'Afrique australe (593 000 t  c en 2015), principalement l'Afrique du Sud. Du fait de la qualité de ses infrastructures portuaires et routières, le pays est le point d'entrée privilégié pour accéder aux marchés voisins (Mozambique, Botswana, Zimbabwe) mais une part significative des volumes importés se retrouve en compétition avec les productions sud-africaines et représentent environ 20 % de la consommation (NAMC-BFAP, 2016). Si les coûts de production du poulet de chair en Afrique du Sud sont inférieurs d'environ 15 % aux coûts européens, les importations sud-africaines sont constituées de coproduits de pièces bien valorisées sur d'autres marchés : viande séparée mécaniquement (VSM) brésilienne, cuisse étatsunienne, poules de réforme et coproduits de découpe européens. Au cours des 10 dernières années, le gouvernement sud-africain a mis en place des droits de douanes anti-dumping, visant successivement les viandes de volailles étatsuniennes puis brésiliennes puis en provenance des principaux exportateurs européens (Pays-Bas, Royaume-Uni et Allemagne). Ces mesures ont eu peu d'impacts sur la dynamique des importations puisque dès qu'un exportateur était pénalisé, les autres profitaient du vide ainsi créé.

Enfin, le 3  me grand pôle d'importation en Afrique est situé en Afrique de l'Ouest (521 000 t  c en 2015). Les deux pays d'entrée principaux dans la sous-région sont le Bénin (41 %) et le Ghana (31 % des volumes). Le port de Cotonou au Bénin est en fait la porte d'entrée des importations destinées à plus de 90 % au grand marché voisin nigérian (et plus particulièrement Lagos, 16 millions d'habitants) *via* une intense contrebande transfrontalière pour contourner les interdictions d'importer des produits avicoles mises en place par le gouvernement nigérian.

Comme en Afrique du Sud, ces importations viennent concurrencer partiellement les productions industrielles locales. Les opérateurs avicoles industriels locaux sont principalement localisés près de la frange côtière (Chatel et al., 2011), urbanisée et densément peuplée de Port-Harcourt (Nigéria)    Abidjan (Côte d'Ivoire). Cette situation leur permet à la fois de bénéficier d'une proximité avec les marchés urbains caractérisés par un niveau de vie plus élevé que les zones rurales mais également bénéficier d'infrastructures logistiques (portuaires et aéroportuaires) de bonne qualité (Heise et al., 2015) pour l'importation des intrants comme les œufs à couvrir, les poussins ou encore certaines matières premières destinées à l'alimentation animale tandis que les communications avec l'hinterland sont rendues malaisées par la mauvaise qualité du réseau routier. Cependant, cette localisation met ces opérateurs en concurrence frontale avec les

importations en provenance d'Europe, des États-Unis ou du Brésil. Le soutien aux filières avicoles est engagé dans certains pays (par exemple Ghana, Nigéria, etc.) avec, entre autres, des tentatives de restrictions des importations. Celles-ci se heurtent néanmoins à la dépendance de certains États aux recettes fiscales liées au commerce. À titre d'exemple, les taxes liées à l'activité du port de Cotonou représentent entre 40 % et 50 % des recettes fiscales de l'état béninois (Vissienon, 2015).

Par ailleurs, en Afrique de l'Ouest, la consommation de viande de volailles a été fortement concurrencée par celle des produits de la pêche et de l'aquaculture (cf. figure 3) avec le développement d'une aquaculture intégrée notamment au Ghana et au Nigéria fournissant une protéine meilleure marché que la volaille.

Au cours des prochaines décennies, l'Afrique subsaharienne sera confrontée au défi d'une croissance démographique (+390 millions d'habitants attendus d'ici 2030) qui se caractérise par une forte croissance de la population active et une croissance de la population rurale autant qu'urbaine. Dans ce contexte, les défis de l'aviculture africaine, et plus généralement de l'agriculture sont :

- La satisfaction des besoins croissants en biens alimentaires et en protéines animales
- La création de nombreux emplois en ville mais également en milieu rural
- L'accroissement de la compétitivité de l'agriculture et des filières avicoles pour concurrencer les importations sur les marchés nationaux et régionaux (François, 2013).

CONCLUSION

Au cours des 15 prochaines années, la consommation mondiale par habitant et par an de viande de volailles devrait croître en moyenne de 1,5 % par an d'après les projections FAO-OCDE contre 3 % par an sur les 15 années écoulées. Si la production et la consommation de viandes de volailles bénéficient de facteurs positifs cités en introduction, cette source de protéines animales peut rencontrer localement des freins à son développement d'ordre culturels (préférence pour le porc en Asie, végétarisme en Inde), la concurrence émergente de l'aquaculture (Afrique de l'Ouest, Bas-Mékong) ou encore un contexte macro-économique de développement peu favorable comme en Afrique subsaharienne (freins techniques, logistiques, agronomiques, etc.). Trois régions devraient

représenter chacune environ 20 % de la croissance mondiale de la consommation : l'Afrique du Nord et le Proche et Moyen-Orient, l'Afrique subsaharienne et l'Amérique Latine auxquelles il convient de rajouter l'Asie du Sud-Est contribuant pour 10 %. Hormis l'Amérique Latine, ces régions sont nettement déficitaires en viandes de volailles ce qui à l'horizon 2030 devrait entraîner une forte progression du commerce mondial. Cependant si l'on considère les exportations des États-Unis et de l'Union européenne, les volumes disponibles sont fortement corrélés à l'évolution de leurs marchés intérieurs relativement peu dynamiques par rapport à la demande mondiale. Le Brésil, quant à lui, produit pour plusieurs grands marchés : son marché intérieur, les pays du Proche et Moyen-Orient (poulet entiers et découpes), l'Union européenne (filets de poulet et de dinde), le Japon (cuisses désossées) et de manière croissante pour le marché Américain (Canada, Venezuela, Mexique). Si les marchés européens et japonais sont mûres, le dynamisme des exportations de découpes brésiliennes vers le Proche et Moyen-Orient induit un accroissement de l'offre en coproduits concurrente de l'offre américaine ou européenne en Asie ou en Afrique subsaharienne.

La Russie, en tant que débouché important pour les opérateurs étasuniens et européens jusque dans les années 2000, est désormais proche de l'autosuffisance. Aux côtés de l'Ukraine, elle pourrait émerger en tant qu'exportateur sur les marchés du Proche et Moyen-Orient et asiatiques, accroissant ainsi la pression concurrentielle.

Les filières avicoles européennes semblent devoir céder du terrain sur le marché des commodités avicoles, elles disposent en revanche d'atouts de taille partagés avec la filière étasunienne :

- Une maîtrise de la génétique aviaire : 4 entreprises américaines et européennes se partagent le marché des souches avicoles (ponte et chair) industrielles.
- Une maîtrise sanitaire tout au long de la chaîne de production limitant les risques de rupture d'approvisionnements sur leurs marchés intérieurs et les marchés mondiaux.

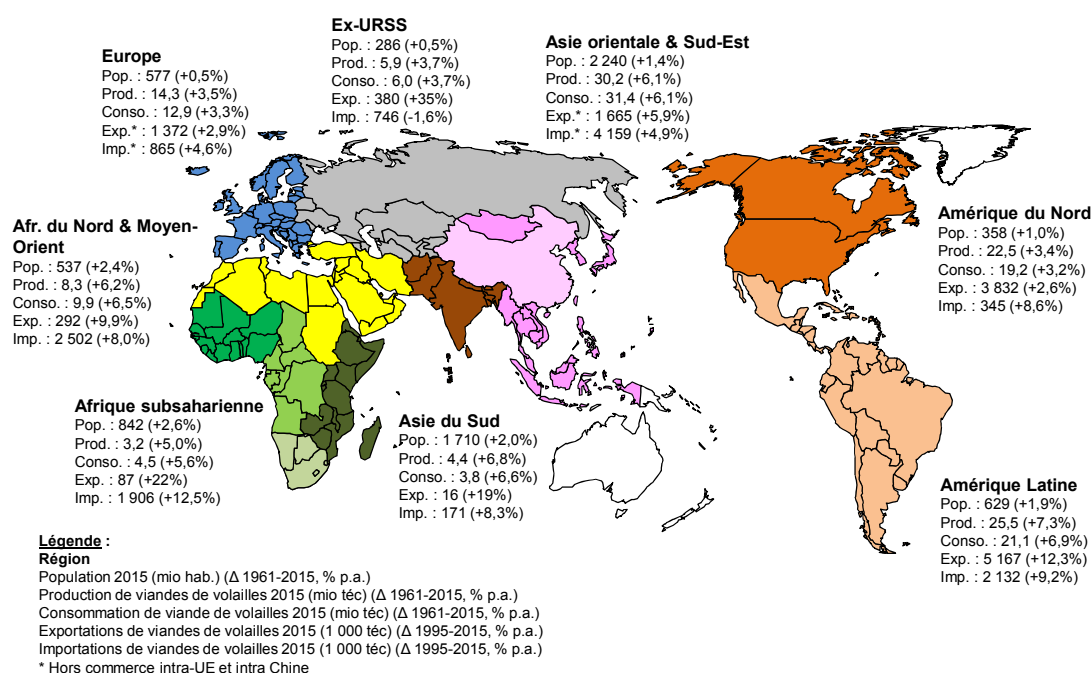
Si les évolutions à moyen terme des filières chair semblent assez bien définies pour la plupart des régions du monde, une forte incertitude demeure sur la dynamique future des secteurs avicoles en Afrique subsaharienne entre mutations démographiques, économiques, politiques et écologiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bakr A., Tawii C., Jarmalaite D., Sherif F., Hanana H., Levi T. (2016) *Major Consumer Foodservice Trends in the MEA*. Euromonitor International, 6 février
- Bren d'Amour C., Reitsma F., Baiocchi G., Barthel S., Güneralp B., Erb K.-H., Haberl H. Creutzig F., Seto K.C. (2016) *Future urban land expansion and implications for global croplands*. PNAS, 12 p.
- Cadudal F. (2014) *Les filières avicoles en Turquie. Poulet, dinde et œuf*. Les Synthèses de FranceAgriMer, n°18, mai, 20 p.

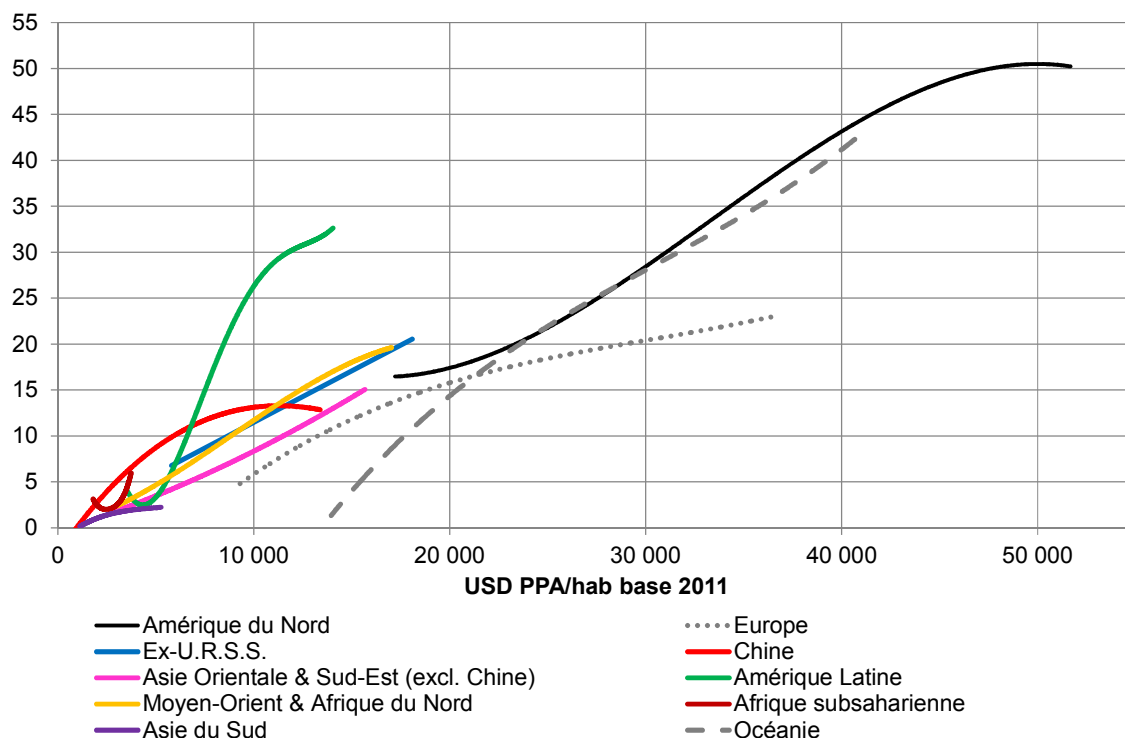
- Cadudal F. (2015) *Les filières avicoles en Ukraine. L'émergence d'un acteur mondial ?* Les Études de FranceAgriMer, mai, 28 p.
- Cadudal F. (2016) *Le secteur de la volaille de chair en Ukraine.* TeMA n°38, juin, 7 p.
- Chatel C., Denis E., Harre D., Moriconi-Ebrard F., Sejourne M., Thiam O. (2011) *Africapopolis. Dynamiques de l'urbanisation, 1950-2020 : Approche géostatistique. Afrique de l'Ouest*, Rapport de l'étude, 124 p.
- Chatellier V., Magdelaine P., Tregaro Y. (2015) *La compétitivité de la filière volaille de chair française : entre doutes et espoirs.* INRA Productions Animales, vol 28 (5), pp 411-428.
- Drenowski A., Popkin B.M. (1997) *The Nutrition Transition: New Trends in the Global Diet.* Nutrition Reviews, février 1997, Vol.55, n°2, pp.31-43
- François J.-L. (2013) *Agricultures africaines : quelles mutations face aux défis et aux opportunités liées à la croissance démographique et à l'urbanisation ?* Le Déméter 2014, pp.78-81
- Heise H., Crisan A., Theuvsen L. (2015) *The Poultry Market in Nigeria: Market Structures and Potential for Investments in the Market.* International Food and Agribusiness Management Review, Vol. 18, Special Issue A, 26 p.
- Hussein M. (2016) *Saudi Arabia. Poultry and Products Annual.* GAIN Report n°SA1607, 15 p.
- Kaci A., Boudouna D., Longo F.H., Meziane F.Z. (2017) *Analyse rétrospective de la filière poulet de chair algérienne et perspectives de développement.* 12^{ème} Journées de la Recherche Avicole, Tours, 5 et 6 avril, 4 p.
- Magdelaine P., Deman C. (2016) *Volailles et œufs : intégration des filières et pénétration croissante des entreprises étrangères.* Le Déméter 2017, pp. 115-139
- Marty P., Manceron S., Le Mouél C., Schmitt B. (2015) *Le système agricole et alimentaire de la région Afrique du Nord-Moyen-Orient : une analyse rétrospective (1961-2012),* 33 p.
- NAMC, BFAP (2016) *Evaluating the competitiveness of the South African broiler value chain.* Report for the Industrial Development Corporation, décembre, 76 p.
- Trégaro Y. (2012) *Le commerce international de la viande de volailles. De fortes mutations au cours de la dernière décennie.* Les Synthèses de FranceAgriMer, n°15, août, 20 p.
- USDA (2016) *Russian Federation. Poultry and Products Semi-annual.* GAIN report n°RS1642, 19 p.
- Van Horne P.L.M. (2017) *Competitiveness of the EU poultry meat sector, base year 2015. International comparison of production costs.* Wageningen Economic Research, Report 2017-005, 36 p.
- Vissienon A. (2015) *Évolution du Port de Cotonou et contribution au développement économique du Bénin.* Présentation au samedi des métiers, Cotonou, août, 26 p.
- Vorotnikov V. (2016) *Russia creates pork hub to target China.* GlobalMeatNews.com, 17 février

Figure 1. Découpages géographiques utilisés dans l'étude, principaux indicateurs 2015 et évolutions



Source : Auteur d'après données FAO, Eurostat, UNComtrade et statistiques nationales

Figure 2. Relation entre le revenu disponible moyen exprimé en dollar US constant (base 2011) à Parité Pouvoir d'Achat et la consommation de viande de volaille par habitant par an par grande zone géographique kg/hab

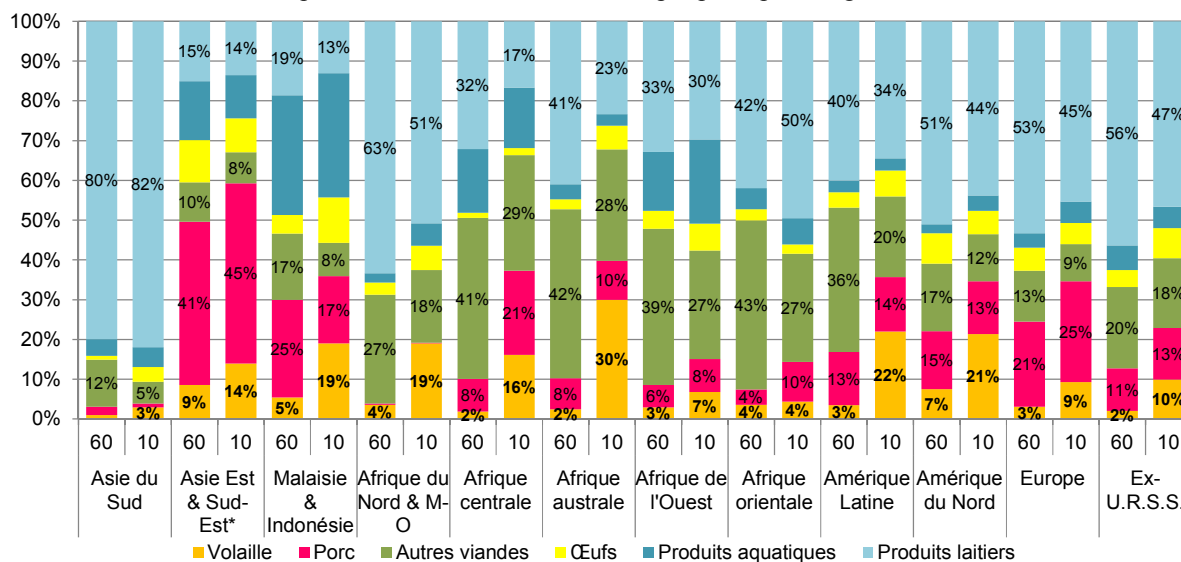


Note : les évolutions ont été lissées pour une meilleure lisibilité du graphique

Chaque point du graphique représente le PIB en dollar US constant exprimé en PPA moyen par habitant et la consommation apparente de viande de volailles moyenne par habitant pour chaque année entre 1961 et 2015. Les données de chaque pays ont ensuite été agrégées par grande zone géographique.

Source : Auteur d'après données FAO et PWT 9.0

Figure 3. Évolution de la composition des apports énergétiques (kcal/habitant/jour) en produits animaux entre la période 1961-1965 et 2010-2013 par principales régions



Source : Auteur d'après données FAO

Enjeux sociétaux et adaptation des filières aux controverses sur l'élevage

Van Tilbeurgh Véronique

ESO Rennes-UMR 6590 ESO, Université Rennes 2
Place du recteur Henri Le Moal
CS 24307
35043 Rennes cedex

veronique.vantilbeurgh@univ-rennes2.fr

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, maintenant, l'élevage est la cible de nombreuses critiques émanant de différents acteurs sociaux et adressées tant aux filières qu'aux éleveurs, directement interpellés ainsi sur le sens de leur métier. L'objectif de cette communication est de fournir des clés de compréhension des enjeux sociaux de ces critiques. C'est à travers la notion de controverse, en tant que conflit triadique opposant ceux qui remettent en cause l'élevage, ceux qui le défendent et un public jouant le rôle d'arbitre, que sont explicités les enjeux de ce débat. La controverse autour de l'élevage apparaît ainsi comme un moment de redéfinition des consensus autour de ce qui est acceptable de faire avec les animaux d'élevage tout en générant de l'incertitude sur la résolution de ce conflit. A partir de cette approche, les réponses proposées par les filières à ces critiques sont discutées pour en évaluer leur pertinence. Nous montrons ainsi que la réponse à la controverse est désajustée tant qu'elle reste posée en termes d'acceptabilité sociale de l'élevage. Pour faire bouger les lignes de la controverse autour de l'élevage, l'enjeu pour les filières serait plutôt de contribuer à l'élaboration de nouveaux consensus en créant, par exemple, des dispositifs répondant aux remises en cause adressées à l'élevage.

ABSTRACT

Social dimensions and the adaptation of the agro-food sector to controversies on breeding

Recently, the livestock sector has been subject to criticisms from different social actors. The agro-food sector and the farmers have been directly questioned about the meanings of their profession. This communication aims at discussing the social issues involved in this dispute. We use the notion of controversy to characterize the triadic conflict involving opponents to and defenders of livestock farming under the eye of the public as a judge. This controversy appears as a moment of redefinition of the social consensus on the acceptability of farming that generates uncertainty on the future of this industry.

We argue that the responses of the agro-food sector are not relevant as far as they are addressed in terms of social acceptability of the livestock activity. A change in the controversy would result from the contribution of the livestock industry to create new consensus by promoting practices responding to the challenges to livestock activities.

INTRODUCTION

Après cette approche économique, je vais maintenant vous faire changer de regard. En effet, il m'a été demandé de donner quelques éléments d'analyse sur les turbulences que traverse actuellement l'élevage en partant du point de vue du sociologue. Pour moi, il s'agira de fournir des clés de compréhension des remises en cause, émanant de l'ensemble de la société, et qui ciblent l'élevage. Ces remises en cause sont portées par le mouvement associatif, les médias, des écrivains, des artistes et s'adressent à tout à chacun à partir du moment où nous sommes confrontés à un article, une vidéo, un film, un roman, une émission radiophonique abordant la place et le rôle de l'élevage aujourd'hui. Toutefois, les filières et les éleveurs sont les premiers concernés par ces questionnements portés par des acteurs qui les interpellent directement sur le sens de leur métier.

La plupart des données mobilisées dans mon intervention sont issues des recherches menées dans le cadre du programme CASDAR-ACCEPT. Cela fait deux ans maintenant que nous sommes un groupe de sociologues à collaborer avec des représentants des filières et d'autres acteurs à un programme de recherche pour tenter de comprendre les enjeux de la controverse autour de l'élevage et comment les filières peuvent y répondre. Au cours de ces deux années, nous avons vu cette controverse prendre beaucoup d'amplitude jusqu'à devenir aujourd'hui une controverse majeure du débat public. Il ne se passe pas une semaine sans qu'un nouvel élément vienne alimenter cette controverse, la rendant aujourd'hui multiforme, complexe et très instable.

L'objectif de cette communication est, dans une première partie, de tenter d'apporter quelques éclairages sur ce qu'est une controverse, ce qui la compose et comment elle fonctionne avant de revenir sur les enjeux que questionne la controverse sur l'élevage. Dans une seconde partie, j'analyserai quelques pistes de réflexion permettant d'orienter les réponses des filières face aux enjeux sociaux posés par la controverse.

1. LE REGARD SUR LA CONTROVERSE

1.1. Les enjeux d'une controverse

Pour la sociologie, une controverse est un type de conflit particulier qui engage trois catégories d'acteurs : les deux parties qui s'affrontent autour d'un différend et un juge souvent formé par le public des pairs, c'est-à-dire des personnes partageant la même situation sociale (Lemieux, 2007). Le conflit est mis en scène devant ce public. C'est même la présence d'un public qui caractérise ces conflits triadiques par rapport à d'autres types de conflit. En effet, celui-ci modifie largement la nature du conflit car il est attendu par ce public que les deux adversaires puissent se prévaloir d'arguments justifiant leurs points de vue et positions. Pour donner un exemple concret, le monde associatif et, plus

particulièrement, l'association L214 a diffusé des vidéos montrant des scènes d'abattages de bétail dans des conditions qui enfreignent la loi. Les abattoirs incriminés ont été fermés dans les heures qui ont suivi la diffusion de ces vidéos. Ici, les deux adversaires étaient L214 et les abattoirs, mais le public visé était les personnes incluses au dispositif de prise de décision permettant de faire fermer les abattoirs en question. Ainsi, le public est constitué des personnes qui départagent les parties en conflit, c'est donc un public d'initiés ayant les capacités d'action et les connaissances suffisantes pour affirmer un point de vue et le faire appliquer. Dans certains cas, la controverse se déroule également face à des spectateurs constituant son audience, je développerai ce point ultérieurement.

Les moments où le public est appelé à prendre partie constituent des épreuves. À la suite du jugement du public, les lignes de fracture entre les croyances, les principes éthiques ou moraux, les valeurs opposant les parties en conflit sont déplacées. Ainsi, les épreuves remettent en cause les thèses dominantes questionnées par la partie adverse. Si l'on reprend l'exemple des abattoirs, la répétition des vidéos accessibles en ligne a permis leur prise en compte par un public allant des maires concernés à un ministre qui commande un rapport sur la question puis la probable publication d'un projet de loi lui faisant suite. Cela constitue des épreuves en soi qui remettent en cause l'idée que les animaux d'élevage ne souffrent pas au moment de leur mise à mort. Ces épreuves montrent également le processus par lequel une controverse aboutit finalement à la modification de textes juridiques. Ce sont à travers ces processus que les compromis sociaux, fixés dans des textes juridiques et réglementaires, se transforment pour permettre d'instituer une modification de croyances, de principes éthiques ou moraux, de valeurs collectivement partagés. Concernant la controverse autour de l'élevage, d'autres épreuves ont permis de prendre acte d'une évolution des croyances et des principes éthiques et moraux. Ainsi, le marquage des œufs selon le mode d'élevage des poules ou la suppression des œufs de cage par certains distributeurs résultent-ils d'épreuves qui ont permis d'installer cette remise en cause de l'élevage en cage. Dans la mesure où ce sont les thèses dominantes qui sont interrogées, les épreuves permettent de modifier un certain ordre social qui dit la légitimité des choses et des êtres ou au moins de déplacer la légitimité de cet ordre social. Au terme de l'épreuve, de nouveaux dispositifs seront créés, de nouveaux organismes de certifications ou de nouveaux labels, actant une transformation des thèses dominantes. Les épreuves changent donc quelque chose dans le monde de l'élevage et continueront de le faire. Évidemment, ce qui est controversé, ce sont les pratiques actuelles d'élevage. Les filières, qui représentent dans cette controverse les thèses dominantes, ont donc le sentiment de se faire déposséder de leur capacité à

définir ce qu'est l'élevage. Mais c'est oublier un peu vite que ces pratiques sont encadrées par des textes juridiques et réglementaires qui ne font que fixer, à un moment donné, un compris acceptable par l'ensemble du corps social qui est donc, par là même, sujet à évolution. Ce ne sont donc pas les filières qui ont le monopole de la définition de pratiques acceptables. Toutes les normes encadrées par le droit découlent de compromis sociaux.

Si nous reprenons maintenant l'exemple des vidéos sur les abattoirs, nous nous rendons compte que l'enjeu central de la controverse sur l'élevage se cristallise peut-être moins sur le public des initiés devant arbitrer un conflit que sur un public élargi constituant l'audience de la controverse. Plus exactement, l'action du public des initiés semble en partie liée à l'existence et à la reconnaissance d'une audience élargie autour de l'épreuve. Cette audience n'a pas de capacité d'action directe pour faire évoluer les épreuves dans un sens ou dans un autre. Toutefois, son existence a une influence sur l'issue du conflit. Analysée sous cet angle, la controverse sur l'élevage est exemplaire. En effet, dans certains cas, la rapidité de la réaction du public d'initiés semble être corrélée à l'audience de la controverse. Par exemple, lors du conflit autour des œufs en cage vendus par Monoprix, le retrait des œufs de cage a eu lieu en quelques jours à la suite de la mise en ligne sur les pages du journal « Le Monde » de vidéos sur des poules pondeuses en cage. L'enjeu majeur alors de la controverse sur l'élevage pour les filières réside bien dans le fait de savoir quel est le crédit de l'audience de la controverse et, par extension, quelles conduites adopter face à cette audience entre tenter de conserver la controverse confinée à un public d'initiés en répondant au coup par coup aux différentes épreuves ou, au contraire, anticiper les épreuves en proposant des pistes d'évolution de l'élevage répondant aux remises en cause. Toutefois, pour cela, il faut connaître les contenus controversés.

Il a été montré que cette controverse concernait, à la fois, l'impact environnemental des élevages, la condition des animaux, les risques sanitaires et l'organisation socio-économique de l'élevage alors que, envisagée du côté des consommateurs, c'est la place de la viande dans l'alimentation qui est interrogée (Delanoue et Roguet, 2015). C'est l'ensemble de ces remises en cause éprouvées lors d'épisodes plus ou moins médiatisés qui forment la controverse sur l'élevage et qui témoigne d'une certaine incertitude sur les impacts de l'élevage, qu'ils soient environnementaux, sanitaires ou économiques, et de désaccords sur le traitement de l'animal d'élevage dans la société. En d'autres termes, cette controverse témoigne de l'inexistence de compromis partagés aujourd'hui sur la place de l'élevage et sur le traitement de l'animal d'élevage. Par ailleurs, cette controverse existe dans tous les pays européens dans lesquels des recherches ont été menées, c'est-à-dire au

Danemark, aux Pays-Bas, en Belgique, en Allemagne et, dans une moindre mesure en Italie. Il n'y a qu'en Espagne où elle ne sort pas d'une sorte de bruit de fond, tout en existant quand même. En outre, elle est facilement perceptible dans des pays se situant sur d'autres continents sans qu'elle ait fait l'objet d'investigations plus approfondies. Que ce soit aux USA, au Canada, au Brésil ou en Australie, il existe de nombreuses traces de l'existence de cette controverse.

Les recherches plus approfondies effectuées dans le cadre du programme ACCEPT ont toutefois montré que, dans chaque pays européen analysé, la controverse sur l'élevage prenait une inclinaison différente en fonction (i) de l'histoire de l'élevage dans le pays concerné (les pays dont le nombre d'animaux en élevage a progressé linéairement acceptent mieux l'élevage que ceux où le nombre d'animaux a cru en peu de temps), (ii) de la nature des épreuves traversées par la controverse (en Italie par exemple il y a eu beaucoup de fraudes sur la viande qui expliquent que les remises en cause actuelles de l'élevage portent surtout sur les risques sanitaires) et (iii) de la structure de la production animale (au Danemark par exemple, la viande de porc étant exportée à 90%, il existe peu de remise en cause portant sur la qualité même de la viande) (Roguet et al., 2016).

1.2. Accord sur le type de société

Toute controverse pose la question du modèle de société acceptable puisqu'elle remet en cause un compromis. La controverse sur l'élevage reflète au moins trois désaccords au sein de la société : sur la façon d'élever et de mettre à mort des animaux pour la consommation humaine, sur l'impact acceptable des activités humaines sur les milieux et sur les modèles de développement. Ces désaccords ont commencé à prendre de l'importance à partir des années 1980. En effet, jusqu'à la seconde guerre mondiale et même jusqu'au début des années 1960 en France, les rapports sociaux étaient structurés en grande partie autour de la production agricole (Gervais et al., 1976). Ainsi, les consensus reposaient-ils fréquemment sur des cadres sociaux issus de l'agriculture où le rapport à l'animal comme la relation au milieu étaient d'abord envisagés dans leur dimension productive. Pour illustrer cela prenons l'exemple de la dichotomie entre les animaux domestiques et sauvages où ce qui était sauvage dans les sociétés agraires était « défini par le lieu où il se trouvait : *salvaticus*, en bas latin, est une altération de *silvaticus*, de *silva*, forêt. Cette dualité indique donc un ordre des choses, ou plus exactement, un cadre de pensée et de représentation qui dit de quel côté se trouve l'ordre, le cultivé, le civilisé, et de quel autre côté, à quelle limite se tient son envers qui, continuellement, le menace. Le sauvage (...) dans cette représentation traditionnelle est donc l'autre de la culture, de la culture des champs autant que de

celle qui fait qu'il y a société humaine» (Micoud, 1993). Ces cadres sociaux opposaient l'animal sauvage à l'animal domestique-productif lequel faisait partie de la société humaine et, à ce titre, était taillable et corvéable par les humains.

Ce consensus a commencé à être contesté dès le début du XIX^e siècle avec l'émergence de l'animal de compagnie qui n'est plus productif, puis, un siècle plus tard, c'est l'animal sauvage qui change de statut et c'est sa raréfaction qui devient une menace pour la société. Pareillement, c'est au XIX^e siècle que les activités humaines commencent à être pensées en fonction de leur impact environnemental, mais c'est à partir des années 1980 que l'impact environnemental de l'élevage sera questionné (Busca, 2010). Enfin, les sciences agronomiques se sont intéressées à l'animal d'élevage au XIX^e siècle en le considérant comme un outil de production, une machine. Mais la diffusion de ce modèle d'élevage hors sol ainsi que la spécialisation et la concentration des élevages s'effectuera plus tardivement. C'est à partir des années 1980-1990 que le modèle intensif d'élevage commence à être contesté en raison, tout d'abord, des nuisances qu'il génère sur les cadres de vie. Puis, à une date plus récente, ce sont les maltraitances humaines, animales et environnementales auxquelles conduit la rationalité économique et technique de l'élevage intensif qui sont dénoncées.

Ces remises en cause sont portées par des éthiques qui se sont diversifiées à partir des années 1970. L'éthique abolitionnisme, par exemple, qui revendique l'abolition de toute forme d'exploitation animale, a commencé à être discutée à partir de 1975, date de la publication par Peter Singer de son ouvrage « La libération animale ». Depuis, cette éthique s'est adjointe des courants plus radicaux avec les travaux de T. Regan (1983) ou de G. Francione (1995) alors que le courant welfariste, qui prône une amélioration des conditions d'élevage, est toujours très présent. Pareillement, alors que jusqu'aux années 1960, la protection de l'environnement des excès des activités humaines était peu questionnée en France, différents courants d'éthique environnementale ont vu le jour qu'ils soient biocentristes, plaçant la protection des dynamiques naturelles au centre de l'évaluation des activités humaines, ou anthropocentristes acceptant une coadaptation des activités humaines et des contraintes naturelles, mais questionnant dans tous les cas l'impact des élevages sur les milieux. Enfin, l'élevage intensif est plus spécifiquement interrogé car il cumule des désaccords éthiques (maltraitance des éleveurs et des ouvriers agroalimentaires, des animaux et de l'environnement) et économiques où l'éleveur, sous couvert de la rentabilité de son élevage, doit diminuer sans cesse ses coûts de production, y compris en rétribuant mal son travail, pour offrir une viande et des produits animaux peu onéreux au consommateur. Cette course à la rentabilité aboutit à une production de viande et de produits animaux

accusée d'être de mauvaise qualité et néfaste pour la santé humaine (cf. : la question de l'antibiorésistance). Cela signifie aujourd'hui qu'il n'existe plus de cadres sociaux consensuels pour penser l'élevage dans la mesure où, tout d'abord, le principe même de l'élevage est remis en cause et que, dans un second temps, pour ceux qui ne s'opposent pas au principe de l'élevage, le modèle intensif rentre en contradiction avec des principes éthiques et des rationalités économiques. Ainsi, dans le sondage qui a été effectué par l'IFOP pour le programme ACCEPT, en 2016, seules 13 % des personnes sondées étaient très satisfaites des modes d'élevage actuels. Dans les autres pays étudiés, ces désaccords au sein de la société s'expriment différemment. Ainsi, la contestation autour de l'élevage intensif est forte en Allemagne et au Pays-Bas depuis les années 2010. Encore une fois, c'est la concentration des élevages, le confinement des animaux et les problèmes sanitaires qui sont l'objet des plus forts débats alors qu'au Danemark la taille des élevages est moins un enjeu de désaccord. Dans ce pays, les débats portent plus sur l'antibiorésistance, le bien-être animal et les impacts environnementaux.

1.3. Incertitude

Le deuxième élément sur lequel repose une controverse est l'incertitude. La question de l'incertitude a été interrogée de nombreuses fois par les sociologues devant sa croissance supposée dans la société contemporaine. Toutefois, ce qui nous questionne ici, c'est le lien entre l'incertitude et la controverse. En effet, la controverse produit de l'incertitude, institue même de l'incertitude. A l'intérieur de croyances, de valeurs, de normes que l'on croyait bien établies, la controverse ouvre une part d'incertitude. Tant que le jugement n'a pas départagé les parties en conflit, tant que le conflit triadique se prolonge, l'incertitude reste. Un des enjeux de la controverse est justement de réduire la marge d'incertitude qui naît des remises en cause portées par la controverse.

Il existe deux types de dissonances cognitives générant de l'incertitude. Tout d'abord, celles liées aux connaissances en elles-mêmes en raison de l'existence de multiples façons de connaître. Ainsi, il peut y avoir une concurrence entre des croyances, des valeurs, des principes ou des normes. C'est ainsi que nous venons de souligner l'existence d'une pluralité d'éthiques animales ou environnementales. De même, le type de connaissance mobilisé pour penser, en particulier, l'impact environnemental de l'élevage ou ses conséquences sanitaires renforce l'incertitude des situations. En effet, la notion de risques, qu'il soit sanitaire ou environnemental est constamment mobilisée dans les épreuves de la controverse. Or, le risque comme mode de pensée repose sur un raisonnement probabiliste. Il ne s'agit pas de décider à partir d'une connaissance certaine et éprouvée, mais d'agir dans un monde qui est construit comme

incertain pour réduire ou contourner les dangers. Ainsi, les politiques de prévention d'un risque n'ont pour objectif de lutter contre un danger existant, une épizootie par exemple, mais de diminuer la probabilité de leur survenue. L'incertitude liée au risque a été plus particulièrement étudiée par un sociologue U. Beck (2003) dans son ouvrage intitulé « La société du risque ».

L'autre niveau d'incertitude n'est plus lié aux connaissances en elles-mêmes, mais à la nature des questions posées par la controverse autour de l'élevage. En effet, la principale caractéristique des problèmes sanitaires et des impacts environnementaux est qu'ils sont souvent diffus et difficilement décelables. En échappant à toute expérience directe, comme pour les pollutions dues à l'usage intensif de produits phytosanitaires par exemple, seule l'expertise peut les objectiver, déplaçant ainsi l'enjeu de la controverse vers l'expertise qui y répondra en fonction des questions qui la traversent également. Par exemple, dans le cas de la controverse autour du bien-être animal, l'Organisation Mondiale de la santé animale (OIE) a repris une définition du bien-être animal, énoncée en 1979 par le Farm Animal Welfare Council (organisme consultatif indépendant de la Commission européenne), qui fait aujourd'hui référence. Cette notion y est définie par cinq engagements que l'éleveur doit prendre en compte (Cf. : le site du ministère de l'agriculture). Attardons nous sur le 4^{ème} engagement : les animaux doivent avoir la liberté d'exprimer des comportements normaux (grâce à un espace et à des équipements adéquats, et au contact avec des animaux de la même espèce). Le problème est de définir justement les dimensions de cet espace et ce que sont les équipements adéquats. Or, ce que les recherches ont montré c'est que l'irruption de cette définition du bien-être animal dans la controverse a été également un enjeu dans le positionnement professionnel d'éthologues. Il s'agissait, pour des professionnels ayant des compétences mal identifiées sur le marché de l'emploi de se rendre légitimes sur les questions du bien-être animal face aux vétérinaires. Ainsi, l'incertitude de cette notion a été amplifiée par un jeu de positionnements professionnels entre les experts. Plus généralement, cette incertitude, entretenue par l'existence de dissonances cognitives, peut être maintenue voire amplifiée dans certains cas par l'expertise qui ne peut jouer le rôle d'arbitre ou de juge en fournissant une réponse certaine permettant de mettre un terme à la controverse. Toutefois, à une échelle locale, les recherches ont montré que cette absence de réponse univoque n'est pas obligatoirement un handicap pour résoudre des épreuves. Ainsi, quand la question de l'impact d'un bâtiment d'élevage peut se poser à l'occasion d'un agrandissement ou d'une construction, l'incertitude des nuisances qui engendre de la défiance peut être compensée par la qualité des relations que l'éleveur entretient avec son voisinage. En d'autres termes, en

présence de profonds désaccords sur l'élevage, l'individu acquiert une autonomie pour se positionner face à une épreuve, ses choix sont alors influencés par ses préférences et ses croyances (Beck, 2003). Par exemple, nous avons pu montrer le lien entre les militants de la cause de l'animal d'élevage, qu'ils soient welfaristes ou abolitionnistes, et leur biographie. Mais, à l'échelle locale, la capacité de l'éleveur à faire baisser le niveau d'incertitude à travers les interactions sociales permet de construire des compromis locaux pour autant que l'éleveur soit bien intégré dans le tissu de relations sociales.

2. LES ENJEUX ET LES REPONSES DES FILIERES

L'objectif de cette seconde partie est de comparer les enjeux sociaux de la controverse et les réponses proposées par les filières pour en évaluer, en quelque sorte, leur pertinence. Face à cet objectif, je ferai juste une réserve introductive, étant extérieure à la filière, je ne peux avoir qu'un regard distancié et, qui plus est, en tant qu'universitaire, assez éloignée des expériences concrètes. Mon rôle consistera plutôt à vous proposer des pistes de réflexion pour rendre possible cette adéquation entre des enjeux et des réponses.

2.1. L'acceptabilité sociale

Le premier point que je souhaite aborder concerne la façon de porter un regard sur la controverse. En effet, cela fait maintenant quelque temps que les filières se posent la question du sens des remises en cause autour de l'élevage en termes d'acceptabilité sociale. Cette formule est d'ailleurs partagée par d'autres filières dans les pays européens et dans de nombreuses analyses de l'élevage. Je voudrais expliquer pourquoi je n'ai jamais parlé d'acceptabilité sociale et pourquoi cette façon de questionner les évolutions en cours est décalée par rapport aux enjeux d'une controverse. Dans la demande des filières, quand il est question d'interroger l'acceptabilité sociale de l'élevage, l'objectif est souvent de chercher des solutions pour rendre acceptable les pratiques d'élevage les plus contestées. Pour cela, il est demandé aux sciences sociales moins de cerner les consensus acceptables que de mesurer quantitativement et qualitativement la contestation des pratiques d'élevage à différentes échelles et sa robustesse. Toutefois, en se positionnant dans le débat en termes d'acceptabilité sociale, les filières, certes, prennent acte qu'il existe un débat, mais sans se départir de la position dominante qui est la leur dans la définition des modèles de production. Certes, des aménagements peuvent être fait, mais à la marge et uniquement pour rendre acceptable les pratiques d'élevages qui demeureront intensives (cf. : les aménagements des cages de poules pondeuses). Autrement dit, à travers la notion d'acceptabilité sociale, les filières se positionnent comme une des parties de la controverse voulant trouver des issues provisoires aux différentes épreuves.

Cette caractéristique de la notion d'acceptabilité sociale n'a pas comme seul effet de positionner une des parties prenantes de la controverse. Cette notion d'acceptabilité sociale favorise l'occultation d'un débat remettant trop fortement en cause les positions des parties porteuses du discours de l'acceptation sociale en déplaçant la controverse sur les conditions de la faisabilité de projets ou de pratiques contestées. Ainsi, par la question de l'acceptabilité sociale, le débat est orienté sur des pratiques particulières qui sont évitées ou améliorées, mais sans aborder la question de ce que peut être l'élevage aujourd'hui, empêchant du même coup, les filières d'accompagner les changements. L'exemple le plus caractéristique aujourd'hui concerne les super-exploitations de bovins dans lesquelles il est expliqué, dans de petites vidéos par exemple, que les bêtes sont élevées selon toutes les normes de bien-être animal et même plus dans certains cas. Ainsi, elles bénéficient de matelas dans leurs logettes ou de brosses rotatives automatiques pour les masser, bref, de tout le confort disponible aujourd'hui alors que la controverse questionne justement le principe même de ces super-concentrations de bovins, le fait qu'ils ne pâturent jamais, etc.. Il en est de même avec les ateliers volailles où l'éleveur pourra montrer qu'il a acheté le meilleur matériel avicole d'élevage et d'équipement pour être en conformité avec les normes sur le bien-être des poules pondeuses avec des cages comprenant un nid, des perchoirs et une aire de grattage et de picotage sans que la question de la faisabilité même de l'élevage en cage ne soit posée. Ainsi, cette notion d'acceptabilité sociale, en faisant tendre la controverse du côté d'une des parties prenantes, ne peut répondre à l'enjeu central de la controverse en elle-même et ne peut que résoudre que très provisoirement des épreuves localisées.

Plus largement, cette notion d'acceptabilité sociale ne traduit pas uniquement le point de vue d'une des parties prenantes, elle permet en plus d'organiser la controverse en fonction du point de vue de cette partie prenante. En effet, en étant portée par une des parties, la notion d'acceptabilité sociale introduit des asymétries entre les points controversés, certains devenant plus légitimes que d'autres. Or, les asymétries entre les positions participent à la cristallisation de la controverse donc à sa conflictualisation. Pour sortir de cette approche en termes d'acceptabilité sociale qui a plutôt tendance à accentuer la controverse, réfléchir à l'élevage à partir de la notion de controverse, comme on nous y invite aujourd'hui, permet tout d'abord de répondre aux enjeux d'un débat, c'est-à-dire à l'identification d'arguments pertinents. Penser en termes de controverse permet ainsi d'identifier les énoncés questionnant l'élevage et d'y apporter des réponses sans éviter les remises en cause qui gênent. Par exemple, j'ai été étonnée d'entendre à la radio en 2015, juste après la modification du code civil introduisant la notion de sensibilité animale, un

représentant professionnel national du monde agricole affirmer de façon véhémement son opposition à ce texte. En fait, la question n'était absolument pas celle-ci comme lui a d'ailleurs fait remarquer l'animateur de l'émission. Le texte était voté et il n'avait soulevé aucune contestation sociale dans l'espace public, bien au contraire. La question était de savoir comment le monde agricole répond au nouveau compromis qui se dessine derrière la reconnaissance de la sensibilité animale pour co-construire des nouveaux modèles d'élevage plus consensuels.

2.2. Normes sociales et normes règlementaires

Ce premier point en appelle un second qui concerne l'articulation entre les normes sociales et les normes professionnelles. En effet, comme il a été souligné, chaque éleveur peut être aujourd'hui confronté à une forme d'expression de la controverse s'il souhaite par exemple créer, agrandir ou transformer ses bâtiments d'élevage. Un des éléments fréquemment mis en avant par les éleveurs dès que des questions lui sont posées, c'est le fait qu'il respecte toutes les normes s'appliquant aux élevages, qu'elles soient environnementales, sanitaires ou bien qu'elles concernent le bien être animal. Certes, les filières ne sont pas directement responsables de l'existence de ces normes qui sont des textes règlementaires, mais elles sont mobilisées au moment de leur élaboration. Le point que je voudrais souligner est la divergence autour de la fonction de ces normes. Dans les entretiens avec les éleveurs, il apparaît souvent une incompréhension dès que le projet est contesté car, selon eux, et c'est le cas dans la plupart des cas, ils respectent scrupuleusement les normes. Ainsi, des bâtiments pour lesquels tout a été pensé, y compris l'intégration paysagère qui a été particulièrement soignée, peuvent faire l'objet de contestation. Ce que les recherches ont montré c'est que la réponse en termes de normes n'est pas suffisante en soi pour faire baisser les voix dissonantes dans tous les cas de figure et cela pour deux raisons.

La première raison concerne le sens que les parties en conflit affectent aux normes. Pour l'éleveur, la norme apparaît souvent comme une fin en soi, c'est-à-dire qu'à partir du moment où son élevage est conforme aux normes, il se comporte comme si le problème qu'il pose en termes d'impacts environnemental, de bien-être animal ou sanitaire était réglé. Or, ces normes règlementaires n'ont pas permis d'éviter des pollutions diffuses (Cf. : les bassins versants bretons en contentieux européen pour le problème de marées vertes), de diminuer l'antibiorésistance ou de mettre un terme aux pratiques douloureuses sur les animaux. Ainsi, là où l'éleveur pense, grâce aux normes, répondre aux attentes sociales, il ne fait que se conformer à une procédure administrative qui lui permet, certes, de ne pas à avoir à rendre des comptes devant la justice, mais sans forcément baisser la défiance à l'égard de son élevage. Ce malentendu sur le sens des normes règlementaires renvoie à

l'existence de différents systèmes de normes. L'éleveur répond à une demande sociale, fondée sur des normes sociales véhiculées par de nouvelles éthiques animales ou environnementales, par la mobilisation de normes juridiques et réglementaires qui, par ailleurs, n'ont pas réussi à répondre aux attentes sociales.

La seconde raison concerne, plus spécifiquement, l'enjeu du conflit. Les recherches ont montré qu'un des facteurs déterminants dans les conflits locaux autour de l'élevage, outre l'espèce animale élevée (le porc et la volaille sont à l'origine de plus de conflits que les bovins par exemple) est la nature de l'intégration de l'éleveur et de son élevage dans le tissu de relations sociales locales comme je l'ai souligné. En effet, les voisins plus ou moins proches de l'élevage ne connaissent pas forcément ce qu'est un élevage. Dès qu'ils entendent parler d'un agrandissement ou de la création de nouveaux bâtiments, ils adoptent une attitude de défiance. Si l'éleveur entretient de bonnes relations avec son voisinage plus ou moins proche, il sera confronté dès les prémices du projet aux questions de ses voisins auxquelles il pourra répondre pour rétablir une relation de confiance. En effet, les travaux sur la confiance ont montré que l'ignorance et l'incertitude engendrent plutôt la défiance. La confiance peut être rétablie si les différentes raisons de se méfier réussissent à être invalidées. J'ai ainsi fait un entretien auprès d'un éleveur à la tête d'une exploitation de plus de 300 hectares pour 600 vaches allaitantes qui n'a pas fait l'objet de remise en cause, mais l'éleveur a toujours pris soin d'expliquer ce qu'il faisait, d'organiser des journées portes ouvertes et de maintenir son exploitation dans un état irréprochable. Plus largement, l'éleveur doit penser aujourd'hui à l'intégration sociale de son élevage, ce que certains font déjà. Au-delà de la figure emblématique de Thierry Schweitzer en Alsace par exemple, beaucoup de projets d'élevage sont menés aujourd'hui en intégrant cette dimension par l'organisation de rencontres et de débats, mais les filières pourraient aujourd'hui accompagner les éleveurs dans cette démarche. Il ressort des entretiens que pour beaucoup d'entre eux la prise de parole en public, l'animation de réunions, pour des voisins plus ou moins proches et plus ou moins bienveillants, ne sont pas toujours faciles et sortent largement de leurs compétences routinières.

2.3. Les normes professionnelles

En ce qui concerne plus directement les normes professionnelles, le rôle des filières peut être déterminant dans l'élaboration de modèles de production répondant à l'ensemble des dimensions de la controverse. En effet, aujourd'hui, il existe des labels reconnus mais qui ciblent plutôt la qualité ou l'origine des produits comme le label rouge, les IGP (Indications Géographiques Protégées) ou les AOP-AOC. Le label AB lui est un peu différent puisque le

cahier des charges insiste plutôt sur le mode de production qui doit être respectueux des dynamiques naturelles. Ces labels sont gérés par un institut indépendant et contrôlés par des organismes reconnus. Toutefois, dans certains pays comme en Allemagne, par exemple, les filières créent leur propre démarche certifiée. Ainsi, un tiers des poulets de chair et 12 % des porcs ont été produits en 2016 dans le cadre de « l'initiative bien-être » lancée en 2015 par les filières avicoles et porcines allemandes. Son fonctionnement a été décrit par C. Roguet (2016). C'est une démarche intéressante car elle permet la valorisation du bien-être animal sans que cela n'augmente notablement le prix de la viande pour le consommateur alors que c'est justement l'augmentation des prix qui apparaît comme le facteur le plus limitant dans la valorisation de pratiques moins intensives. Pour cela, cette démarche associe producteurs, abatteurs et distributeurs autour de trois objectifs : *« permettre aux éleveurs d'investir pour le bien-être animal dans leurs élevages sans affecter leur compétitivité, éviter de nouvelles réglementations qui ruineraient toute possibilité de valoriser financièrement et médiatiquement les efforts consentis, et réconcilier l'élevage et la société. [Elle fonctionne comme suit]. Des éleveurs volontaires choisissent dans une liste des points à améliorer parmi lesquels, en porc, obligatoirement plus de surface par animal ou un accès permanent à de la paille. Leurs surcoûts sont compensés par des bonus versés par un fonds alimenté par les distributeurs partenaires. Quatre centimes d'euros sont prélevés sur chaque kilo de viande fraîche, saucisse et charcuterie, vendu dans le pays. Tous les consommateurs paient ainsi pour plus de bien-être animal. Dans les supermarchés ou les restaurants, les produits des élevages participant à l'initiative ne se démarquent pas des autres. Il n'y a ni étiquetage ni différence de prix »* (Roguet et al., 2016). Ainsi, la plus-value sociale est prise en charge par les distributeurs et pas par le consommateur. Cette démarche présente deux problèmes pour ses détracteurs : son cahier des charges, peu contraignant, ne répondrait que partiellement aux attentes sociales et l'absence d'étiquetage ne permet pas de distinguer les produits issus d'élevages « bien-être », des autres. Si on développe cet exemple, on se rend compte que pour répondre à la controverse autour du bien-être animal, des règles ont été édictées à l'échelle européenne depuis les années 90, puis internationale, à la demande des États membres de l'OIE, quand il a été constaté que la santé des animaux est une composante de leur bien-être. L'Europe puis les États membres ont ensuite publiés leurs propres normes. Dans certains pays, à ces textes réglementaires se surajoutent des labels pris en partie en charge par les filières, mais aussi par les associations militant pour la reconnaissance du bien-être animal ou par des associations de consommateurs. Aux Pays-Bas, par exemple, le label *Beter Leven* (vie meilleure) a été créé en 2007 par la principale association de

protection animale du pays, *Dierenbescherming*, pour la viande et les œufs. Ce label repose sur un système d'étoiles dont le nombre augmente avec le bien-être animal¹ (Roguet et al., 2016). Si leurs parts de marché sont parfois très limitées, l'intérêt de tels labels est de pouvoir répondre à la controverse en montrant qu'il est possible de changer les modèles d'élevage. Toutefois, la prise en charge par les filières des labels leur permettrait de montrer, en plus, qu'elles sont en capacité d'apporter des réponses concrètes à la controverse et non plus de se positionner dans des rapports de force durant les épreuves. De plus, cette certification, pour autant qu'elle ne se traduise pas par une hausse brutale et significative du prix du produit, permettrait de rendre le consommateur arbitre de la controverse. Le problème est alors de définir le coût économique de la plus-value éthique du produit. En effet, toujours aux Pays-Bas, la campagne très médiatique de l'ONG Wakker Dier contre le *Pflopkip* (le poulet standard qui grossit si vite qu'il ne tient plus sur ses pattes) a conduit la filière avicole et les distributeurs néerlandais à arrêter sa commercialisation en 2016, sur le marché domestique frais au seul profit du « poulet de demain ». Mais, là encore, le cahier des charges est très peu contraignant.

CONCLUSION

La controverse autour de l'élevage renvoie à un double mouvement se déroulant, à la fois, sur un temps long, mais empruntant ça et là des voies plus contingentes et transitoires à travers les épreuves de la controverse. Ainsi, la diminution de la consommation de la viande semble un élément stabilisé maintenant en France, même si elle croît toujours à l'échelle mondiale. De même, le recours à des produits plus naturels, des produits du terroir, va de pair avec le développement de nouveaux modes de consommation autour d'une agriculture de proximité avec, en particulier, les AMAP ou le mouvement pour une agriculture paysanne. Ces pratiques de consommation renvoient au développement d'éthiques et de valeurs nouvelles. Quelles soient biocentrées, antispécistes ou équitables, ces valeurs offrent une justification éthique à de nouveaux modèles de consommation alimentaire. Comme nous l'avons vu, ces éthiques ont vu le jour souvent au XIX^e siècle, c'est uniquement leur réactualisation qui les font apparaître sous un nouveau jour. Ce qui renforce la controverse autour de l'élevage, c'est le fait que ces éthiques d'abord distinctes convergent aujourd'hui pour remettre en

cause, plus particulièrement, le modèle intensif d'élevage.

Si nous reprenons le 4^{ème} engagement définissant le bien-être animal, celui qui précise que les animaux doivent avoir la liberté d'exprimer des comportements normaux, et que nous le confrontons aux pratiques intensives les plus contestées, nous constatons qu'il permet de faire converger les éthiques définissant en quelque sorte un nouveau contrat social donnant droit aux humains de se nourrir d'animaux d'élevage. En effet, en rendant les élevages plus extensifs les problèmes liés au travail des éleveurs, au bien-être des animaux et à l'impact environnemental et sanitaire des élevages trouveraient un début de réponse. En d'autres termes, la condition pour continuer à se nourrir d'animaux d'élevage serait d'être en capacité de les traiter correctement en leur offrant la possibilité de laisser libre cours à leurs comportements naturels. Les protéger, les nourrir et les abreuver, en prendre soin pour qu'ils ne se blessent pas et qu'ils puissent se reposer, les soigner et prévenir les maladies ne serait plus suffisant dans la mesure où ces engagements ne permettent pas de résoudre la controverse autour de l'élevage. Dans certains pays d'Europe, c'est cet objectif qui pourrait être atteint par une certification graduée des produits animaux.

¹ Selon C. Roguet (2016), par rapport au mode de production conventionnel, les exigences du niveau « 1 étoile » sont assez limitées pour permettre au plus grand nombre d'éleveurs d'entrer dans cette démarche de progrès, et limiter les surcoûts et donc l'augmentation du prix de vente au consommateur. Le maximum, trois étoiles, correspond à la production biologique ou à des cahiers des charges exigeants de type Label Rouge.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Beck U., 2003. *La société du risque, Sur la voie d'une autre modernité*, Paris, Champs Flammarion.
- Busca, D., 2010. *L'action publique agri-environnementale, La mise en œuvre négociée des dispositifs*, Paris, L'Harmattan,
- Delanoue E., Roguet C., 2015. Acceptabilité sociale de l'élevage : recensement et analyse des principales controverses à partir des regards croisés de différents acteurs. *INRA Prod. Anim.*, 2015, 28(1), 39-50.
- Francione G., 1995. *Animals, Property and the Law*, Philadelphie, Temple University Press.
- Gervais M., Tavernier Y., Jolivet M., 1976. *Histoire de la France rurale*, tome 4, Paris, Seuil.
- Lemieux C., 2007. À quoi sert l'analyse des controverses ?, *Mil neuf cent*, Vol. 1, n°25.
- Micoud A., 1993. Vers un animal sauvage : le sauvage «naturalisé vivant» ?, *Natures, sciences et sociétés*, Vol. 1, n°3.
- Regan T., 1983. *The Case for Animal Rights*, Berkeley, University of California Press.
- Singer P., 1975. *La libération animale*, Paris, Payot, coll. "Petite Bibliothèque Payot", 2012.
- Roguet C., Neumeister D., Magdelaine P., Dockès A.-C., 2016. Les débats de société sur l'élevage en Allemagne, au Danemark et aux Pays-Bas : analyse, confrontation avec le sud de l'UE et enseignements. *Notes et études socio-économiques*, n°40, 65-91.

LA BIOSECURITE : EVALUATION ET GESTION DES RISQUES

Racicot Manon¹, Vaillancourt Jean-Pierre²

1 AGENCE CANADIENNE D'INSPECTION DES ALIMENTS, SAINT-HYACINTHE (Québec), J2S 7C6, Canada

2 DEPARTEMENT DE SCIENCES CLINIQUES, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Montréal, C.P. 5000, SAINT-HYACINTHE (Québec), J2S 7C6, Canada.

Manon.Racicot@inspection.gc.ca

Jean-pierre.vaillancourt@umontreal.ca

RESUME

Afin de mettre en place un programme de biosécurité efficace, il faut d'abord être en mesure d'évaluer correctement le risque. Il faut identifier le danger, le caractériser, établir le degré d'exposition probable d'un troupeau ou d'une région à ce danger et évaluer les conséquences de cette exposition afin de pouvoir adéquatement caractériser le risque. Les agents pathogènes sont multiples et l'émergence de nouvelles problématiques exigent de revisiter fréquemment notre évaluation du risque à l'échelle de la ferme et de la région. Les modes de transmission d'un agent infectieux sont également nombreux: les humains et leurs véhicules, l'environnement, les intrants, les extrants, les rongeurs, les insectes, les aérosols, etc. Les protocoles de biosécurité doivent inclure plusieurs mesures pour contrer ces divers modes de transmission. Sur la ferme, les mesures de biosécurité visent à prévenir la contamination du site (bioexclusion ou biosécurité externe), éviter la propagation entre différents groupes d'animaux d'un pathogène déjà présent dans la ferme (biogestion), et empêcher que ce pathogène puisse se propager à d'autres fermes (bioconfinement ou biosécurité interne). Pour ce faire, le site de production doit être fractionné en zones. Ce concept de zonage est important lorsqu'on met en place des mesures en lien avec la gestion des oiseaux, de l'eau, des visiteurs, de l'équipement, des oiseaux morts, du fumier, des insectes et des animaux sauvages. Les compagnies et les fermes d'une même région, surtout en zone de forte densité d'élevages se doivent également de partager certaines informations afin de contrôler les maladies contagieuses jugées importantes. Une haute observance des mesures de biosécurité à la ferme et à l'échelle régionale est essentielle à la réussite d'un programme de biosécurité. Le leadership nécessaire pour son application revient principalement aux membres de l'industrie, c'est-à-dire les intervenants des différentes filières.

ABSTRACT

Biosecurity : Assessing and managing risks

In order to put in place an effective biosecurity program, one must first be able to properly assess risk. Danger must be identified, characterized, the likely degree of flock or regional exposure to this danger must be determined, as well as resulting consequences in order to correctly characterize risk. There are various pathogenic agents and emerging problems requiring frequently revisiting this risk assessment at the flock, as well as at the regional levels. Modes of transmission of infectious agents are also numerous: personnel and their vehicles, the environment, farm inputs and outputs, rodents, insects, airborne, etc. Biosecurity protocols must include a series of measures in order to counter these various modes of transmission. Farm biosecurity measures aim at preventing site contamination (bioexclusion or external biosecurity), preventing the propagation of pathogens between flocks on the same farm (biomanagement), and avoiding transmission to other farms (biocontainment or internal biosecurity). To achieve this, the production site must be divided into zones. The zoning concept is important when putting in place measures dealing with flock management, water, visitors, equipment, dead birds, manure, insects and wild animals. Companies and farms in a given region, mainly in high farm density areas, must also share some information in order to control important contagious diseases. High biosecurity compliance at the farm and regional levels is essential to the success of a biosecurity program. The necessary leadership to accomplish this mainly rests with members of the industry.

INTRODUCTION

La biosécurité est définie comme étant les mesures ou plans de santé conçus afin de protéger une population contre les agents infectieux et transmissibles. Quel que soit le type de production animale, certains principes de base doivent être respectés, et conduisent à l'évaluation des facteurs de risque et à leur gestion. Ceci est d'autant plus important qu'au cours des dernières décennies, on note l'émergence de plusieurs nouvelles maladies infectieuses ou la réémergence de maladies connues à cause de souches plus pathogènes (Barnes et Vaillancourt, 2003). L'influenza aviaire est un exemple particulièrement troublant, en particulier en France au cours des deux dernières années.

1. ÉVALUATION DU RISQUE

Pour qu'une maladie infectieuse se manifeste, les agents pathogènes doivent entrer en contact avec des animaux sensibles, c'est-à-dire des animaux non immunisés ou dont l'immunité est limitée. La transmission a lieu suite à des contacts directs ou indirects. Les contacts directs font suite à des relations étroites entre un animal susceptible et un animal infecté présentant ou non des signes cliniques (état de porteur). Les contacts indirects ont lieu grâce à des vecteurs. Les personnes, des animaux, l'équipement, les véhicules, les aliments, l'eau, la litière et autres peuvent transporter et transmettre de façon mécanique des microorganismes. Beaucoup plus rarement, la transmission peut se faire par un vecteur biologique, tel un insecte, lors de maladies vectorielles.

1.1. Identification du danger

Il existe des différences de vulnérabilité entre les fermes face à l'introduction de pathogènes infectieux selon les interactions entre le personnel, le type de production, la densité d'élevage, les pratiques de gestion, la fréquence et le type de contacts avec les animaux. Suite à l'épidémie d'influenza aviaire hautement pathogène aux Pays-Bas en 2003, une étude a démontré une augmentation significative du risque pour les élevages de poules commerciales comparativement aux autres types

de production. Les auteurs associent ce risque accru au nombre élevé de contacts entre ces fermes, notamment par le biais du transport des œufs (Thomas et al., 2005). Avec l'intensification de la production française de canards gras, l'importance des rimerelloses du canard mulard n'a cessé de croître (Brugère-Picoux et al. 2015). Ainsi, l'identification du danger pour un éleveur se basera sur les maladies présentes dans le troupeau ou dans la région, les maladies à éradiquer (et pour lesquelles un programme de certification existe), les agents pathogènes alimentaires, et, finalement, les maladies à déclaration obligatoire, telle l'influenza aviaire H5 ou H7. Les caractéristiques de la ferme (aménagement : entrées, bâtiments, etc.; trafic sur le site, le type de production), et la densité régionale d'élevages sont également des déterminants du risque d'introduction et de diffusion de pathogènes infectieux.

1.2. Caractérisation du danger

La caractérisation du danger comprend, pour un agent infectieux donné, les sérotypes problématiques et leurs facteurs de virulence. À cause de préoccupations grandissantes en terme de santé publique, les agents zoonotiques, comme par exemple *Campylobacter jejuni* et *Salmonella Enteritidis*, prennent une importance particulière, même si l'impact sur la santé du cheptel peut paraître négligeable. Il est primordial d'avoir accès aux tests diagnostiques nécessaires pour tous les pathogènes pouvant préoccuper les producteurs.

1.3. Caractérisation de l'exposition

Il s'agit ici d'être en mesure d'établir la prévalence des agents pathogènes d'intérêt dans le troupeau, mais également au niveau de la région. Une exposition suffisante afin de transmettre l'infection dépendra de plusieurs facteurs, dont principalement : la souche de l'agent infectieux, sa dose infectante, sa vitesse de multiplication et sa résistance dans l'environnement.

1.4. Conséquences de l'exposition

Les conséquences de l'exposition dépendront de la virulence de la souche de l'agent infectieux et

de la quantité du microbe ingéré. Évidemment, l'état de santé de l'hôte, son statut immunitaire et vaccinal auront un impact sur l'expression de la maladie. Mais un grand nombre et une grande diversité de pathogènes en contact étroit avec l'hôte produiront une pression d'infection pouvant dépasser la capacité de l'hôte à combattre le ou les pathogènes. En résultera des taux de morbidité et de mortalité variables selon les caractéristiques du ou des agents infectieux et selon l'état de santé du troupeau.

1.5. Caractérisation du risque

La caractérisation du risque tiendra compte des points soulevés ci-dessus. Toutefois, l'appréciation du risque (faible, modéré, élevé) dépendra principalement de la croyance du producteur concernant la probabilité que son troupeau devienne infecté et également du degré de sévérité de la maladie en cas d'infection. Ainsi, la gestion du risque sera intimement liée au niveau de risque perçu par le producteur.

2. GESTION DU RISQUE

Sur la ferme, les mesures de biosécurité visent à prévenir la contamination du site par des pathogènes (bioexclusion ou biosécurité externe), éviter la propagation entre différents groupes d'animaux d'un pathogène déjà présent dans la ferme (biogestion), et empêcher que ce pathogène ne puisse se propager à d'autres fermes (bioconfinement ou biosécurité interne). Pour ce faire, le site de production doit être fractionné en zones. Certaines mesures de biosécurité telles que l'innocuité des aliments, le nettoyage et la désinfection de l'équipement et des bâtiments sont importantes pour maintenir à la fois la biosécurité interne et externe.

La biosécurité peut également se diviser en quatre niveaux : local, régional, national et international. Au niveau de la ferme (local), le but est de garder un élevage exempt de maladies et de minimiser les impacts lorsque la maladie se manifeste. Au niveau régional, les objectifs principaux sont la surveillance de maladies spécifiques et le développement de stratégies pour les contrôler. Des plans et des mesures de contrôle sont également élaborés pour circonscrire les épidémies. Finalement, à l'échelle nationale et internationale, la biosécurité tente principalement de prévenir l'introduction de maladies animales exotiques, de

contrôler les importations illégales et d'éduquer le public (Dargatz et al., 2002; Hueston et Taylor, 2002; Gunn et al., 2008).

Pour être efficaces, les protocoles de biosécurité doivent inclure plusieurs mesures pour contrer les divers modes de transmission. Il peut être difficile d'évaluer ces mesures indépendamment les unes des autres, puisqu'elles sont plus efficaces lorsqu'elles sont appliquées conjointement (Bojesen, 2003). Par contre, certaines combinaisons de mesures de biosécurité sont plus efficaces que d'autres lorsque l'on tient compte de l'agent pathogène, de la susceptibilité des animaux, de la pression d'infection et des installations sanitaires de la ferme. Par exemple, dans une étude expérimentale, la combinaison du lavage des mains et du port de vêtements propres n'est pas suffisante pour éviter la transmission d'*Escherichia coli* chez les porcs. Par contre, la combinaison d'une douche et du port de vêtements propres prévient cette transmission (Amass et al., 2003a). Suite à l'élaboration et la mise en place d'un protocole de biosécurité, le défi majeur demeure l'application constante et quotidienne de ces mesures.

Les modes de transmission sont multiples: les humains et leurs véhicules, l'environnement, les intrants, les extrants, les rongeurs, les insectes, les aérosols, etc. Selon l'agent pathogène, ces modes de transmission seront plus ou moins importants. Par exemple, selon le modèle de dispersion de l'influenza aviaire faiblement pathogène H7N2 en Virginie en 2002, la transmission semblait être associée aux intervenants avicoles, à l'équipement contaminé et autres vecteurs mécaniques, plutôt qu'aux aérosols (Akey, 2003).

2.1. Oiseaux

Aucune mesure de biosécurité ne peut contrer la contamination d'un site si les oiseaux arrivent à la ferme déjà infectés. C'est pourquoi il est important qu'un ou des certificats sanitaires témoignent de la santé des reproducteurs. Les oiseaux doivent également provenir d'un couvoir certifié. Si des oiseaux doivent être ajoutés au site de production, il faut s'assurer de la compatibilité entre les statuts vaccinaux et de santé des oiseaux présents sur le site et ceux ajoutés.

2.2. Site multi-espèces

Les sites multi-espèces représentent évidemment des sites à risque plus élevé de transmission d'agents infectieux puisque certaines maladies peuvent se transmettre entre différentes espèces (ex: influenza aviaire, maladie de Newcastle) et le risque de développement d'antibiorésistance est également plus élevé (ex: partage de la litière usagée) (Letellier et al. 2011). Il est donc préférable d'élever une seule espèce pour un site donné. S'il est impossible de se limiter à une espèce sur un site, il est très important d'observer les mesures de biosécurité de base entre chaque espèce (voir en particulier la section sur les visiteurs et employés, ci-dessous).

2.3. Source d'eau

En règle générale, les puits de surface représentent un plus grand risque que les puits artésiens et ceux-ci sont un plus grand risque qu'un système de distribution par réseau public. Les poulets et les dindes sont trois fois plus à risque d'infection à *Campylobacter* lorsque l'eau n'est pas désinfectée. Une étude a d'ailleurs démontré que la chloration de l'eau en plus du nettoyage et de la désinfection du système d'abreuvement a permis de diminuer la proportion d'oiseaux colonisés par *Campylobacter* de 81% à 7% (Pearson et al., 1993). Il est donc judicieux d'analyser l'eau au moins une fois par an, de maintenir un programme de désinfection en continu de l'eau et de nettoyer et désinfecter les lignes d'eau entre les bandes. Pour les troupeaux gardés à l'extérieur, il est important d'éviter que les oiseaux sauvages aient un accès facile aux abreuvoirs des oiseaux domestiques.

2.4. Visiteurs et employés

Il importe en premier lieu de tenir un registre des visiteurs pour assurer une traçabilité des entrées des visiteurs sur la ferme et dans les bâtiments d'élevage. Le contenu du registre peut inclure : date, heure, noms, but de la visite, bâtiment visité, historique des visites précédentes, mesures de biosécurité appliquées. Le registre est particulièrement important lors d'une épidémie telle que l'influenza aviaire. Durant un tel épisode, il permet une traçabilité rapide et efficace facilitant le contrôle et l'éradication de la maladie (Barcelo et Marco; 1998; England, 2002). Le registre peut se trouver à différents endroits tels qu'à l'entrée de chacun des

bâtiments, à l'entrée d'un bâtiment principal ou à l'entrée du site de production. L'endroit choisi doit favoriser l'observance. Dans le cadre du contrôle d'une maladie contagieuse importante (syndrome entérique mortel du dindonneau), une étude en Caroline du Nord a évalué l'observance d'un nouveau système d'enregistrement à l'entrée des fermes appartenant à une compagnie intégrée. Tout le personnel et les visiteurs, incluant l'éleveur, les membres de sa famille, les employés de la ferme, les techniciens, les vétérinaires et les livreurs d'aliments devaient signer à chaque entrée. Afin d'évaluer l'observance, une caméra cachée a été installée sur trois fermes permettant une surveillance 24 heures par jour pendant sept jours consécutifs. L'observance du registre variait entre 7 et 49%, ce qui est très faible (Vaillancourt et Carver, 1998). Un registre virtuel utilisant une technologie de géolocalisation (GPS) est maintenant une alternative intéressante, telle que l'outil «*Be seen, be safe*» (<https://beseenbesafe.ca/>). Essentiellement, une application installée sur le téléphone des intervenants avicoles permet de détecter automatiquement, et en temps réel, lorsque ces personnes arrivent et quittent le site de production.

Les bottes des visiteurs et des employés peuvent mécaniquement propager des agents pathogènes entre les bâtiments d'une ferme et d'une ferme à l'autre. Par exemple, la bactérie *Campylobacter* peut être introduite dans un élevage via les bottes, les vêtements et l'équipement suite à une contamination environnementale (Newell, 2003). D'ailleurs, une étude démontre que les bottes sont négatives pour *Campylobacter* jusqu'à ce que le lot d'oiseaux devienne positif (Gregory et al., 1997). Une fois contaminées, les bottes peuvent propager les pathogènes sur des distances non négligeables. Kirk et al. (2003) ont expérimentalement étudié la distance sur laquelle on pouvait retrouver des bactéries *Escherichia coli* résistantes à l'ampicilline après avoir marché avec des bottes contaminées sur deux types de sol: une surface de plastique et une surface de ciment. Suite à une contamination des bottes avec une charge de 10^8 *E. coli* par gramme, il a été possible d'isoler ces bactéries au niveau du sol jusqu'à une distance de 121,9 mètres pour la surface de plastique et 45,7 mètres pour la surface de ciment. Lorsque la charge bactérienne est de 10^2 , la distance est respectivement de 68,8 mètres et de 30,5 mètres pour la surface de plastique et la surface de ciment. Pour diminuer

les risques associés à la transmission de pathogènes par les bottes, il est recommandé, entre autres, de dédier une paire de bottes par bâtiment (Amass et al., 2000a). Une autre étude identifie la désignation de bottes pour chaque bâtiment comme le facteur le plus important pour protéger les productions de poulets de chair danoises d'une infection par *Campylobacter* (Newell, 2003). Par ailleurs, le port de bottes et le changement de vêtements à l'entrée des bâtiments sont significativement associés à une plus faible utilisation d'antimicrobiens dans les troupeaux de dindes en France (OR=2,7; IC95% : 1,2-6,2) (Chauvin et al., 2004). Pour faciliter l'hygiène des bottes, assurer une bonne observance ou combler un manque d'expérience, plusieurs fermes offrent aux visiteurs des pédisacs plutôt que des bottes de caoutchouc lavables. Par contre, aucune étude n'a évalué la durabilité et la résistance des bottes de plastique. Les chercheurs recommandent donc que ces bottes ne soient pas portées par les employés de ferme, puisqu'elles ne sont pas suffisamment durables (Poss et al., 1998; Amass et al., 2000a; Racicot et al., 2012a).

La littérature sur l'efficacité des pédiluves est souvent limitée aux avis des auteurs sur la façon de l'utiliser. Cette mesure de biosécurité ne fait pas l'unanimité et plusieurs se questionnent quant à son utilité. L'étude d'Evans et Sayers (2000) démontre que les pédiluves peuvent retarder de façon significative la colonisation par *Campylobacter*. Par contre, d'autres études n'ont pas trouvé de protection significative associée aux pédiluves. C'est le cas de l'étude sur les facteurs de risque de *Campylobacter* réalisée auprès de 75 fermes de poulets de chair en France (Refrégier-Petton et al., 2001). D'autre part, des études démontrent les risques associés à leur mauvaise utilisation. En effet, les pédiluves peuvent être une source de contamination et de développement de résistances bactériennes (Langsrud et al., 2003). Amass et ses collègues ont également démontré en 2001 que l'usage d'un pédiluve pendant deux minutes avec un désinfectant à large spectre (monopersulfate de potassium (22,5%), acide sulfamique (5%), acide malique (10%)) n'était pas efficace si les matières fécales n'étaient pas préalablement enlevées. C'est donc dire que, si les pédiluves peuvent être efficaces, cette efficacité dépend de conditions d'utilisation rarement retrouvées dans des élevages commerciaux.

Outre les bottes, les employés et les visiteurs peuvent transporter des pathogènes sur leurs mains après avoir manipulé des animaux ou de l'équipement. Le lavage des mains est également important pour prévenir la transmission des maladies zoonotiques. Le but du lavage des mains est de réduire la charge microbienne. Pour ce faire, plusieurs produits sont disponibles. Un assainissant réduit la charge microbienne et évite sa multiplication, comparativement à un désinfectant qui détruit les microorganismes (Saif et al., 2008). Une étude a évalué l'efficacité de deux différents produits pour se laver les mains: de l'eau et du savon comparativement à du gel à base d'éthanol. Les participants à cette étude lavaient leurs mains après avoir manipulé des animaux d'exposition. Les résultats démontrent que les deux produits ont une efficacité semblable pour réduire le compte bactérien total et les coliformes (Davis et al., 2005). Les assainissants ont également une action viroicide. En effet, il a été démontré qu'ils peuvent éliminer le metapneumovirus aviaire et le virus de la maladie de Newcastle sur des mains expérimentalement contaminées, et ce, une minute après l'application (Patnayak et al., 2008). Les ramasseurs de volaille se contaminent beaucoup les mains dans le cadre de leur travail. Ils peuvent ainsi agir comme vecteur mécanique et transmettre des maladies infectieuses d'une ferme à l'autre. Il y a aussi un enjeu de santé publique. Une étude par Racicot et al. (2013) a évalué l'efficacité de différents protocoles visant à décontaminer les mains: eau et savon; crème dégraissante; lingette de main imbibée d'un désinfectant; un gel à base d'alcool était également appliqué sur les mains après chaque procédure de nettoyage. La décontamination des mains uniquement à l'aide du gel à base d'alcool a également été évaluée. Pour la réduction des coliformes, il n'y avait aucune différence entre les quatre protocoles si les mains n'étaient que légèrement ou modérément contaminées. Lorsque les mains étaient très contaminées, le gel à base d'alcool employé seul était moins efficace que la crème dégraissante suivie du gel. Pour ce qui est de la réduction du nombre total de bactéries aérobies, il n'y avait aucune différence entre les protocoles lorsque les mains étaient peu contaminées. Le protocole eau et savon suivi du gel était plus efficace que la lingette lors de contaminations modérée et élevée. Tous ces protocoles semblaient efficaces contre les salmonelles. Donc, lorsque les mains sont modérément ou très contaminées, il est important de les nettoyer d'abord avec de l'eau et du savon

ou une crème dégraissante avant d'appliquer un gel à base d'alcool. Lorsque questionnés concernant leur préférence, les ramasseurs préféraient de l'eau chaude et du savon à la crème dégraissante.

Après le lavage, il est nécessaire d'assécher les mains. En effet, lorsque des objets sont touchés par des mains mouillées, on note un transfert important de microorganismes vers ces objets. Le séchage réduit cette translocation bactérienne d'au moins 94% (Patrick et al., 1997). Ainsi, pour éviter toute contamination croisée, le séchage des mains après les avoir lavées est nécessaire. L'emplacement des lavabos, la disponibilité des produits et du papier et le type de produits sont des éléments importants pour encourager un lavage des mains fréquent et approprié (Garner et Favero, 1986). Une autre mesure d'hygiène par rapport aux mains est le port de gants. Il importe d'en faire un usage unique, puisque les microorganismes adhèrent aux gants même si ceux-ci sont nettoyés et séchés. Un lavage des mains est tout de même nécessaire après le retrait des gants. En effet, lorsque des gants expérimentalement contaminés sont retirés, jusqu'à 50% des mains sont souillées (Doebbeling et al., 1988).

Les vêtements peuvent transporter mécaniquement des microorganismes. En effet, Goodwin (1985) et Christensen (1994) ont démontré que différents mycoplasmes peuvent survivre sur les vêtements entre un et six jours. Poss (1998) recommande que les employés portent des vêtements et des bottes propres et soient assignés à une seule ferme par jour. D'autres auteurs recommandent que les revêtements soient désignés à chacun des bâtiments (Callan et Garry, 2002). Le port de vêtements jetables est parfois recommandé, particulièrement pour les travailleurs assignés au nettoyage et à la désinfection des bâtiments (De Benedictis et al., 2007). Dans le milieu avicole, le port de bottes et de cotte réduit le risque d'introduction du virus de la laryngotrachéite (Zellen et al., 1984).

Outre l'hygiène des bottes, des mains et des vêtements, certaines fermes vont également exiger un temps de retrait entre deux visites de ferme. Certains auteurs mettent en doute la nécessité d'avoir un temps de retrait entre deux visites, dès lors que la biosécurité soit efficace pour prévenir la transmission (Amass et al., 2003b et 2004). Il faut tout de même noter que

ces études ne tiennent pas compte de la densité d'élevages, de la pression d'infection, du manque d'observance, de la susceptibilité des animaux et des installations sanitaires souvent sous optimales. Ainsi, un temps de retrait d'une journée ou deux peut être utile lorsqu'une application adéquate des mesures de biosécurité n'est pas garantie.

L'application méthodique du protocole de biosécurité relié à l'entrée et la sortie des bâtiments d'élevage est essentielle. Pour éviter les contaminations croisées, un certain ordre dans l'application des mesures doit être respecté. Ceci fut démontré lors d'une investigation reliée à une épidémie de cryptosporidiose dans une ferme école. Les causes d'infection furent reliées au fait que les étudiants lavaient leurs mains avant de retirer leurs vêtements et leurs bottes. Certains asséchaient même leurs mains sur les vêtements souillés (Kiang et al., 2006). Pour éviter ces contaminations croisées, il est nécessaire de fournir un environnement permettant une application ordonnée des mesures d'hygiène demandées. Une conception suggérée pour l'entrée des bâtiments d'élevage est une entrée de type danoise avec trois zones : une zone propre, une zone grise ou intermédiaire et une zone contaminée. La zone contaminée, près de la porte extérieure, sert à retirer son manteau et à signer le registre des visiteurs. Il est donc recommandé d'avoir des crochets ou des casiers, ainsi qu'un crayon avec le registre dans cette section. En passant de la zone contaminée à la zone grise, les souliers personnels sont retirés. Dans la zone grise, le lavage des mains est effectué. Il est recommandé que cette zone soit munie d'un lavabo, idéalement avec de l'eau chaude, de savon liquide, d'essuie-mains en papier et d'une poubelle. De la zone grise à la zone propre, les individus mettent les bottes de la ferme désignées pour ce bâtiment ou les pèdisacs (si le visiteur conserve ses souliers). Finalement, la zone propre sert à appliquer les autres mesures de biosécurité telles que le port de cotte et le port du filet pour les cheveux (charlotte). Une approche à deux zones peut aussi être envisagée (Hansson et al. 2007). Les résultats d'une étude menée auprès de 88 producteurs de poulets de chair au Danemark démontrent l'importance d'avoir des barrières sanitaires telle qu'un sas sanitaire avec un banc pour prévenir l'introduction de pathogènes. Le principe est de séparer la zone contaminée de la zone propre par un banc contraignant le personnel et les visiteurs à faire un changement de bottes et de vêtements

en passant par-dessus cette barrière. Tel que le démontre le tableau 2, l'absence de barrière sanitaire était un facteur de risque important pour l'introduction de la *Campylobacter* (Hald et al., 2000; Newell et Fearnley., 2003).

Observance et stratégies d'intervention

L'application constante des mesures de biosécurité est essentielle au succès de tout type de production animale. Cependant, les mesures de biosécurité sont souvent peu appliquées en production avicole (Nespeca et coll., 1997; Vaillancourt and Carver, 1998; Van Steenwinkel et coll., 2011; Racicot et coll. 2011, 2012a). Haynes et ses collègues (1979) définissent l'observance comme étant le comportement d'une personne (en termes de prendre des médicaments, de suivre des régimes ou d'exécuter des changements de style de vie) coïncidant avec la recommandation médicale. La mesure de l'observance est le rapport des recommandations appliquées sur celles prescrites. En terme de biosécurité, on pourrait définir l'observance comme étant le rapport des mesures de biosécurité appliquées sur celles exigées.

L'étude de Racicot et al. (2011 et 2012ab) a décrit l'application des mesures de biosécurité à l'entrée et à la sortie de 24 bâtiments d'élevages avicoles au Québec à l'aide de caméras cachées. Basés sur les résultats du groupe contrôle, 44 erreurs de biosécurité différentes ont été observées à l'entrée et la sortie des bâtiments. La plupart étaient reliées à la délimitation des zones (propre versus contaminée). La nature et la fréquence des erreurs suggèrent un manque de compréhension des principes de biosécurité. Le visionnage des vidéos a révélé 3055 visites par 277 individus différents. L'effet des audits et de caméras visibles sur l'observance a été étudié, de même que les déterminants de l'observance et la relation entre les traits de la personnalité, l'expérience, l'éducation et l'observance. Les résultats ont démontré que les audits réalisés pour cette étude n'avaient pas d'impact sur l'observance des employés. Les caméras visibles ont eu un impact, à court terme, sur le port de bottes et le respect des zones durant la visite. Par contre, six mois plus tard, l'observance avait significativement diminué, au point de ne plus être statistiquement plus élevée que le groupe contrôle. La durée (longue) et le moment de la visite (matin), la présence de l'éleveur ou d'un observateur, la conception de l'entrée (facilitant l'application des mesures), le nombre de

bâtiments, le nombre de mesures de biosécurité exigé, le type de bottes, et être membre de la famille de l'éleveur étaient significativement associés à l'observance de la biosécurité. Finalement, trois traits de la personnalité étaient associés à l'observance: sens des responsabilités, individu orienté vers l'action et complexité (la personne préfère une approche logique et rationnelle et l'utilisation de stratégies complexes), de même que le nombre d'années d'expérience et le niveau d'éducation.

Le niveau de risque connu de transmission de maladies semble favoriser une meilleure adoption des mesures (Dorea et al., 2010). On note de plus l'importance de fournir à chaque employé les plans écrits de tous les aspects de la biosécurité et d'assurer un programme de formation continu (England, 2002). Pour une maladie donnée, le risque d'infection influence la mise en place des mesures de biosécurité. Le retour sur l'investissement augmente alors proportionnellement avec le risque (Gifford et al. 1987). Par contre, la perception du risque diffère souvent grandement entre les producteurs rendant l'uniformité de l'application de la biosécurité difficile. La perception du risque est cependant intimement liée à la conception et à la compréhension des principes de biosécurité et à l'incidence locale des maladies. La perception du risque est également influencée par le mouvement d'animaux et des personnes. Ainsi, les producteurs de petites fermes ou de fermes familiales se considèrent moins à risque par rapport aux fermes d'élevages intensifs ou aux fermes intégrées (Larsen, 2009).

Outre la perception du risque et les facteurs mentionnés ci-dessus, d'autres facteurs individuels peuvent influencer l'application des recommandations. Il s'agit des attitudes, de l'expérience avec la maladie, et des croyances personnelles au sujet de la santé des animaux, de l'incidence, de la prévention et du contrôle des maladies (Palmer et coll., 2009).

Haynes et ses collègues (1979) décrivent différentes stratégies pour améliorer l'observance des recommandations médicales. Le simple fait d'associer la recommandation médicale à une habitude quotidienne (appelé *tailoring* en anglais) est un moyen efficace pour augmenter l'observance. De plus, des rappels sur les recommandations à suivre font passer l'observance de 24 % à 70%. Les autres stratégies efficaces sont les suivis, les contrats ou

les engagements à suivre les recommandations, l'implantation graduelle de ces dernières, l'autosurveillance et l'usage d'incitatifs positifs (ex : récompenses) et négatifs (ex : pénalités). Cependant, on note un déclin de l'observance dans le temps. Certaines interventions pourraient maintenir l'observance telle que l'autosurveillance et l'appui des pairs, mais les résultats sont variables. Selon Conrad (1985), deux domaines sociaux émergent pour expliquer la problématique de l'observance : la communication et les croyances. L'observance peut également être améliorée suite à l'implantation d'un programme de formation.

Malgré les résultats de Racicot et coll., 2012a, les audits demeurent une approche à considérer pour évaluer et maintenir l'observance dans la mesure où ils ont une approche systématique visant à identifier les possibilités d'amélioration et à fournir une méthode pour les réaliser. Pour ce faire, les audités et les auditeurs doivent d'abord définir leurs responsabilités respectives. Un comité consultatif peut donner des conseils, coordonner les activités et établir les mécanismes pour l'élaboration des audits pour s'assurer de développer une approche cohérente et complète respectant les priorités. Le processus d'audit doit être pertinent, objectif, quantifiable, répétable et capable de suggérer des changements à apporter. L'identification de standards est essentielle dans ce processus. Ces standards doivent concilier les pratiques courantes avec les protocoles déjà définis, évalués et publiés. Des ressources sont évidemment nécessaires pour documenter le processus d'audits, collecter les données et analyser les résultats. La confidentialité des résultats individuels est essentielle. Par contre, les données doivent collectivement faire l'objet de rapports réguliers témoignant des points évalués, des améliorations ou des manques identifiées, des mesures correctives et de leurs résultats.

Une combinaison d'interventions comportementales et environnementales et de programmes de formation continue est probablement à privilégier.

2.5. Équipement

Durant l'épidémie d'influenza aviaire faiblement pathogène H5N2 en 2005 au Japon, il y avait 29 fois plus de chance d'introduction du virus lorsqu'il y avait partage de l'équipement entre les fermes. Il est donc préférable d'éviter les

prêts d'équipement entre les fermes. Si cela n'est pas possible, il faut laver et désinfecter l'équipement avant qu'il ne quitte la ferme ainsi qu'à l'entrée sur la ferme recevant ce prêt.

2.6. Gestion des carcasses

Lors de l'épidémie d'influenza aviaire faiblement pathogène H7N2 en 2002 (Virginie, USA), il y avait sept fois plus de chance d'introduction du virus chez les fermes utilisant un système d'équarrissage. Il est donc préférable de détruire les oiseaux morts sur le site, dans la mesure qu'un mode de disposition adéquat est légalement possible (ex : incinération; enfouissement; compostage). Ce n'est malheureusement pas applicable en France alors que seul l'équarrissage est autorisé. Dans ces circonstances, il faut localiser le bac contenant les carcasses le plus loin possible des troupeaux et près de la route pour que le camion d'équarrissage ne circule pas sur le site. Le bac doit être conçu afin d'éviter l'accès aux insectes et animaux sauvages et domestiques. Il faut aussi s'assurer de bien communiquer les risques aux fournisseurs de service afin de planifier la séquence des visites du site le moins à risque vers le plus à risque.

2.7. Gestion du fumier

Lorsque la distance entre le troupeau et le stockage de fumier est de moins de 200 mètres, une étude a rapporté une augmentation de la probabilité d'infection à *Campylobacter* (OR = 4,0) (Arsenault et coll. 2007). On peut en déduire qu'une masse importante de matière organique à proximité d'un troupeau est à risque de contaminer celui-ci via des vecteurs mécaniques (rongeurs, oiseaux sauvages, eau, insectes ou personnes). Il est donc recommandé d'entreposer adéquatement le fumier en prévenant autant que possible l'accès aux vecteurs potentiels. Une plus grande distance entre le troupeau et le fumier permet aussi de réduire le risque de contamination par aérosols. Dans cette optique, l'épandage du fumier est un facteur de risque non négligeable, en particulier dans les régions à haute densité d'élevages. Pour réduire le risque, un compostage est utile avant l'épandage. On peut aussi privilégier les modes d'épandage avec enfouissement direct permettant de limiter la dispersion d'aérosols.

Si une maladie d'importance a été diagnostiquée dans un troupeau à l'intérieur d'un bâtiment, lorsque possible, il est très utile de chauffer la

litière en chauffant le bâtiment en plus du compostage avant de la retirer du bâtiment.

2.8. Rongeurs et animaux sauvages

Plusieurs études ont démontré le rôle de vecteur des rongeurs et autres animaux sauvages. Il y a de trois à huit fois plus de chance d'avoir une infection à *Campylobacter* ou *Salmonella Enteritidis* si des souris ou des rats ont été observés sur un site de production avicole (Henzler et Opitz, 1992). Une étude a même rapportée deux fois plus de chance d'influenza aviaire si l'éleveur observe des rats laveurs ou des renards à proximité de la ferme (McQuisten et al., 2005). Une association significative a aussi été démontrée entre la présence d'écureuils sur un site et la présence de *Pasteurella multocida* dans un troupeau de volaille (Snipes et al., 1988). Une bonne gestion de ces risques exige une approche intégrée comprenant la présence d'appâts et l'aménagement du site (entretien de la végétation autour des bâtiments; entretien des bâtiments; éviter la présence d'aliments ou de débris sur le site [ex: matériaux de construction]). Un contrat de dératisation est souvent plus efficace que de laisser l'éleveur gérer lui-même la dératisation. La disposition des carcasses d'oiseaux et du fumier, telle que discutée précédemment, est également importante.

2.9. Insectes

Les mouches

Avec chaque femelle ayant de 5 à 6 pontes de 75 à 150 œufs chacune, et considérant 10 à 12 générations dans un été, une infestation de mouches peut rapidement se produire (Roy et Brown, 1954; Ebeling, 1975). Bien qu'elles se limitent en général à une aire de 3 km², les mouches peuvent aisément parcourir jusqu'à 30 km (Parker, 1916; Schoof, 1959). Elles hébergent plusieurs pathogènes tels des coccidies, entérocoques, staphylocoques, etc (Markus, 1980; Graczyk et al., 1999). Une étude au Japon fait particulièrement réfléchir, alors que le virus d'influenza aviaire hautement pathogène H5N1 a été isolé de 30% des mouches capturées dans un rayon de 2,3 km d'une ferme infectée (Sawabe et al. 2006)! La gestion des mouches commence en évitant la présence d'eau stagnante à proximité du troupeau. Une bonne gestion du fumier et des oiseaux morts est également importante. Finalement, l'usage d'appâts et d'insecticides peut être nécessaire. Pour les

troupeaux gardés à l'intérieur, il est important de garder les portes fermées et d'avoir des moustiquaires (Poss et al., 1998; Axtell, 1999; Allen et al., 2005; Barrington et al., 2006).

Ténébrions

Vivant jusqu'à une année, une femelle peut pondre 800 œufs au cours de sa vie. Il n'est pas rare de trouver 1000 ténébrions par mètre carré de litière. Comme pour les mouches, des conditions d'humidité et de chaleur favorables peuvent rapidement conduire à une infestation importante. En plus de causer des dommages aux bâtiments et de se nourrir des aliments destinés aux oiseaux, les ténébrions peuvent être porteurs et vecteurs d'un grand nombre de pathogènes (ex: *Campylobacter*, *Salmonella*, virus de la bursite infectieuse, reovirus, coronavirus, *Emeria*, etc.) (Milushev, 1978; Markus, 1980; Graczyk et al., 2000; Steinkraus et Cross, 1993; Goodwin et Waltman, 1996; Bates et al., 2004; Crippen et Sheffield, 2006). Le contrôle des ténébrions commence par le maintien d'un environnement propre et sec à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. En cas d'infestation, il faut traiter l'environnement avec un insecticide dès le départ du troupeau et juste avant l'arrivée de la prochaine bande. Dans les régions où il fait assez froid l'hiver, un bon moyen de contrôle est de laisser le bâtiment geler quelques jours durant le vide sanitaire.

2.10. Densité régionale d'élevages

Une densité régionale élevée augmente le risque de transmission de pathogènes infectieux à cause de la plus grande densité de vecteurs et de la possibilité de transmission via des aérosols. Par exemple, il y a dix fois plus de chance qu'une ferme positive à la laryngotrachéite infectieuse soit localisée à l'intérieur d'un corridor de vent provenant d'une autre ferme positive à cette maladie. Boender et al. (2007) ont démontré qu'un troupeau à moins d'un kilomètre d'un site contaminé par un virus de l'influenza aviaire avait près de 35 fois plus de chance de devenir infecté comparativement à un troupeau situé à plus de 10 km. Plusieurs études récentes ont d'ailleurs démontré la présence du virus ou de son ARN dans l'air autour d'élevages infectés par le virus influenza sur des distances pouvant atteindre un kilomètre (Torremorell et al. 2016)

Afin de minimiser les risques associés à la proximité entre élevages, plusieurs mesures doivent être considérées. En plus de s'assurer de

L'observance des mesures standards à l'entrée et à la sortie des bâtiments et du site, on peut réduire le risque de transmission par aérosols en ayant un brise-vent végétal; en considérant la direction des vents et la proximité des sites de production existants lors de la construction d'un nouveau bâtiment avicole; et en considérant une coordination du trafic avicole au niveau régional. Il s'agit ici, pour une région donnée, que les producteurs et les intervenants sur les fermes se concertent afin de gérer les déplacements de façon à minimiser les risques de contamination croisée.

3. COMMUNICATION DU RISQUE

L'emphase sur la communication est nécessaire afin d'optimiser l'observance des mesures de biosécurité.

Obstacles à l'observance

Plusieurs facteurs ont été mentionnés en lien avec l'observance. Il importe de souligner de nouveau l'impact du niveau de connaissance et de compréhension des mesures de biosécurité sur celle-ci (Lotz, 1997; Barcelo et Marco, 1998; Amass et Clark, 1999; Sanderson et al., 2000; O'Bryen et Lee, 2003; Racicot et al., 2011). La communication demeure au cœur du succès de la prise en compte de la biosécurité, surtout lors d'épidémies. En 2005, lors d'une épidémie de laryngotrachéite en Californie, deux compagnies se sont coordonnées pour effectuer un vide sanitaire prolongé et pour mettre en place des audits extensifs incluant 70 items de biosécurité. La coopération et la communication entre les compagnies ont contribué à l'éradication de la maladie (Chin et al., 2009). L'importance de la communication est également soulignée dans un

sondage réalisé en 2001 auprès de 72 vétérinaires nord-américains sur l'importance accordée à certains éléments de biosécurité. Les résultats, présentés dans le tableau 1, sont sur une échelle d'un à quatre, un étant négligeable et quatre étant très important.

Quand il s'agit de protéger un cheptel avicole, les trois principaux intervenants sont les producteurs, les vétérinaires et les techniciens. Il faut prioriser une meilleure collaboration, communication et responsabilisation de ces trois parties. Pour assurer une bonne communication, le message est essentiel, mais le contenu du message est déterminant. Les organismes nationaux, les programmes universitaires coopératifs et les organisations gouvernementales produisent du matériel éducatif pour les producteurs, mais dont le contenu varie grandement. Ce manque d'harmonie entre les recommandations spécifiques, et la confusion qui en résulte, contribue probablement au manque d'application de la biosécurité (Jardine et Hurdey, 1997; Moore et al., 2008). L'implantation de standards de biosécurité peut aider à uniformiser celle-ci dans la mesure où ils sont basés sur la science plutôt que sur des considérations politiques ou économiques. Par contre, lorsque les coûts de ces mesures sont perçus disproportionnés par rapport aux risques et que la réglementation est exigée par les gouvernements, la confiance envers ceux-ci est généralement ébranlée (Dunn, 2003). Du coup, le leadership nécessaire à la mise en place de programmes de biosécurité efficaces revient aux membres de l'industrie.

Tableau 1: Résultats de sondage sur l'importance accordée aux mesures de biosécurité, en particulier concernant la communication, par 72 vétérinaires nord-américains (Vaillancourt, 2009)

Mesures de biosécurité	Résultats
Rapporter régulièrement le statut sanitaire des troupeaux entre les compagnies ou les organisations (ex : coopératives, etc.)	3,6
Faire connaître le statut sanitaire des reproducteurs aux troupeaux de chair	3,4
Communiquer avec le personnel sur les différents aspects de la biosécurité et mettre en place un programme de formation	3,8
Mettre en place des audits réguliers par rapport aux mesures de biosécurité à la ferme	3,5
Communiquer aux éleveurs et aux personnels de l'industrie avicole le statut sanitaire de toutes les fermes impliquées dans une zone épidémique	3,9
Dans le cas d'une maladie transmise de façon verticale, procéder au diagnostic pour définir le statut sanitaire avant l'envoi au couvoir	3,7
Informers les compagnies externes des maladies présentes sur les fermes et leur fournir des instructions appropriées	3,7
Tester tous les troupeaux dans une région à risque lorsqu'un cas est trouvé	3,6
Utiliser des panneaux de quarantaine à l'entrée des fermes suspectes et des fermes infectées	3,6
Utiliser des bains de pieds à l'entrée de tous les bâtiments	2,9
Nettoyer et désinfecter tout l'équipement transporté entre les bâtiments d'une même ferme	2,7
Restreindre l'accès aux visiteurs	3,7
Garder les portes des bâtiments verrouillées	3,5

Tableau 2: Facteurs de risque pour l'introduction de *Campylobacter* dans 88 élevages de poulets de chair au Danemark (Hald et al., 2000)

Facteurs de risque significatifs	Odds ratio et intervalles de confiance
Absence de barrière sanitaire à l'entrée des bâtiments	3,1 (1,1-9,3)
Absence de barrière sanitaire et présence d'autres animaux à proximité	7,0 (1,6-33,9)
Absence de barrière sanitaire et présence d'animaux autres que des volailles sur la ferme	7,6 (1,4-44,9)
Dépeuplement partiel du lot lors de l'envoi à l'abattoir	6,8 (1,2-49,3)
Vide sanitaire de moins de 14 jours	5,0 (1,2-22,6)
Achat du blé, plutôt que de le cultiver	3,1 (1,0-9,9)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akey, B. L. 2003. Low-pathogenicity H7N2 avian influenza outbreak in Virginia during 2002. *Avian Diseases*, 47 (special issue), 1099-1103.
- Allen, V.M., Newell, D.G., 2005. Evidence for the effectiveness of biosecurity to exclude *Campylobacter* from poultry flocks. In: Food Standards Agency Report, C.p.M. (Ed.), Food Standards Agency Report, Commissioned project MS0004. Food Standards Agency Report, Commissioned project MS0004, pp. 1-28.
- Amass, S. F., Clark, L. K. 1999. Biosecurity considerations for pork production units. *Journal of Swine Health and Production*, 7(5), 217-228.
- Amass, S. F., Halbur, P. G., Byrne, B. A., Schneider, J. L., Koons, C. W., Cornick, N., et coll. 2003a. Mechanical transmission of enterotoxigenic *Escherichia coli* to weaned pigs by people, and biosecurity procedures that prevented such transmission. *Journal of Swine Health and Production*, 11(2), 61-68.
- Amass, S. F., Mason, P. W., Pacheco, J. M., Miller, C. A., Ramirez, A., Clark, L. K., et coll. 2004. Procedures for preventing transmission of foot-and-mouth disease virus (O/TAW/97) by people. *Veterinary Microbiology*, 103(3-4), 143-149.

- Amass, S. F., Pacheco, J. M., Mason, W., Schneider, J. L., Alvarez, R. M., Clark, L. K., et coll. 2003b. Procedures for preventing the transmission of foot-and-mouth disease virus to pigs and sheep by personnel in contact with infected pigs. *Veterinary Record*, 153(5), 137-140.
- Amass, S., Vyverberg, B. D., Ragland, D., Dowell, C. A., Anderson, C. D., Stover, J. H., et coll. 2000a. Evaluating the efficacy of boot baths in biosecurity protocols. *Journal of Swine Health and Production*, 8(4), 169-173.
- Arsenault J., Letellier A., Quessy S., Normand V., Boulianne M. 2007. Prevalence and risk factors for *Salmonella* spp. and *Campylobacter* spp. caecal colonization in broiler chicken and turkey flocks slaughtered in Quebec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, 81(4), 250-264.
- Axtell, R.C., 1999. Poultry integrated pest management: Status and future. *Integrated Pest Management Reviews* 4, 53-73.
- Barcelo, M., Marco, E., 1998. On Farm Biosecurity. In, *International Pig Veterinary Society Proceedings*, Spain, pp. 1-9.
- Barclay, E. 2004. Biosecurity on farms. from http://www.ruralfutures.uned.edu.au/downloads/BiosecurityonFarmsResultsSummary_84.pdf
- Barrington, G.M., Allen, A.J., Parish, S.M., Tibary, A., 2006. Biosecurity and biocontainment in alpaca operations. *Small Ruminant Research* 61, 217-225.
- Barnes HJ et Vaillancourt JP. Presentations at the 100th NECAD Anniversary: Poultry in the year 2028? Northeastern Conference on Avian Diseases. Orono, ME. Juin 11-13, 2003. *Proceedings* pp 13-21.
- Bates, C., Hiatt, K.L., Stern, N.J., 2004. Relationship of *Campylobacter* Isolated from Poultry and from Darkling Beetles in New Zealand. *Avian Diseases* 48, 138-147.
- Boender, G.J., Hagenaars, T.J., Bouma, A., Nodelijk, G., Elbers, A.R.W., Jong, M.C.M.d., Boven, M.v., 2007. Risk Maps for the Spread of Highly Pathogenic Avian Influenza in Poultry. *PLoS Computational Biology* 3, 704-714
- Bojesen, A. M., Nielsen, S. S., Bisgaard, M. 2003. Prevalence and transmission of haemolytic *Gallibacterium* species in chicken production systems with different biosecurity levels. *Avian Pathology*, 32(5), 503-510.
- Brugère-Picoux J, Vaillancourt J-P, et coll. 2015 *Manuel de pathologie aviaire*. Association Française pour l'avancement de la science (AFAS); 720 pages.
- Callan, R. J., Garry, F. B. 2002. Biosecurity and bovine respiratory disease. *Veterinary Clinics Food Animal Practice*, 18(1), 57-77.
- Chauvin, C., Bouvarel, I., Beloeil, P. A., Orand, J. P., Guillemot, D., Sanders, P. 2005. A pharmaco-epidemiological analysis of factors associated with antimicrobial consumption level in turkey broiler flocks. *Veterinary Research*, 36(2), 199-211.
- Chin, R. P., Garcia, M., Corsiglia, C., Riblet, S., Crespo, R., Shivaprasad, H. L., et coll. 2009. Intervention Strategies for Laryngotracheitis: Impact of Extended Downtime and Enhanced Biosecurity Auditing. *Avian Diseases*, 53(4), 574-577.
- Christensen, N. H., Yavari, C. A., McBain, A. J., Bradbury, J. M. 1994. Investigations into the survival of *Mycoplasma gallisepticum*, *Mycoplasma synoviae* and *Mycoplasma iowae* on materials found in the poultry house environment. *Avian Pathology*, 23(1), 127-143.
- Conrad, P. 1985. The meaning of medications: another look at compliance. *Social Science and Medicine*, 20(1), 29-37.
- Crippen, L.T., Sheffield, C., 2006. External Surface Disinfection of the Lesser Mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Medical Entomology* 43, 916-923.
- Dargatz, D. A., Garry, F. B., Traub-Dargatz, J. L. 2002. An introduction to biosecurity of cattle operations. *Veterinary Clinics Food Animal Practice*, 18(1), 1-5.
- Davis, M. A., Sheng, H., Newman, J., Hancock, D. D., Hovde, C. J. 2005. Comparison of a waterless hand-hygiene preparation and soap-and-water hand washing to reduce coliforms on hands in animal exhibit setting. *Epidemiology and Infection*, Short Report, 1-5.
- De Benedictis, P., Beato, M. S., Capua, I. 2007. Inactivation of Avian Influenza Viruses by Chemical Agents and Physical Conditions: A Review. *Zoonoses Public Health*, 54(2), 51-68.
- Doebbeling, B. N., Pfaller, M. A., Houston, A. K. 1988. Removal of nosocomial pathogens from the contaminated glove: implication for glove reuse and handwashing. *Annual Intern Medicine*, 109(5), 394-398.

- Dorea, F. C., Berghaus, R., Hofacre, C., Cole, D. J. 2010. Survey of Biosecurity Protocols and Practices Adopted by Growers on Commercial Poultry Farms in Georgia, U. S. A. *Avian Diseases*, 54(3), 1007-1015.
- Dunn, E. C. 2003. Trojan pig: paradoxes of food safety regulation. *Environment and Planning*, 35, 1493-1511.
- Ebeling, W., 1975. Urban entomology. University of California Los Angeles.
- England, J. J. 2002. Biosecurity: safeguarding your veterinarian: client: patient relationship. *Veterinary Clinics Food Animal Practice*, 18(3), 373-378.
- Evans, S. J., Sayers, A. R. 2000. A longitudinal study of campylobacter infection of broiler flocks in Great Britain. *Preventive Veterinary Medicine*, 46(3), 209-223.
- Garner, J. S., Favero, M. S. 1986. CDC Guideline for Handwashing and Hospital Environmental Control, 1985. *Infection Control*, 7(4), 231-243.
- Gifford, D. H., Shane, S. M., Hugh-Jones, M., Weigler, B. J. 1987. Evaluation of biosecurity in broiler breeders *Avian Diseases*, 31(2), 339-344.
- Goodwin, M., Walt, W.D., 1996. Transmission of Eimeria, viruses, and bacteria to chicks: Darkling beetles (*Alphitobius diaperinus*) as vector of pathogens. *Journal of Applied Poultry Research* 5, 51-55.
- Goodwin, R. F. W. 1985. Apparent reinfection of enzootic-pneumonia-free pig herds: search for possible causes. *Veterinary Record*, 116(26), 690-694.
- Graczyk, T.K., Cranfield, M.R., Fayer, R., Bixler, H., 1999. House flies (*Musca domestica*) as transport hosts of *Cryptosporidium parvum* *American Journal of Tropical Medicine Hygiene* 61, 500-504.
- Graczyk, T.K., Knight, R., Gilman, R.H., Cranfield, M.R., 2001. The role of non-biting flies in the epidemiology of human infectious diseases. *Microbes and Infection* 3, 231-235.
- Gregory, E., Barnhart, H., Dreesen, D. W., Stern, N. J., Corn, J. L. 1997. Epidemiological Study of *Campylobacter* spp. in Broilers: Source, Time of Colonization, and Prevalence. *Avian Diseases*, 41(4), 890-898.
- Gunn, G. J., Heffernan, C., Hall, M., McLeod, A., Hovic, M. 2008. Measuring and comparing constraints to improved biosecurity amongst GB farmers, veterinarians and the auxiliary industries *Preventive Veterinary Medicine*, 84(3-4), 310-323.
- Hald, B., Wedderkopp, A., Madsen, M. 2000. Thermophilic *Campylobacter* spp. in Danish broiler production: a cross-sectional survey and a retrospective analysis of risk factors for occurrence in broiler flocks. *Avian Pathology*, 29(2), 123-131.
- Hansson, I., Vagsholm, I., Svensson, L., Engvall, E. O. 2007. Correlations between *Campylobacter* spp. prevalence in the environment and broiler flocks. *Journal of Applied Microbiology*, 103(3), 640-649.
- Haynes, R. B., Taylor, D. W., Sackett, D. L. 1979. *Compliance in health care*. Baltimore: John Hopkins University Press, 516 pages.
- Henzler, D.J., Opitz, H.M., 1992. The Role of Mice in the Epizootiology of *Salmonella enteritidis* Infection on Chicken Layer Farms. *Avian Diseases* 36, 625-631.
- Hueston, W. D., Taylor, J. D. 2002. Protecting US cattle the role of national biosecurity programs. *Veterinary Clinics Food Animal Practice*, 18(1), 177-196.
- Jardine, C. G., Hradey, S. E. 1997. Mixed Messages in Risk Communication. *Risk Analysis*, 17(4), 489-498.
- Kiang, K. M., Scheftel, J. M., Leano, F. T., Taylor, C. M., Belle-Isle, P. A., Cebelinski, E. A., et coll. 2006. Recurrent outbreaks of cryptosporidiosis associated with calves among students at an educational farm program, Minnesota, 2003. *Epidemiology and Infection*, 134(4), 878-886.
- Kirk, J., Boggs, C., Jefferey, J. 2003. Efficacy of disinfectants for sanitizing boots under dairy farm conditions. *Bovine Practitioner*, 37, 50-53.
- Langsrud, S., Moretro, T., Sundheim, G. 2003. Characterization of *Serratia marcescens* surviving in disinfecting footbaths. *Journal of Applied Microbiology*, 95(1), 186-195.
- Larsen, A. F. 2009. Semi-subsistence Producers and Biosecurity in the Slovenian Alps. *Journal of the European Society for Rural Sociology*, 49(4), 330-343.
- Letellier Ann, Ramirez A.I., Giguère K., Vaillancourt J-P. Impact de la cohabitation dindes-poulets sur les populations microbiennes isolées chez la dinde en fin de production. Tunisia 2011
- Lotz, J. M. 1997. Special topic review: Viruses, biosecurity and specific pathogen-free stocks in shrimp aquaculture. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 13(4), 405-413.

- Markus, M.B., 1980. Flies as Natural Transport Hosts of Sarcocystis and Other Coccidia. *The Journal of Parasitology* 66, 361-362.
- McQuiston, J.H., Garber, L.P., Porter-Spalding, B.A., Hahn, J.W., Pierson, F.W., Wainwright, S.H., Senne, D.A., Brignole, T.J., Akey, B.L., Holt, T.J., 2005. Evaluation of risk factors for the spread of low pathogenicity H7N2 avian influenza virus among commercial poultry farms. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 226, 767-772.
- Milushev, I., 1978. Role of flies in the epizootiology of coccidiosis in poultry. *Veterinary Medicine Science* 15, 26-29.
- Moore, D. A., Merryman, M. L., Hartman, M. L., Klingborg, D. J. 2008. Comparison of published recommendations regarding biosecurity practices for various production animal species and classes. *Journal American Veterinary Medicine Association*, 233(2), 249-256.
- Nespeca, R., Vaillancourt, J. P., Morrow, W. E. M. 1997. Validation of a poultry biosecurity survey. *Preventive Veterinary Medicine*, 31(1-2), 73-86.
- Newell, D. G., Fearnley, C. 2003. Sources of *Campylobacter* Colonization in Broiler Chickens. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(8), 4343-4351.
- O'Bryen, P. J., Lee, C. S. 2003. Discussion summary on biosecurity in aquaculture production systems: exclusion of pathogens and other desirables. Paper presented at the Biosecurity in aquaculture production systems: Exclusion of pathogens and other desirables, Baton Rouge, Louisiana.
- Palmer, S., Sully, M., Fozdar, F. 2009. Farmers, animal disease reporting and the effect of trust: a study of West Australian sheep and cattle farmers. *Rural Society*, 19(1), 32-48.
- Parker, R.E., 1916. Dispersion of *Musca domestica* under city conditions in Montana. *Journal of Economic Entomology* 9, 325-351.
- Patnayak, D. P., Prasad, M., Malik, Y. S., Ramakrishnan, M. A., Goyal, S. M. 2008. Efficacy of Disinfectants and Hand Sanitizers Against Avian Respiratory Viruses. *Avian Diseases*, 52(2), 199-202.
- Patrick, D. R., Findon, G., Miller, T. E. 1997. Residual moisture determines the level of touch-contact-associated bacterial transfer following hand washing. *Epidemiology and Infection*, 119(3), 319-325.
- Pearson, A.D., Greenwood, M., Healing, T.D., Rollins, D., Shahamat, M., Donaldson, J., Colwell, R.R., 1993. Colonization of Broiler Chickens by Waterborne *Campylobacter jejuni*. *Applied and Environmental Microbiology* 59, 987-996.
- Poss, P. E. 1998. Turkey Industry Strategies for Control of Respiratory and Enteric Diseases. *Poultry Science* 77(8), 1181-1185.
- Racicot, M., Kocher, A., Beauchamp, G., Letellier, A., Vaillancourt, J.P., 2013. Assessing most practical and effective protocols to sanitize hands of poultry catching crew members. *Preventive Veterinary Medicine* 111, 92-99.
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., Vaillancourt, J.-P., 2011. Description of 44 biosecurity errors while entering and exiting poultry barns based on video surveillance in Quebec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine* 100, 193-199.
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., Vaillancourt, J.-P., 2012a. Evaluation of strategies to enhance biosecurity compliance on poultry farms in Quebec: effect of audits and cameras. *Preventive Veterinary Medicine* 103, 208-218.
- Racicot, M., Venne, D., Durivage, A., Vaillancourt, J.-P., 2012b. Evaluation of the relationship between personality traits, experience, education and biosecurity compliance on poultry farms in Québec, Canada. *Preventive Veterinary Medicine* 103, 201-207.
- Refrégier-Petton, J., Rose, N., Denis, M., Salvat, G. 2001. Risk factors for *Campylobacter* spp. contamination in French broiler-chicken flocks at the end of the rearing period. *Preventive Veterinary Medicine*, 50(1-2), 89-100.
- Roy, D.N., Brown, A.W.A., 1954. *Entomology : (medical & veterinary) including insecticides & insect & rat control* Excelsior Press Calcutta.
- Saif, Y. M., Fadly, A. M., Glisson, J. R., McDougald, L. R., Nolan, L. K., Swayne, D. E. 2008. *Diseases of poultry* (12th ed.). Iowa: Blackwell publishing, 1324 pages.
- Sanderson, M. W., Dargatz, D. A., Garry, F. B. 2000. Biosecurity practices of beef-cow calf producers. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 217(2), 185-189.
- Sawabe, K., Hoshino, K., Isawa, H., Sasaki, T., Hayashi, T., Tsuda, Y., Kurahashi, H., Tanabayashi, K., Hotta, A., Saito, T., Yamada, A., Kobayash, M., 2006. Detection and isolation of highly

- pathogenic H5N1 avian influenza A viruses from blow flies collected in the vicinity of an infected poultry farm in Kyoto, Japan, 2004. *American Journal of Tropical Medicine Hygiene* 75, 327-332.
- Schoof, H.F., Siverly, R.E., Jensen, J.A., 1952. House fly dispersion studies in metropolitan areas. *Journal of Economic Entomology* 45, 675-683.
- Snipes, K.P., Carpenter, T.E., Corn, J.L., Kasten, R.W., Hirsh, D.C., Hird, D.W., McCapes, R.H., 1988. *Pasteurella multocida* in wild mammals and birds in California: prevalence and virulence for turkeys. *Avian Diseases* 32, 9-15.
- Steinkraus, D.C., Cross, E.A., 1993. Description and Life History of *Acarophenax mahunkai*, n. sp. (Acari, Tarsonemina: Acarophenacidae), an Egg Parasite of the Lesser Mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) *Annals of the Entomological Society of America* 86, 239-249.
- Thomas, M. E., Bouma, A., Ekker, H. M., Fonken, A. J. M., Stegeman, J. A., Nielen, M. 2005. Risk factors for the introduction of high pathogenicity Avian Influenza virus into poultry farms during the epidemic in the Netherlands in 2003. *Preventive Veterinary Medicine* 69(1-2), 1-11.
- Torremorell, M, Alonso, C, Davies, P.R. et coll. 2016. Investigation into the Airborne Dissemination of H5N2 Highly Pathogenic Avian Influenza Virus During the 2015 Spring Outbreaks in the Midwestern United States. *Avian Diseases* 60:637–643
- Vaillancourt, J. P., Carver, D. K. 1998. Biosecurity: perception is not reality. *Poultry Digest*, 57(6), 28-36.
- Vaillancourt, J.-P. 2009. Can we talk? The role of communication in regional disease control. *La Revue Canadienne d'aviculture*, 96(6), 16-18.
- Van Steenwinkel, S., Ribbens, S., Ducheyne, E., Goossens, E., Dewulf, J. 2011. Assessing biosecurity practices, movements and densities of poultry sites across Belgium, resulting in different farm risk-groups for infectious disease introduction and spread. *Preventive Veterinary Medicine*, 98(1-4), 259-270.
- Zellen, G. K., Weber, L. J., Martin, S. W. 1984. Infectious Laryngotracheitis in the Niagara Peninsula: A Case Control Study. *Canadian Veterinary Journal*, 25(2), 75-77.

LA COLONISATION BACTERIENNE EST ESSENTIELLE POUR LE DEVELOPPEMENT DU SYSTEME IMMUNITAIRE INTESTINAL DU POULET

Bernd Kaspers¹, Sarah Lettmann¹, Susanne Röhl¹, Catherine Schouler² et Philippe Velge²

¹DEPARTMENT FOR VETERINARY SCIENCES, Institute for Animal Physiology, University of Munich, Germany

²ISP, INRA, UNIVERSITE FRANÇOIS RABELAIS DE TOURS, 37380 Nouzilly, France
Kaspers@lmu.de

INTRODUCTION

La muqueuse intestinale est une structure fascinante. Une simple barrière épithéliale sépare l'intérieur du corps du milieu intestinal où se trouvent les microorganismes (bactéries, champignons, virus et archaé) qui composent le microbiote et les nutriments. Le microbiote est composé de plus de 1000 espèces microbiennes différentes avec un nombre de bactéries équivalent au nombre de cellules corporelles et près de 100 fois plus de gènes que le génome humain. Le microbiote est bien connu pour sa capacité à digérer des produits végétaux, telles que certaines fibres, autrement inaccessible pour le vertébré en tant que source nutritive. Cependant, ces dernières années, il a été démontré que le microbiote influait non seulement les processus métaboliques mais également le développement et la fonctionnalité du système immunitaire. Inversement, la composition du microbiote semble être modulée par le système immunitaire. L'étude du dialogue entre le microbiote, l'épithélium intestinal et le système immunitaire est devenu un axe de recherche en immunologie depuis une dizaine d'années. Les immunologistes ont utilisé des modèles de souris axéniques (animaux stériles) ou gnotoxéniques (animaux avec un microbiote défini). Ces travaux ont fourni des informations riches en modèle murin alors que la connaissance est plus limitée chez les espèces animales domestiques.

1. Le système immunitaire aviaire

Le système immunitaire aviaire est en grande partie semblable à son homologue mammifère, même si certaines différences frappantes sont trouvées, comme l'absence de ganglions lymphatiques et la présence dans le cloaque d'un organe unique pour le développement des lymphocytes B seulement trouvé dans les oiseaux et appelé la bourse de Fabricius. Le système immunitaire est constitué de deux branches : le système inné et le système adaptatif. Le système immunitaire inné fournit une réponse rapide et non spécifique à une exposition à un pathogène alors que le système immunitaire

adaptatif est responsable du contrôle spécifique des pathogènes et de la mémoire immunologique. Les deux systèmes sont constitués de composants cellulaires et solubles dont certains sont connus depuis longtemps, comme les macrophages et les hétérophiles, les peptides antimicrobiens, les composants du système du complément et les anticorps. D'autres ont été caractérisés plus récemment chez la souris, mais restent encore mal définis chez les oiseaux (par exemple les sous-groupes de lymphocytes T ou les cellules lymphoïdes innées). Les deux branches du système immunitaire interagissent étroitement l'une avec l'autre pour assurer une protection adéquate en communiquant au travers des molécules de surface cellulaire et des facteurs solubles appelés cytokines. Les cytokines jouent un rôle essentiel dans la régulation de la réponse immunitaire aux agents pathogènes, dans la vaccination, dans l'immuno-régulation et dans le contrôle de l'inflammation. Depuis la publication initiale du génome du poulet, des progrès significatifs ont été réalisés en immunologie aviaire. Les données génomiques ont fourni des informations de séquence pour les gènes impliqués dans l'immuno-régulation et la fonction des tissus lymphoïdes de la rate, du thymus et de la bourse de Fabricius. En revanche, moins de données sont disponibles pour les tissus muqueux du poumon, du tractus reproducteur et de l'intestin.

2. Développement du système immunitaire inné intestinal du poulet

Par immunohistologie, analyse holistique d'expression de gènes et tests fonctionnels, nous avons étudié le développement du système immunitaire de l'intestin depuis l'éclosion jusqu'à l'âge de sept semaines conjointement chez des poulets de chair et des pondeuses. Les macrophages sont retrouvés en grand nombre dès le jour de l'éclosion tout le long de l'intestin. Leur nombre augmente en parallèle à la croissance intestinale (figure 1). Les macrophages sont localisés dans la lamina propria et ainsi bien positionnés pour détecter rapidement les pathogènes envahissants ou les dommages épithéliaux. Des études sur des

modèles d'infection à *Salmonella enterica* de poussins d'un jour ont révélé que ces macrophages sont entièrement fonctionnels et répondent à l'invasion par le pathogène par la sécrétion de cytokines inflammatoires et de chimiokines pour attirer plus de phagocytes dans le tissu muqueux ce qui aide à éliminer l'infection. Quelques heures après l'infection, l'interleukine-8 (IL-8) et la chimiokine CCL-16 sont produites et attirent

respectivement des hétérophiles et des macrophages du sang. De plus, l'expression des gènes codant des cytokines effectrices régulant la réponse antimicrobienne tel que l'interféron-gamma a été détectée par RT-PCR. Ainsi, les macrophages et d'autres composants du système immunitaire inné sont présents et fonctionnels à l'éclosion lorsque l'oiseau rencontre les premiers organismes microbiens de son environnement.

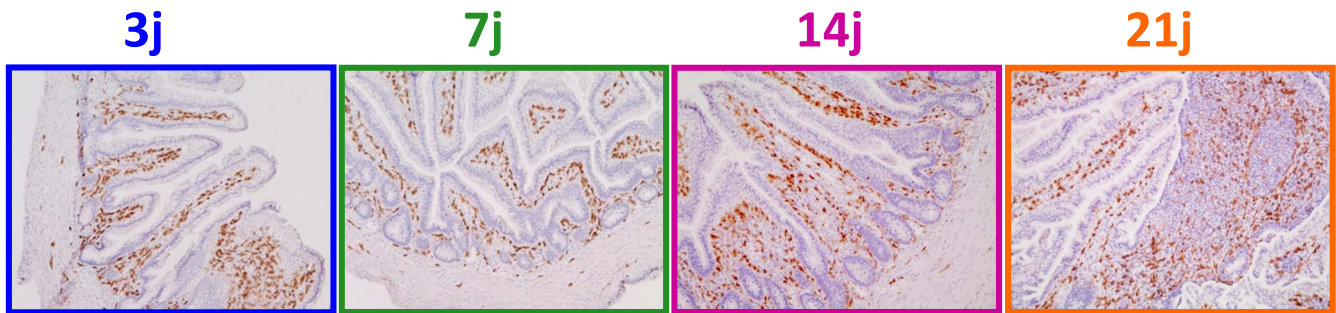


Figure 1: Coloration immunohistologique des macrophages dans le caecum des pondeuses à différents âges (3, 7, 14 et 21 jours post éclosion). Les macrophages se trouvent dans la lamina propria mais pas dans l'épithélium.

En plus des composants cellulaires du système immunitaire inné, les composants solubles sont trouvés tôt après l'éclosion. Ceux-ci comprennent plusieurs molécules de la phase aiguë de la famille des pentraxines et des peptides antimicrobiens de la famille des défensines. Cependant, leur rôle fonctionnel dans l'intestin aviaire n'a pas été étudié en raison de l'absence de modèles animaux appropriés déficients en un ou plusieurs de ces facteurs. Les peptides antimicrobiens sont produits par des cellules épithéliales des cryptes appelées cellules de Paneth et sont sécrétés dans la couche du mucus. Les bactéries envahissant la barrière du mucus entrent en contact avec ces facteurs et sont efficacement lysées. La plupart des auteurs s'accordent à dire que les cellules de Paneth sont absentes chez le poulet et même si l'ARNm spécifique des défensines se trouve dans les échantillons de tissus intestinaux, on ne sait pas très bien où ils sont produits et quels mécanismes provoquent leur synthèse et leur sécrétion.

3. Développement des composants intestinaux du système immunitaire adaptatif

Alors que le système immunitaire inné semble être fonctionnel à l'éclosion, les composants du système immunitaire adaptatif sont absents à ce moment-là.

Des études de développement ont montré que les lymphocytes B, les producteurs d'anticorps, commencent à migrer de la bourse de Fabricius autour de l'éclosion. De même, la migration des lymphocytes T du thymus commence peu avant l'éclosion, mais les grandes vagues de migration cellulaire ne sont observées que quelques jours après l'éclosion. Il est important de noter que les deux populations de lymphocytes sont rares dans le tissu intestinal pendant les deux premières semaines après l'éclosion (figure 2). Par la suite, de plus en plus de lymphocytes colonisent les tissus muqueux et on observe la formation d'agrégats lymphoïdes. La présence de lymphocytes peut être démontrée dans la lamina propria et dans l'épithélium sous forme de lymphocytes intra-épithéliaux. Cette dernière population est constituée de cellules T spécialisées dans le contrôle de cellules infectées par des virus. Ces lymphocytes sont appelés lymphocytes T cytotoxiques (CTL) et sont caractérisés par l'expression de la protéine de surface cellulaire CD8. Les cellules T-helper (exprimant la molécule CD4) sont plus restreintes à la lamina propria et se trouvent à proximité immédiate d'agrégats lymphoïdes. Les lymphocytes B commencent à coloniser l'intestin à peu près au même moment. Ils forment des structures lymphoïdes organisées appelées plaques de Peyer et tonsilles caecaux.

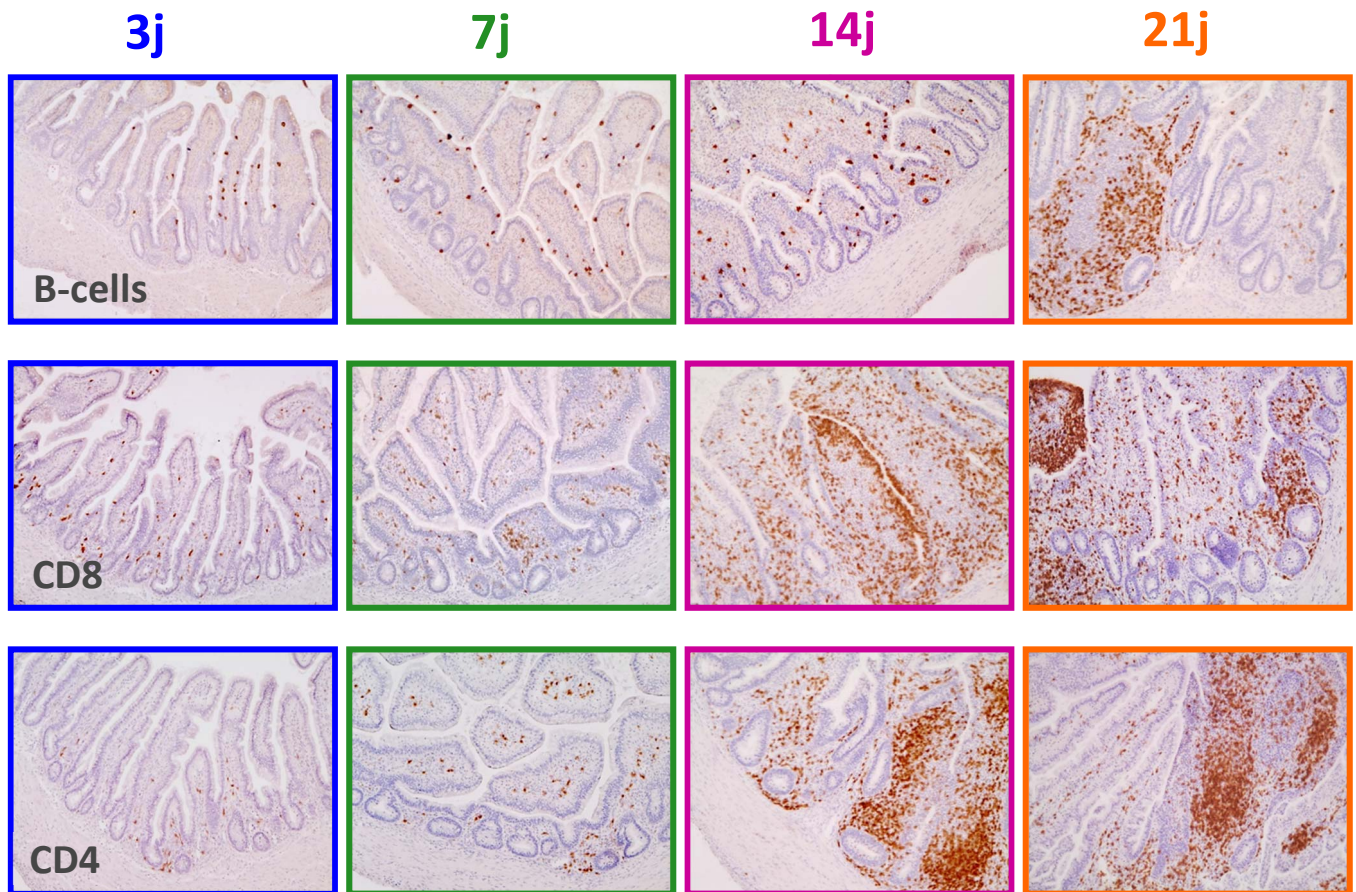


Figure 2: Coloration immunohistologique des lymphocytes B, des lymphocytes T CD8 + et CD4 + dans le caecum de poules à différents âges. Un petit nombre de lymphocytes est trouvé au cours des deux premières semaines d'âge, mais la colonisation progresse rapidement par la suite. A trois semaines, on observe une formation d'agrégats lymphoïdes.

Des études réalisées il y a plus de 50 ans avec des oiseaux élevés dans des conditions exemptes de germes ont montré que la colonisation bactérienne a une influence significative sur la maturation du système immunitaire associé à l'intestin. Cette observation a été confirmée dans des modèles de souris sans germes et dans nos propres études avec des poulets axéniques. Pour définir l'impact du microbiote, nous avons étudié des groupes d'oiseaux axéniques, monoxéniques (colonisés par la souche d'*Escherichia coli* Nissle1917), gnotoxéniques (colonisés par un mélange de quatre souches bactériennes : *E. coli*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, et *Clostridium*). Ces oiseaux ont été comparés à des poulets avec un microbiote (EOPS, exempt d'organisme pathogène spécifique).

Même en l'absence complète d'un microbiote, le système immunitaire inné s'est développé normalement. Aucune différence n'a été observée en ce qui concerne la colonisation par les macrophages et des analyses par microarrays ont montré des profils d'expression non perturbés pour plusieurs gènes du système immunitaire inné. De façon très contrastée, le développement du système

immunitaire adaptatif a été fortement altéré. Les lymphocytes B étaient absents dans la lamina propria d'oiseaux de quatre semaines malgré le développement normal des cellules B dans la bourse de Fabricius. Les régions formées des cellules B étaient fortement sous-développées dans les tonsilles caecales et ne contenaient pas de centres germinatifs (Figure 3), qui sont essentiels pour la production d'anticorps IgA et IgY. En conséquence, la production d'IgA était absente chez les oiseaux axéniques dans l'intestin et dans le sérum (figure 4). De façon similaire, nous avons observé l'absence de lymphocytes T CD4 + et CD8 + chez les animaux axéniques. La monocolonisation par *E. coli* n'a pas permis la réversion totale de ce phénotype mais a conduit à la production d'IgA dans le sérum. Ces anticorps étaient, dans une large mesure, spécifiques de *E. coli*. Les oiseaux colonisés par quatre souches bactériennes ont montré une maturation significative du système immunitaire adaptatif dans l'intestin. Ceci était plus prononcé dans les tonsilles caecales que dans les centres germinatifs et la production d'IgA a été observée.

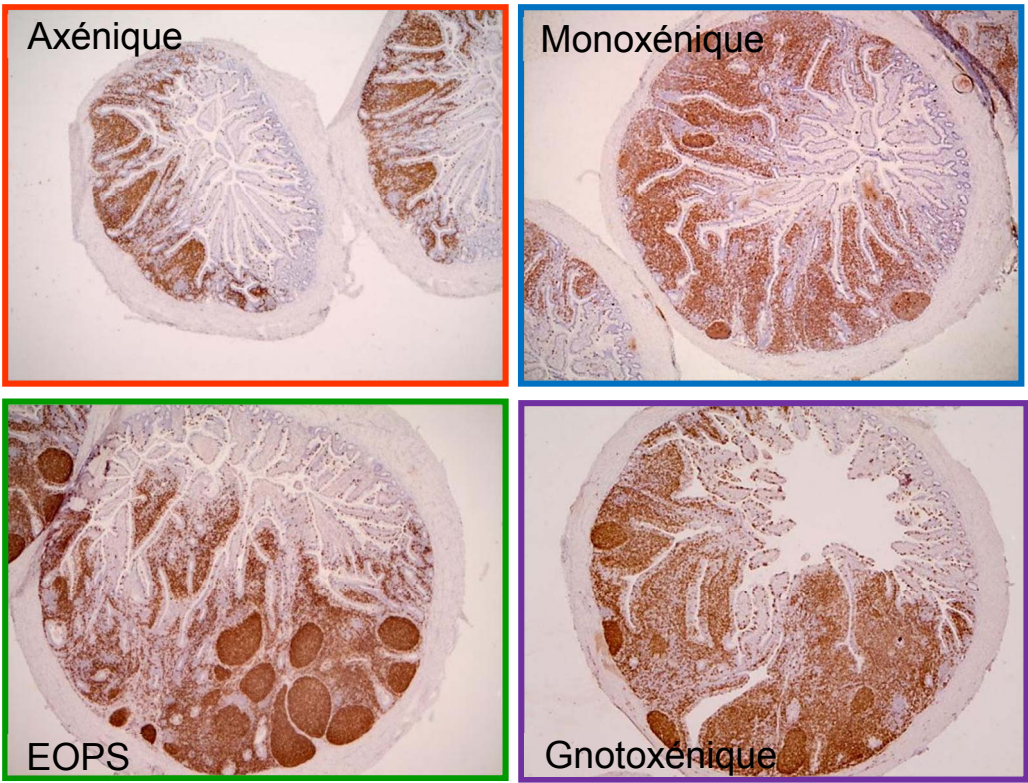


Figure 3: Coloration immunohistologique des lymphocytes B dans les tonsilles cécaux de pondeuses axéniques, monoxéniques, gnotoxéniques ou EOPS. L'absence de microbiote (axénie) conduit à une structure très peu développée du tonsille cecal. La réversion du phénotype n'a été que partielle chez les oiseaux mono-colonisés (*E. coli*). La colonisation avec quatre souches a favorisé la maturation et a induit la formation de quelques petits centres germinaux en comparaison avec les témoins EOPS.

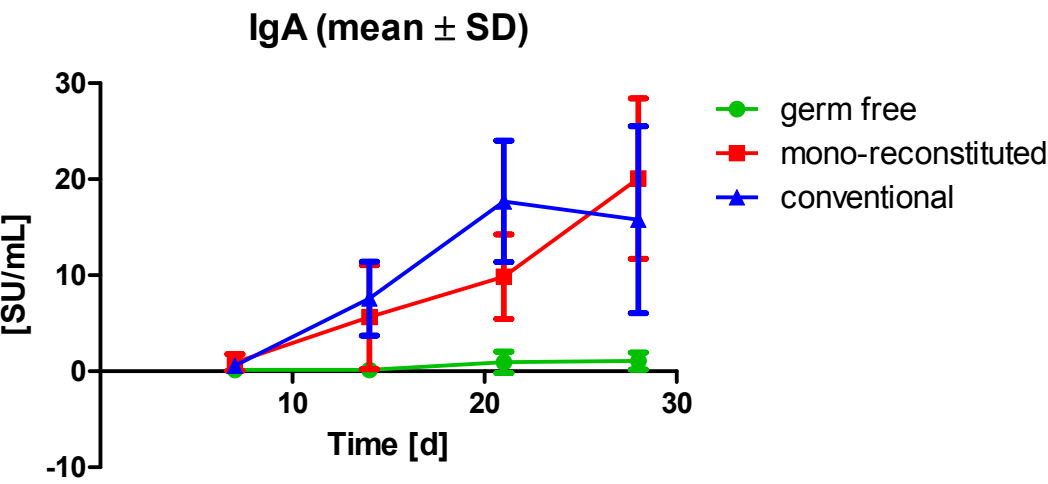


Figure 4: Concentration d'immunoglobuline A dans le sérum d'oiseaux axéniques, gnotoxéniques et EOPS (n = 5). On note une quasi absence d'IgA chez les oiseaux axéniques.

Les observations immunohistologiques ont été corroborées par des analyses d'expression génique. La comparaison des données de microarrays a montré la surexpression d'un grand nombre de gènes associés à la fonction immunitaire et aux processus de développement chez les poulets EOPS par rapport aux animaux axéniques. Le plus frappant est que les gènes liés à la maturation des cellules B sont sous exprimés chez les oiseaux axéniques, ceci étant en accord avec le phénotype observé par immunohistologie. L'AID, une enzyme essentielle pour la migration des classes d'immunoglobulines d'IgM à IgA et IgY, était faiblement exprimée chez les oiseaux axéniques mais significativement plus exprimée chez les poulets monoxéniques. Le niveau d'expression est augmenté chez les animaux gnotobiotiques pour atteindre un niveau d'expression équivalent à celui observé chez les oiseaux EOPS.

Dans les conditions naturelles, les oiseaux éclosent sous la poule et absorbent la nourriture et le microbiote maternel dans les premières heures après l'éclosion. Ainsi, les conditions EOPS peuvent ne pas refléter le modèle naturel du développement du système immunitaire. Pour répondre à cette question, nous avons comparé les oiseaux d'un génotype donné élevé soit dans des conditions EOPS soit sur des litières sur lesquelles avaient été élevées des poules pondeuses pendant 4 jours. Ainsi, ce groupe avait un accès immédiat à une microbiote aviaire établi. Bien que nous n'ayons pas observé de différences significatives dans le développement du système immunitaire inné, le système immunitaire adaptatif associé à l'intestin s'est développé plus tôt. De plus, les taux d'IgA dans le sang, la bile et le caecum étaient jusqu'à trois fois plus élevés chez les oiseaux recevant le microbiote maternel en comparaison avec les oiseaux EOPS.

CONCLUSION

Le développement du système immunitaire intestinal est contrôlé par des facteurs ontogéniques et environnementaux. Le système immunitaire inné se développe au début de l'ontogenèse et est présent à l'éclosion, protégeant ainsi les oiseaux pendant la phase critique de rencontre soudaine avec des microbes après l'éclosion. Son développement ultérieur n'est pas fortement influencé par le microbiote. En revanche, le développement du système immunitaire adaptatif est fortement influencé par la colonisation bactérienne de l'intestin. L'absence de bactéries conduit à des défauts de développement sévères avec un manque de lymphocytes B et T dans la muqueuse intestinale et l'absence de formation d'anticorps. Nos études indiquent clairement que la maturation complète du système immunitaire de l'intestin nécessite un

microbiote complexe. Cependant, la composition précise d'un microbiote optimale est encore inconnue. Dans les conditions naturelles, les poussins entrent en contact immédiat avec la flore maternelle tandis que les oiseaux éclos dans les conditions commerciales de production avicole sont essentiellement stériles. On ne sait toujours pas très bien comment ces conditions affectent le développement du système immunitaire des muqueuses, la capacité de contrôler les microorganismes pathogènes, la santé et le bien-être des animaux. Il est intéressant de noter que les études en modèle murin ont montré que les nutriments et les produits de fermentation influent également sur l'état fonctionnel du système immunitaire des muqueuses soit directement, soit par l'intermédiaire de médiateurs sécrétés par les cellules épithéliales. Le rôle de l'épithélium, du mucus, des macro et micronutriments sur le système immunitaire aviaire n'a pas été étudié à ce jour mais devrait être pris en compte dans des études futures.

LE MICROBIOTE INTESTINAL A L'ÈRE DE LA MÉTAGÉNOMIQUE : PERSPECTIVES D'APPLICATION DANS LA FILIERE AVICOLE

Calenge Fanny¹, Leloutre Lilian², Quéré Pascale³, Velge Philippe³, Gabriel Irène⁴, Doré Joël⁵

¹ GABI, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay - 78350 JOUY-EN-JOSAS

² TECHNIA - Route de Saint Etienne de Montluc, les Landes de Bauges - 44220 COUERON

³ UMR ISP, INRA/ Université François Rabelais - 37380 NOUZILLY

⁴ URA, INRA - 37380 NOUZILLY

⁵ Institut MICALIS, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay - 78350 JOUY-EN-JOSAS

⁶ MGP MétaGénoPolis, INRA, Université Paris-Saclay - 78350 JOUY-EN-JOSAS

fanny.calenge@inra.fr

RÉSUMÉ

L'étude du microbiote intestinal, chez l'Homme puis chez les animaux modèles et maintenant d'élevage, a été révolutionnée par l'utilisation de technologies de séquençage d'ADN à haut débit qui a permis le développement des approches de métagénomique, c'est-à-dire l'étude de l'ensemble des génomes constituant le microbiote intestinal. Ces approches ont largement contribué à montrer à quel point le microbiote intestinal est important pour son hôte, dont il est en fait le symbiote, de par ses rôles non seulement dans la digestion d'aliments non digestibles par l'hôte mais plus généralement dans la régulation du métabolisme, la mise en place et la régulation de l'immunité, la résistance à la colonisation par des pathogènes ou le comportement via un effet sur le cerveau. Ces connaissances théoriques ont conduit à des applications diagnostiques et thérapeutiques chez l'Homme. On peut espérer de la même façon améliorer nombre de caractères d'intérêt chez la volaille, notamment santé, robustesse et efficacité digestive via l'analyse du microbiote et sa modulation par des leviers, dont certains (alimentation, probiotiques, prébiotiques) existent déjà et pourraient être améliorés. Cette revue explique ce qu'est la métagénomique, ce qu'elle apporte à la connaissance du microbiote intestinal et à quel type d'applications en élevage elle pourrait conduire, en prenant en compte ce symbiote longtemps ignoré et pourtant essentiel.

ABSTRACT

Research on gut microbiota, in humans as well as in models and livestock species, has been revolutionized by the use of high throughput DNA sequencing technologies, which allowed the development of metagenomic approaches, defined as the study of all the microbial genomes constituting the intestinal microbiota. These approaches largely contributed to show to which extent the intestinal microbiota is essential to its host, with which it forms a symbiosis. It contributes to the digestion of food non digestible by host enzymes but also modulates the host metabolism, the maturation and regulation of immunity, resistance to colonization by enteric pathogens and even behavior through interactions with the brain. This theoretical knowledge is currently leading to therapeutic applications in human medicine. Similarly, we can hope to improve several traits of interest in poultry, based on the analysis or the modulation of the intestinal microbiota using a combination of tools, which for some of them are already developed (feed, probiotics, prebiotics) and could be improved. This review explains what is metagenomics, what it brings to the study of intestinal microbiota and presents on-farm applications that could emerge by taking into account this long-ignored but essential symbiont.

INTRODUCTION

Un microbiote est défini comme une population de micro-organismes formant un écosystème complexe. L'Homme et les animaux d'élevage sont porteurs de nombreux microbiotes qui se distinguent en fonction de leur localisation sur le corps (Cho et Blaser, 2012). Le microbiote intestinal est celui qui comporte la population la plus abondante de micro-organismes, surtout des bactéries, mais aussi des archées, champignons, protistes et virus. Il interagit en permanence avec son hôte, avec lequel il forme une symbiose. Ses rôles dans la fonction digestive sont connus de longue date, mais les avancées technologiques récentes dans le domaine du séquençage à haut débit de l'ADN ont permis un bond en avant des connaissances sur sa composition détaillée, ses rôles en fait multiples, et son fonctionnement chez l'Homme (Blottière et al., 2013). Le microbiote intestinal a un rôle important non seulement localement dans la digestion, le développement et le fonctionnement du système immunitaire et du tractus digestif, dans la protection contre les pathogènes entériques, mais aussi dans le métabolisme général de l'hôte et dans le fonctionnement du cerveau. La caractérisation d'un métagénome intestinal de référence (ensemble des gènes bactériens du microbiote intestinal) pour l'Homme a rendu possibles des approches de métagénomique quantitative et fonctionnelle. Ces approches ont récemment contribué à la mise en évidence de l'importance considérable, et jusqu'à présent sous-estimée, du microbiote intestinal pour la santé de son hôte (Clemente, 2012). L'existence de profils de microbiotes spécifiques de conditions pathologiques diverses conduit déjà actuellement à la mise au point de nouvelles approches thérapeutiques. Ces avancées offrent des perspectives prometteuses pour les animaux d'élevage (Calenge et al., 2014).

Chez la volaille, le rôle du microbiote intestinal dans la digestion et la robustesse des animaux est connu de longue date. La poule (*Gallus gallus*) est sans doute l'espèce d'élevage pour laquelle les prébiotiques, probiotiques et additifs sont le plus utilisés pour améliorer santé et croissance via la modulation du microbiote digestif, avec un regain d'intérêt apparu à l'occasion de la suppression de l'utilisation d'antibiotiques comme facteurs de croissance. La disponibilité d'outils d'analyse performants, comme le séquençage d'ADN à haut débit, et la multiplicité des enjeux portés par l'étude du microbiote chez cette espèce renouvellent à présent les travaux de recherche à ce sujet. Chez les animaux d'élevage, le microbiote intestinal a un rôle direct sur la réduction de la colonisation par des pathogènes intestinaux. Ce rôle est bien connu chez la poule pour la réduction du portage de salmonelles. Il aurait aussi un rôle dans la résistance à certains pathogènes non intestinaux, via la régulation du système immunitaire

de l'hôte. Ainsi, des liens entre composition du microbiote intestinal et maladie de Marek chez le poulet ont été montrés (Perumbakkam et al, 2014). De même que chez l'Homme, le microbiote intestinal pourrait avoir un rôle dans les pathologies non infectieuses, notamment intestinales mais pas uniquement, via la régulation de l'immunité et du métabolisme de l'hôte. Il intervient dans l'hydrolyse des composants alimentaires, en particulier ceux qui ne sont pas hydrolysables par l'hôte, à partir desquels il produit des molécules dont beaucoup sont bénéfiques voire essentielles, mais aussi parfois défavorables. Toutes ces fonctions du microbiote digestif font de sa modulation un enjeu pour la santé animale et donc aussi humaine (pour le contrôle des zoonoses notamment), mais aussi pour la productivité, la robustesse des animaux et la durabilité de l'élevage.

L'objectif de cette synthèse est d'expliquer : (i) quelles connaissances ont apporté et continuent d'apporter les approches de métagénomique basées sur le séquençage à haut débit chez l'Homme ; (ii) quelles connaissances ces approches permettraient d'obtenir chez les volailles en complément de celles déjà acquises ; (iii) quelles sont les perspectives d'application envisageables en élevage à plus ou moins long terme.

1. La métagénomique : définition et applications chez l'Homme

La métagénomique au sens strict concerne l'étude de l'ensemble des génomes des organismes d'un microbiote. Au sens large, certains incluent dans la définition l'approche dite « ribosomique » ou « 16S », qui repose elle aussi sur le séquençage à haut débit mais ne s'intéresse qu'à un seul gène en tant que marqueur phylogénétique. Nous la décrivons aussi, dans la mesure où elle a permis un bond en avant des connaissances sur la composition du microbiote et demeure très instructive à l'avenir même si les approches de métagénomique deviennent plus abordables.

1.1 Méthodes d'étude du microbiote reposant sur le séquençage à haut débit

a. Séquençage du gène de l'ARN ribosomique 16S

Le gène codant pour l'ARN ribosomique (ARNr) 16S, spécifique des bactéries et des archées, est celui qui est le plus souvent ciblé dans les études d'écosystèmes microbiens (Yarza et al., 2014). Présent en au moins un exemplaire dans chaque génome bactérien, il comporte à la fois des régions très conservées qui permettent une amplification par PCR (polymerase chain reaction) et des régions hypervariables spécifiques de groupes bactériens. Le séquençage de régions hypervariables du gène de l'ARNr 16S amplifiées par PCR à l'aide d'amorces

ciblant les régions conservées conduit à l'obtention de courts fragments d'ADN. Ces derniers sont regroupés en OTU (Operational Taxonomic Unit) sur la base de la similarité de séquences, une OTU étant définie comme un ensemble de séquences ayant plus de 98% de similarité. Les OTU sont ensuite comparées à des séquences d'affiliation taxonomique connue recensées dans des bases de données dédiées, ce qui permet d'affecter chaque OTU à un groupe bactérien correspondant à une espèce, un genre ou tout autre niveau taxonomique jusqu'au phylum selon la précision des informations disponibles et le niveau de spécificité de l'OTU. Cette approche est à la fois qualitative et quantitative. Elle permet de déterminer la composition en OTU d'un écosystème bactérien, ainsi que sa richesse (quantité d'OTU différentes) et sa diversité (indice prenant en compte à la fois la quantité d'OTU différentes et les abondances relatives des OTU).

Cette approche est bien plus exhaustive que les approches précédemment employées (électrophorèse dénaturante TTGE ou DGGE, hybridation in situ couplée à la microscopie en épifluorescence ou la cytométrie, par exemple). Elle est applicable à n'importe quel microbiote, relativement facile à mettre en œuvre et abordable en termes de coût, car la quantité de séquence nécessaire pour caractériser le gène de l'ARNr 16S est faible. Elle est actuellement largement employée chez la poule (Oakley et al., 2014) et quelques études mentionnent son utilisation chez le Canard (Vasai et al., 2014) ou la Caille (Wilkinson et al., 2016).

b. Séquençage complet du métagénome et approches -omiques

L'approche 16S est extrêmement utile mais imparfaite, du fait de l'existence de biais de quantification dus à la présence de plusieurs copies de ce gène chez certaines espèces bactériennes et à une variabilité de séquence intra-espèce, mais aussi du fait d'une connaissance imparfaite de l'assignation taxonomique de nombreuses bactéries. Et surtout cette approche ne donne aucune information directe sur les autres gènes bactériens et donc sur les fonctions potentiellement exercées par le microbiote intestinal. Or la compréhension des mécanismes d'interaction entre microbiote intestinal et hôte repose sur la connaissance de ces fonctions.

Le séquençage complet de l'ensemble des génomes composant le microbiote étudié, ou métagénome, offre au contraire la possibilité de déterminer de façon beaucoup plus exhaustive les fonctions potentiellement réalisées par le microbiote, sans biais de quantification majeur. Cette approche est possible grâce au couplage de technologies de séquençage massif et à haut débit avec des analyses bioinformatiques, tout comme pour l'approche 16S, mais avec une plus grande quantité et complexité des séquences à analyser. L'expérience récente a montré que la constitution préalable d'un métagénome de

référence de l'espèce animale étudiée facilite grandement cette approche. Il s'agit d'une liste, ou catalogue, de gènes des organismes composant le microbiote, reconstitués *de novo* à partir de fragments d'ADN (figure 1). Les travaux les plus récents incluent dans cette liste des génomes entiers appelés espèces métagénomiques (MGS), reconstitués sur la base de l'observation de co-variations d'abondances des gènes entre échantillons (Nielsen et al., 2014) : il est en effet attendu que les abondances de l'ensemble des gènes d'un génome varient de la même façon d'un échantillon à l'autre puisqu'ils sont physiquement liés sur le même support génétique. Le premier catalogue de référence du microbiote digestif a été celui du métagénome intestinal humain, publié en 2010 (Qin et al., 2010) et complété depuis (Li et al., 2014). Il a été suivi plus récemment de ceux de la Souris (Xiao et al., 2015) et du Porc (Xiao et al., 2016), et il est très probable que ceux du lapin, de la vache et de la poule (*Gallus gallus*) soient publiés prochainement. L'existence d'un catalogue de référence autorise les approches de détermination rapide et complète du profil métagénomique de nombreux individus, mais aussi du métatranscriptome, afin d'étudier l'expression des gènes par le microbiote. En raison d'une quantité de séquence à produire nettement plus importante, les analyses de métagénomique sont beaucoup plus coûteuses que les l'analyse de la diversité du gène de l'ARNr 16S. Les approches de métaprotéomique et de métamétabolomique, en plein développement, sont également très instructives puisqu'elles s'intéressent aux produits de l'activité du microbiote susceptibles d'interagir avec l'hôte.

1.2 Quelles avancées scientifiques chez l'homme, pour quelles applications ?

L'existence du catalogue de référence du métagénome humain a permis d'accéder pour la première fois de façon exhaustive aux fonctions codées par les gènes du microbiome intestinal humain, et de caractériser avec précision la variabilité du métagénome humain au sein des cohortes étudiées. Le catalogue recense actuellement presque 10 millions de gènes bactériens non redondants (Li et al., 2014), soit 400 fois plus que de gènes humains. L'utilisation de ce catalogue pour caractériser les échantillons de fèces employés pour le constituer a mis en évidence la grande variabilité individuelle du microbiote intestinal humain, avec seulement 57 espèces bactériennes communes à au moins 90% des individus de la cohorte étudiée (Qin et al., 2010). Ce microbiote « noyau » réalise des fonctions probablement essentielles à la survie des bactéries dans le tube digestif (Qin et al., 2010). Par ailleurs, les microbiotes des individus de la première cohorte étudiée sont structurés en trois grands types d'équilibres entre bactéries appelés entérotypes et nommés en fonction du genre bactérien dominant : *Bacteroides*, *Prevotella* et *Ruminococcus* (Arumugam

et al., 2011). Ces entérotypes seraient façonnés par le type d'alimentation de l'hôte : la consommation de protéines et graisses animales serait associée à l'entérotype *Bacteroides*, tandis que les régimes riches en glucides complexes seraient associés à l'entérotype *Prevotella*. De plus il est probable que chacun des entérotypes possède des spécificités fonctionnelles, ce qui pourrait conditionner les interactions avec l'hôte, en particulier les réponses individuelles aux régimes alimentaires et aux thérapies médicamenteuses (Aziz, 2013).

1.3 Identification de signatures de pathologies par métagénomique quantitative

Une des applications les plus immédiates du métagénome de référence humain a été la caractérisation du profil de gènes et l'estimation de la richesse et diversité du microbiome d'individus atteints par une pathologie, par rapport au profil d'individus sains. Cette approche, dite de métagénomique quantitative, a conduit à la recherche de descripteurs du microbiote spécifiques de toute une série de pathologies, notamment des pathologies non infectieuses telles que par exemple des pathologies inflammatoires de l'intestin (maladie de Crohn) ou la cirrhose du foie (Qin et al., 2014). Les descripteurs en question peuvent être des abondances de gènes ou d'espèces métagénomiques (MGS), ou bien le niveau de diversité ou de richesse du microbiote. La richesse en gènes semble être un marqueur de santé particulièrement important à l'âge adulte. Ainsi, les individus possédant un microbiote avec une faible richesse en gènes ont des caractéristiques inflammatoires et métaboliques moins favorables prédisposant au diabète de type 2 et à l'obésité (Le Chatelier et al., 2013), mais aussi potentiellement aux maladies cardio-vasculaires et à certains cancers. Par ailleurs l'entérotype *Bacteroides* présenterait une richesse en gènes inférieure à celle des deux autres entérotypes (Le Chatelier et al., 2013). Cette faible richesse du microbiote intestinal proviendrait de certaines caractéristiques du mode de vie occidental contemporain qui auraient conduit à un déséquilibre du microbiote intestinal: fort taux de naissance par césarienne empêchant la colonisation du microbiote de l'enfant par le microbiote vaginal, sédentarité, alimentation des nourrissons par du lait maternisé et non du lait maternel, hygiène excessive limitant la mobilisation précoce du système immunitaire de l'hôte pour lutter contre des pathogènes divers et régime alimentaire appauvri en fibres complexes d'origine végétale.

1.4 Métagénomique fonctionnelle : étude des fonctions du microbiote intestinal

L'existence d'un métagénome de référence permet des approches globales de métagénomique fonctionnelle, qui visent à caractériser les fonctions

portées par le microbiote. L'étude du métatranscriptome du microbiote intestinal est pour l'instant limitée, du fait notamment de la fragilité des molécules d'ARN messager (ARNm) et de la difficulté à extraire des ARNm de bonne qualité (Bashiardes et al., 2016). Il a cependant été montré que certains gènes abondants étaient relativement peu exprimés tandis que certains gènes peu abondants étaient très exprimés, ce qui souligne que le métatranscriptome reflète plus fidèlement l'activité fonctionnelle réelle du microbiote (Franzosa et al., 2014). Une autre approche très prometteuse consiste à identifier, par criblage à haut débit, les fonctions et/ou les protéines ou métabolites produits par des fragments (gènes) du métagénome, clonés dans des vecteurs d'expression puis criblés par contact avec des cellules en culture (de Wouters et al., 2014). Un des avantages considérables de cette approche est qu'elle est sans *a priori* et permet d'identifier des gènes candidats pour des fonctions d'intérêt sans même connaître les génomes bactériens dont ils sont issus.

Ces deux types d'approches visent à identifier les produits de l'expression des gènes du métagénome : ARNm, protéines et métabolites, pour comprendre comment ces derniers interagissent avec l'hôte. Ces approches, bien que plus lourdes à mettre en œuvre qu'une simple étude de la composition du microbiote, sont indispensables sur le long terme pour comprendre les mécanismes d'interaction hôte-microbiote, mais aussi les relations entre espèces bactériennes du microbiote, et leurs effets sur le métabolisme et la physiologie de l'hôte.

1.5 Quelles applications médicales ?

Les approches de métagénomique, en apportant des connaissances fondamentales sur le fonctionnement du microbiote intestinal humain, et en permettant l'identification de signatures du microbiote associées avec des pathologies diverses, ont permis la mise au point de nouvelles approches préventives, diagnostiques ou thérapeutiques en médecine. Les profils microbiens spécifiques identifiés par des approches de métagénomique quantitative peuvent être utilisés directement pour le diagnostic des pathologies associées, ce qui pour certaines pathologies telles que la cirrhose du foie pourrait être une aide précieuse au diagnostic (Qin et al., 2014). On sait aussi que l'efficacité de certaines thérapies cancéreuses dépend du microbiote du patient (Dzutsev, 2015), ce qui devrait conduire à un diagnostic d'efficacité potentielle avant traitement et une modulation du microbiote pour rendre le traitement plus efficace.

L'effet démontré de l'alimentation sur la composition et surtout sur la richesse du microbiote intestinal conduit actuellement à des recommandations diététiques générales à visée préventive, dont le message est simple : il faut consommer plus de fibres d'origine végétale et en

diversifier les sources, et limiter l'apport de matières grasses saturées d'origine animale et de sucres raffinés pour favoriser l'établissement d'un microbiote intestinal riche. Par ailleurs le développement de pré- et pro-biotiques de seconde génération à visée préventive ou curative est une piste de recherche très sérieuse. On peut imaginer à terme des recommandations individuelles, pour l'alimentation comme pour la prise de pré/probiotiques, quand les relations entre microbiote individuel et hôte seront comprises plus en détail (Derrien et al., 2016).

Pour ce qui est de la guérison de pathologies, les transferts de microbiote sont actuellement pratiqués dans les cas d'infection chronique par *Clostridium difficile*, une bactérie multi-résistante aux antibiotiques, qui peut coloniser les intestins de patients lourdement traités avec des antibiotiques. Il s'agit de transférer à un patient affecté et débarrassé au préalable de son microbiote intestinal un microbiote (fécal) de sujet sain (Mondot et Lepage, 2013). Ces transferts de flore sont également envisagés pour le traitement de l'obésité. Dans le cas de *Clostridium difficile*, cette approche comporte un taux de succès élevé. Cependant, elle ne saurait être généralisée à toute pathologie, notamment des pathologies moins graves. Il est impératif d'évaluer le risque de transférer un écosystème entier qui peut ne pas être adapté à son hôte et comporter, par exemple, des pathogènes silencieux chez le donneur qui pourraient s'exprimer chez le receveur. La constitution de populations synthétiques constituées de bactéries connues pourrait être une solution, mais réclame une meilleure compréhension du fonctionnement de l'écosystème et de son dialogue avec l'hôte, que les approches de métagénomique pourront apporter.

Enfin, les approches de métagénomique fonctionnelle associées à l'étude de l'immunité de l'hôte, devraient permettre d'identifier les acteurs du dialogue moléculaire hôte-microbiote : espèces microbiennes, gènes, transcrits, protéines et métabolites de l'hôte et du microbiote impliqués dans les pathologies de l'hôte. Ces acteurs pourraient constituer un jour de nouvelles cibles pour la formulation de médicaments ou de vaccins. La modulation du microbiote intestinal individuel pour une action efficace des médicaments, notamment anticancéreux, devrait aussi être mise au point à l'avenir (Pitt et al., 2016).

2. LE MICROBIOTE DIGESTIF DES VOLAILLES

2.1 Connaissances actuelles.

Les premiers travaux sur le microbiote digestif des volailles ont été effectués dans les années 1970-1980 et ont concerné principalement la poule. Ces premiers travaux ont fait appel aux cultures de

bactéries sur milieu sélectif, puis aux techniques de biologie moléculaire dans les années 2000. L'approche 16S s'est développée au cours des dernières années, et les premières approches « -omiques » ont été réalisées récemment, bien que ces premiers travaux concernent trop peu d'animaux pour être généralisables : études de métagénomique (par exemple Danzeisen et al., 2011; Sergeant et al., 2014), métaprotéomique (par exemple Polansky et al., 2016) et métabolomique (Gabriel et al., 2015).

a. Le développement du microbiote avec l'âge

Avant éclosion, selon les auteurs, le tube digestif de l'embryon serait soit stérile, soit colonisé par une très faible quantité de bactéries. Après éclosion, le tube digestif est colonisé par les différentes bactéries de l'environnement immédiat du poussin : éclosoir, manipulations pour le sexage et les vaccinations, transport vers l'élevage (notamment boîtes de transport), autres poussins, puis la litière, l'eau et le premier aliment. Ainsi, dès le premier jour après l'éclosion, l'iléon et les caeca hébergent 10^8 et 10^{10} bactéries par gramme de contenu digestif (Apajalahti et al., 2004) pour atteindre 10^9 à 10^{11} bactéries par gramme dès trois jours puis rester relativement stable jusqu'à l'âge de 30 jours. D'un point de vue qualitatif, des changements de composition taxonomique et une augmentation de la diversité sont observés dans les différents segments digestifs (par exemple, Danzeisen et al., 2011).

Dans la perspective d'applications en élevage, il est clair que la période autour de l'éclosion est un moment privilégié pour tenter d'orienter le développement d'un microbiote considéré comme favorable.

b. Les caractéristiques du microbiote le long du tractus digestif

Chez la poule, les sites principaux d'abondance bactérienne sont le jabot, les caeca et, dans une moindre mesure, l'intestin grêle. Ainsi, Guardia et al. (2011) ont déterminé une charge bactérienne de 5.5×10^{11} , 5.3×10^{10} et 7.4×10^{12} copies d'ADNr 16S / gramme de contenu dans le jabot, l'iléon terminal et les caeca, respectivement. Jabot, gésier et iléon contiennent surtout des *Lactobacillus* (par exemple Witzig et al., 2015). Dans la partie inférieure de l'appareil digestif, les caeca constituent le biotope le plus favorable au microbiote car riche en substrats et beaucoup plus stable, du fait d'une évacuation des contenus seulement une à deux fois par jour, et avec une présence faible d'oxygène. Les caeca sont donc le site majeur de développement bactérien avec la composition la plus diversifiée de tous les segments digestifs. Ainsi, Neumann et Suen (2015) rapportent entre 4000 et 5000 OTU dans les caeca au lieu de 400 à 900 dans l'intestin grêle. Cependant, il existe une forte variabilité individuelle : toutes ces OTU ne sont pas présentes chez tous les individus. Ainsi, sur les

700 OTU rapportés par Sergeant et al. (2014) au niveau des caeca pour 10 animaux, chaque individu en contient 200 à 350. Les phyla majeurs sont les *Bacteroidetes*, *Proteobacteria* et *Firmicutes*, avec pour ces derniers l'ordre des *Clostridiales* fortement représenté. La forte concentration en bactéries différentes, le long temps de rétention de son contenu qui favorise les fermentations et la production d'acides gras à chaînes courtes et le dialogue entre bactéries et hôte, notamment avec l'immunité du fait de la présence de tissus immunitaires tels que les tonsilles caecales, ainsi que la présence de pathogènes, font des caeca le compartiment d'étude privilégié des recherches sur le microbiote intestinal des volailles.

Le microbiote des fèces a été peu étudié jusqu'à présent, sans doute par crainte de leur manque de représentativité des segments digestifs, avec une perte notamment de bactéries anaérobies, mais surtout parce les fientes ont des origines différentes (intestin grêle ou caeca) et donc une composition variable, et enfin parce que la collecte des fientes caecales, les plus intéressantes, est difficile à réaliser. Quelques études montrent que les fientes caecales ou les échantillons prélevés directement dans le cloaque pourraient être utilisés car leur composition, sans être forcément identique, se rapproche de celle des caeca (Stanley et al., 2015 ; Pauwels et al., 2015). Dans la perspective d'applications en élevage, notamment pour la mise au point de tests diagnostiques basés sur la caractérisation du microbiote, le prélèvement et l'analyse des fèces paraît incontournable. L'étude du contenu caecal demeure pertinente, mais il est essentiel de comparer microbiote caecal et microbiote fécal, comme l'ont fait quelques études (Pauwels et al., 2015), pour étudier les possibilités d'application.

2.2 Quels moyens d'action actuels sur le microbiote ?

De nombreux additifs supposés agir sur le microbiote intestinal sont actuellement utilisés en élevage pour améliorer la santé et les performances des animaux. Ils ont connu un regain d'utilisation à l'occasion de la suppression des antibiotiques utilisés à dose sub-thérapeutique comme facteurs de croissance, dont les effets bénéfiques sur la croissance et la robustesse des animaux seraient dus en partie à la régulation du microbiote intestinal, via le contrôle des pathogènes entériques et la production de métabolites à effets bénéfiques pour l'hôte (Neumann et Suen, 2015). L'efficacité de ces produits pourrait être largement améliorée grâce aux approches de métagénomique, via une meilleure caractérisation de leurs effets sur les fonctions du microbiote.

a. Composition et structure de l'aliment

La composition de l'aliment, en particulier celle des fractions peu digestibles par l'animal, joue un rôle important sur le microbiote dans la partie distale du

tube digestif avec des effets visibles sur les produits de fermentation (Walugembe et al., 2015). De nombreux travaux montrent l'effet des aliments sur la composition du microbiote intestinal : glucides (Walugembe et al., 2015 ; Ludvigsen et al., 2016), protéines (Stanley et al., 2014), lipides (Jozefiak et al. 2014 ; Ptak et al., 2015). L'alimentation peut aussi avoir un effet par l'intermédiaire de sa structure et des traitements technologiques qui lui sont appliqués, comme la présence de graines entières (Gabriel et al., 2008) ou des traitements thermiques (Boroojeni et al., 2014).

b. Prébiotiques

Les prébiotiques sont des molécules non-hydrolysables par les enzymes de l'animal, reconnues comme favorables au microbiote, incorporées en quantité définie directement dans l'aliment. Ils atteignent la partie distale du tube digestif où ils sont métabolisés par le microbiote. Les composés les plus étudiés et les plus utilisés sont les fructo-oligosaccharides (FOS), et les mannan-oligosaccharides (MOS) qui ont montré des effets positifs en stimulant le microbiote dans un sens jugé favorable (augmentation des *Lactobacillus*, réduction des *Clostridium*) ou en réduisant la colonisation par les pathogènes (Pourabedin et al., 2015). L'étude d'autres prébiotiques comme les xylo-oligosaccharides est plus récente. Ces composés peuvent être apportés dans l'alimentation par des matières premières naturellement riches en ces molécules : inuline de chicorée, milieu de culture de levure, ou par des actifs issus de procédés d'enrichissement (parois de levures, traitement enzymatique de la betterave sucrière, etc).

c. Enzymes

Les enzymes exogènes : xylanases, bêta-glucanases, cellulase, phytases sont utilisées avec succès depuis de nombreuses années dans les aliments destinés aux volailles. Leurs effets positifs sur la digestibilité de l'énergie des aliments et sur le phosphore sont bien documentés. Le mode d'action initialement décrit comme une réaction enzyme – substrat fournissant des composés digestibles pour l'animal est aujourd'hui largement enrichi par les observations des effets d'autres métabolites produits par ces réactions d'hydrolyse (Kiarie et al., 2013). On démontre aujourd'hui que les enzymes exogènes ont un impact sur la composition du microbiote par la production *in situ* de composés prébiotiques.

d. Les probiotiques

La possibilité d'agir sur les performances et la santé de l'animal par l'administration de micro-organismes vivants sélectionnés a été mise en œuvre depuis très longtemps. Elle donne des résultats positifs sur la santé des volailles (Bajagai et al, 2016),

mais les observations en matière de performances semblent moins consensuelles. Le caractère probiotique est totalement dépendant de la souche. Aujourd'hui des souches appartenant à plus d'une quinzaine de genres bactériens sont commercialisés en tant que probiotiques, principalement : *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*. Les probiotiques pourraient augmenter la population considérée comme favorable du microbiote, en particulier les lactobacilles et les bifidobactéries, qui inhibent la croissance de bactéries pathogènes par exclusion compétitive via la production de bactériocines et/ou d'acides organiques (Bajagai et al., 2016). De grands progrès ont été faits sur la stabilité des probiotiques à la granulation, permettant ainsi une meilleure mise en œuvre en l'alimentation animale.

e. Les huiles essentielles.

Les huiles essentielles sont produites par les plantes aromatiques et considérées comme un procédé de défenses contre les agressions extérieures : bactéries, champignons, virus, etc. Elles ont pour effet d'inhiber le développement des micro-organismes, de façon plus ou moins marquée selon leur type et selon l'espèce bactérienne. Des effets sur *E. coli*, *Salmonella*, *Clostridium perfringens* ont été démontrés (Bento et al., 2013). Ces propriétés antibactériennes pourraient avoir pour conséquences de limiter les effets du microbiote sur l'hydrolyse des sels biliaires. Ce mécanisme pourrait expliquer une partie des effets « facteurs de croissance » de ces actifs.

3. DISCUSSION : QUELLES RECHERCHES POUR FAVORISER LES APPLICATIONS CHEZ LA VOLAILLE ?

3.1 Vers une connaissance approfondie du microbiote intestinal

a. Développement d'outils et méthodes de métagénomique

Comme expliqué précédemment, le séquençage complet du métagénome est incontournable pour obtenir une image complète du potentiel fonctionnel d'un microbiote. Le projet MetaChick actuellement coordonné par l'INRA en collaboration avec de nombreuses entreprises de la filière avicole, l'ITAVI et le SYSAF, a pour objectif d'établir un catalogue de référence du microbiote caecal de poulets de chair, poules pondeuses, et lignées expérimentales élevés en France (espèce *Gallus gallus*), ce qui devrait à court terme lever ce verrou méthodologique et favoriser des approches de métagénomique quantitative et fonctionnelle. Les autres approches « -omiques » s'intéressant aux transcriptomes, protéomes, métabolomes associés au microbiote

intestinal, ainsi que la modélisation des voies métaboliques réalisées par le microbiote sont certainement également des pistes à suivre pour des applications à plus long terme et doivent être développées.

b. Mieux connaître la diversité du microbiote intestinal aviaire

Jusqu'à présent, aucune étude du microbiote n'a été assez vaste pour connaître l'étendue de la variabilité naturelle du microbiote intestinal de la poule et comment elle est façonnée par la combinaison de différents facteurs de variation (âge, alimentation, additifs alimentaires, conditions d'élevage, traitements, génétique de l'hôte, saison, région d'élevage, etc). Or ces connaissances sont essentielles aux applications visant à moduler le microbiote. En outre dans la mesure du possible une étude de diversité devrait reposer sur les fonctions du microbiote en plus des espèces, dans la mesure où la composition taxonomique n'est pas représentative des fonctions réalisées, deux compositions taxonomiques différentes peuvent théoriquement réaliser les mêmes fonctions. Il serait aussi intéressant de rechercher l'existence d'un éventuel microbiote noyau, de quelles espèces et/ou fonctions il est constitué, et s'il existe des entérotypes de la même façon que chez l'Homme (Arumugam et al., 2011) ou le porc (Ramayo-Caldas et al., 2016). Enfin il sera essentiel également à des fins d'application de connaître l'étendue des variations du microbiote : entre individus, entre lots d'animaux élevés au sein d'un même bâtiment, entre élevages, entre filières, etc.

Ces questions sont actuellement étudiées par le projet MetaChick. Les réponses apportées déboucheront sur une série de conséquences pratiques en termes de définition et validation d'outils innovants de modulation du microbiote et de l'échelle à laquelle ils pourront être utilisés.

c. Définir un microbiote favorable

Toutes les approches de diagnostic basées sur la description du microbiote ou de modulation du microbiote supposent l'existence d'un microbiote considéré comme favorable, c'est-à-dire appartenant à un animal en bonne santé avec de bonnes performances de croissance. Il s'agit de favoriser l'établissement de ce microbiote idéal après éclosion, de diagnostiquer une dysbiose comme un écart significatif par rapport à la composition idéale, ou de restaurer un microbiote favorable en cas de pathologie associée à une dysbiose.

Etant donné le niveau de variation individuelle de composition du microbiote et la multiplicité des facteurs de variation, il est difficile de définir un microbiote favorable pour toute l'espèce *Gallus gallus*. Ainsi selon le type d'hôte considéré : poule pondeuse ou poulet de chair, voire souche génétique, il est anticipé que le microbiote optimal diffère. Par

ailleurs, l'alimentation est un facteur majeur de variation. Enfin il est même envisageable qu'un microbiote favorable pour un caractère (par exemple l'efficacité digestive) soit néfaste pour un autre (par exemple, la robustesse).

Si des entérotypes sont mis en évidence chez la poule, il conviendra d'en définir les propriétés et leurs associations avec des caractères de production. Des approches pourraient alors être développées pour favoriser un entérotipe jugé plus favorable, s'il existe, plutôt qu'un ou plusieurs autres.

Pour avancer dans ce domaine, il est essentiel de mettre en regard le profil métagénomique du microbiote et un maximum de caractères de l'hôte sur de grandes populations. Par ailleurs, des études à grande échelle de la diversité rencontrée en élevage sont requises, comme celle qui est actuellement menée dans le cadre du projet MetaChick. Un microbiote favorable pourrait être plus facilement défini pour des contraintes fixes : filière, âge, lignée génétique, alimentation, conditions d'élevage fixes. Et une dysbiose pourrait être définie dans le cadre de ces contraintes, en relation avec une pathologie de l'hôte.

d. Meilleure connaissance des fonctions réalisées par le microbiote intestinal

Nous l'avons vu, si la composition taxonomique d'un microbiote apporte des informations intéressantes, la véritable clé du fonctionnement du microbiote réside plus probablement dans les fonctions véritablement réalisées, auxquelles le séquençage complet et les autres approches « -omiques » permettent d'accéder. Caractériser l'effet de différents facteurs de variation sur les fonctions réalisées et les classer/ hiérarchiser en fonction de ces effets permettrait de mieux comprendre les conséquences sur l'hôte. La définition de leviers de modulation du microbiote serait mieux ciblée et leur usage optimisé.

Les quelques études de métagénomique déjà publiées chez la poule ont déjà donné de précieuses indications sur les fonctions majoritaires du microbiote caecal (Choi et al., 2015), avec sans surprise une majorité de fonctions impliquées dans le métabolisme des glucides, dont des enzymes de dégradation des glucides complexes. Certaines de ces enzymes, notamment des glycoside hydrolases, sont absentes chez la poule. La dégradation de ces glucides conduit à la production d'acides gras à chaînes courtes essentiellement favorables à l'hôte, jouant un rôle dans la santé ou bien la régulation du métabolisme et de l'immunité. Des gènes impliqués dans le métabolisme des protéines, acides aminés et de l'azote ont également été identifiés. Un métabolisme de l'azote efficace conduirait à des animaux plus sains et plus productifs (Stanley et al., 2014). Enfin on retrouve également quelques gènes impliqués dans le métabolisme des lipides.

L'un des enjeux des futures recherches sera d'identifier des souches de micro-organismes capables de réaliser des fonctions favorables pour l'hôte, pour en faire des probiotiques ou favoriser leur multiplication au sein du tractus digestif. Un autre objectif sera de relier gènes, protéines et métabolites produits dans une approche holistique intégrant les différentes approches « -omiques » pour mieux comprendre les voies métaboliques réalisées par un microbiote donné (Mondot et Lepage, 2016). L'accès aux enzymes et aux métabolites permettrait de reconstituer les voies métaboliques pour modéliser le fonctionnement du microbiote, en particulier pour les flux de carbone. Cette approche de modélisation devrait à terme autoriser une meilleure compréhension du fonctionnement du microbiote et de ses effets sur l'hôte en lien notamment avec l'alimentation (Widder et al., 2016).

3.2 Pour quelles applications ?

a. Quels objectifs ?

Certains objectifs de la modulation du microbiote en élevage peuvent varier selon les filières de production et l'espèce considérée. Cependant, dans l'ensemble, les objectifs généraux demeurent les mêmes. Concrètement, on peut espérer améliorer par la modulation du microbiote : (i) l'efficacité de l'utilisation des aliments au profit de l'hôte en améliorant l'efficacité digestive et en optimisant le métabolisme de l'hôte, avec un effet direct sur la productivité ; (ii) La maturation puis le bon fonctionnement du système immunitaire, digestif et général, avec un effet sur les pathologies infectieuses et non infectieuses ; (iii) l'effet barrière envers les pathogènes intestinaux.

L'amélioration de ces fonctions a potentiellement un impact direct sur la productivité mais aussi la santé animale, la santé humaine via la qualité sanitaire des produits (contrôle des zoonoses, réduction des résidus) et l'environnement (réduction des rejets issus de l'élevage).

b. Quels types d'application ?

Partant des applications actuelles ou envisagées en médecine, on peut distinguer trois grands types d'applications reposant sur la description ou la modulation du microbiote intestinal.

- Diagnostic de pathologies

De nombreux travaux montrent déjà des changements de composition du microbiote intestinal associés avec des pathologies chez la poule. L'accès aux fonctions du métagénome par les approches « -omiques » devrait faciliter et optimiser l'identification de signatures de pathologies, de même que la définition de microbiotes favorables. Ces signatures seront potentiellement sources de biomarqueurs de pathologies reliées au microbiote intestinal.

- *Amélioration des caractères d'intérêt par des approches préventives*

Les outils actuellement utilisés (prébiotiques, probiotiques, additifs et alimentation) constituent surtout une stratégie préventive, dont le but est d'améliorer la robustesse des animaux, leur santé digestive et/ou leur productivité. C'est sans aucun doute le type d'application à privilégier dans l'immédiat, soit en améliorant les outils déjà existants grâce à une meilleure caractérisation de leurs effets, soit en créant des outils de prévention plus performants.

- *Traitement de pathologies*

Enfin, le traitement de pathologies par le biais de la modulation du microbiote est déjà indirectement pratiqué par des changements d'alimentation prescrits en cas d'inflammation intestinale, par exemple, mais sans connaissance des mécanismes d'action exacts et donc avec une efficacité qui pourrait être améliorée. Des traitements ciblant certaines pathologies en favorisant la restauration d'un microbiote considéré comme favorable pourraient certainement être développés. Enfin, à moyen et long terme, on peut imaginer le développement de médicaments ciblant des fonctions ou des produits du microbiote intestinal impliqués dans des pathologies de l'hôte.

3.3 Avec quels leviers d'intervention ?

L'une des applications les plus immédiates de la métagénomique sera certainement une meilleure caractérisation des effets et mécanismes d'action des outils déjà existants sur les fonctions potentielles ou réalisées par le microbiote intestinal.

a. Probiotiques

Dans un second temps, les approches « omiques » seront d'une grande aide pour la définition de probiotiques de deuxième génération plus efficaces, choisis selon les fonctions qu'ils réalisent en interaction avec le microbiote commensal et l'hôte, mais aussi pour l'étude de la durabilité de leur efficacité dans le temps.

L'évolution des stratégies de recherche de bactéries à effet probiotique est bien illustrée par le développement de probiotiques augmentant la résistance à la colonisation par les salmonelles. Les stratégies classiques reposent soit sur l'utilisation de microbiotes complexes à effet barrière issus de fientes d'animaux sains, soit sur l'identification de genres bactériens probiotiques retrouvés dans des animaux sains après infection. Plus récemment, les études se focalisent plutôt sur l'identification de bactéries réalisant une fonction connue pour son effet bénéfique, ou de consortiums bactériens constitués de bactéries réalisant des fonctions complémentaires à effets bénéfiques (Brugiroux, 2016). Les approches de métagénomique et métatranscriptomique sont bien sûr

indispensables pour remplir ces objectifs. Une dernière approche, très prometteuse, repose sur la modulation écosystémique du microbiote : elle consiste à identifier les fonctions métaboliques qui permettent au pathogène de supplanter le microbiote afin de trouver des bactéries commensales capables de rentrer en compétition avec le pathogène. Par exemple, l'infection de la barrière intestinale par *S. Typhimurium* induit une réponse inflammatoire. Les radicaux libres produits par les neutrophiles pour tuer les bactéries oxydent un composant utilisable par *Salmonella* pour sa croissance et sa respiration, ce que la plupart des bactéries commensales ne peuvent faire et qui donc permet à *Salmonella* de les supplanter (Winter et Baumber, 2011). Les approches de métagénomique devraient permettre de trouver des bactéries dans le microbiote possédant les mêmes fonctions biologiques que *Salmonella* afin de bloquer sa croissance.

b. Alimentation et prébiotiques

Nous l'avons vu, la composition de l'aliment, en particulier celle de la fraction non digestible par l'hôte constituée de glucides complexes qui est le substrat principal du microbiote intestinal, peut influencer sur la composition de ce dernier. Il est donc théoriquement possible d'ajuster la composition et la structure de l'aliment, pour parvenir à un microbiote jugée favorable. Avant d'y parvenir, il est cependant indispensable de qualifier par la métagénomique les fonctions du microbiote impactées, car la simple description de changements taxonomiques ne suffit pas, deux microbiotes de compositions différentes pouvant réaliser des fonctions similaires. Par ailleurs, il est nécessaire de constamment revoir à la lumière des résultats scientifiques récents la définition d'un microbiote favorable, la dichotomie « *Lactobacillus* favorables – *Clostridium* défavorables » étant trop simpliste.

Dans un premier temps les abondances relatives des gènes du métagénome codant pour des enzymes impliquées dans l'hydrolyse de composés alimentaires pourront être utilisées pour évaluer les capacités d'hydrolyse d'un microbiote donné. En particulier le suivi des enzymes (glycoside hydrolases GH) impliquées dans la digestion des polysaccharides est intéressant, car ces derniers sont un des principaux composants de l'alimentation des volailles. Ces enzymes ont un intérêt particulier, car les produits de leur hydrolyse bactérienne pourraient contribuer à l'apport énergétique de l'hôte ainsi qu'à des effets sur sa physiologie.

Enfin, l'identification de prébiotiques favorisant spécifiquement la croissance de bactéries réalisant des fonctions souhaitables, dont des fonctions d'hydrolyse, permettrait de fournir de nouveaux composés dit synbiotiques, constitué d'une bactérie probiotique favorable et d'un prébiotique favorisant sa croissance.

c. Pratiques d'élevage

Certaines pratiques d'élevage sont associées à des changements de composition du microbiote intestinal. Ainsi, la densité d'élevage (Guardia et al., 2011), la température (Sohail et al., 2015), le type de litière (Torok et al., 2011), le type de cage chez les poules pondeuses (Nordentoft et al., 2011), et l'accès à l'extérieur (Gong et al., 2008) entraînent des modifications. Cependant, ces connaissances ne suffisent pas pour faire de ces paramètres des leviers de modulation de microbiote. Il est nécessaire de préciser leurs effets sur les fonctions du microbiote, et de les relier avec les phénotypes d'intérêt de l'animal, mais aussi d'évaluer la durabilité des changements de composition identifiés au cours de la vie de l'animal. Selon les effets identifiés et la facilité de mise en œuvre, les pratiques d'élevage peuvent être considérées soit comme des facteurs fixes dont on peut prédire les effets sur le microbiote, soit comme des leviers d'intervention au cours de la vie de l'animal.

d. Sélection génétique

La génétique de l'hôte a un impact non négligeable sur le microbiote intestinal et son rôle est de plus en plus étudié, chez l'Homme comme chez les animaux d'élevage. Chez la poule, plusieurs études mentionnent des compositions différentes entre lignées génétiques (Lumpkins et al., 2010 ; Schokker et al., 2015). L'effet d'expériences de sélection divergente pour le poids corporel sur la composition du microbiote intestinal a montré les liens physiologiques, et peut-être génétiques, étroits entre ce caractère et la composition du microbiote (Zhao et al., 2013 ; Meng et al., 2014). Une étude est allée plus loin et a démontré, dans une population issue de lignées divergentes pour leur digestibilité, l'existence de régions génomiques contrôlant l'abondance de certains groupes bactériens (Mignon-Grasteau et al., 2015). Cette étude met ainsi en évidence l'existence d'un contrôle génétique de l'hôte sur la composition du microbiote. Les gènes en cause restent cependant à identifier.

La sélection génétique directe de gènes influençant la composition du microbiote est envisageable, à condition toutefois d'effectuer des études de génétique en conditions d'élevage commercial, et d'associer les effets causés sur les

variations du microbiote avec des effets sur les caractères d'intérêt de l'hôte. Enfin, même si la sélection génétique directe pour des gènes influençant la composition du microbiote s'avère difficile et peu efficace, il sera important à l'avenir de prendre en compte les interactions entre microbiote et hôte en identifiant le microbiote optimisant la génétique de l'hôte.

e. Développement de tests diagnostics

Le développement de tests diagnostiques nécessitera qu'un lien ait préalablement été établi de façon fiable entre un élément descripteur du microbiote intestinal (composition, diversité, richesse, fonction, espèce ou genre bactérien, etc) et une pathologie de l'hôte et/ou bien une dysbiose du microbiote intestinal. Il sera nécessaire de définir des marqueurs pertinents de la santé de l'hôte, d'identifier des modalités simples de prélèvement de microbiote en élevage et de mettre au point des tests fiables et peu coûteux.

f. Développement de médicaments ?

A plus long terme, il est possible que des médicaments ciblant les acteurs moléculaires des interactions entre microbiote, hôte et pathogène, par exemple des inhibiteurs d'hydrolases bactériennes de sels biliaires, soient développés.

CONCLUSION

Les approches de métagénomique nous fournissent un moyen sans précédent de mieux comprendre comment les relations entre le microbiote digestif, son hôte et l'environnement influencent l'expression des caractères d'intérêt de l'hôte. La complexité de ces interactions nécessite le concours de plusieurs disciplines scientifiques. Chez la volaille, l'optimisation de l'utilisation des leviers de modulation du microbiote déjà existants (additifs et alimentation) et la définition de probiotiques de seconde génération est envisageable dans un avenir proche. Enfin, le développement de ces leviers permettant l'amélioration des caractères d'intérêt en élevage implique une interaction multidisciplinaire étroite entre industriels de la filière avicole et chercheurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Apajalahti J., Kettunen A., Graham H., 2004. *Worlds Poult. Sci. J.*, (60), 223-232
 Arumugam M., Raes J., Pelletier E., Le Paslier D., Yamada T., et al., 2011. *Nature*, (473), 174-180
 Aziz Q., Doré J., Emmanuel A., Guarner F., Quigley E.M., 2013. *Neurogastroenterol. Motil.*, (25), 4-15
 Bajagai Y.S., Klieve A.V., Dart P.J., Bryden W.L., 2016. *Editor Makkar. H.P.S. FAO Animal Production and Health Paper*, No 179. 108 p.
 Bashardes S., Zilberman-Schapira G., Elinav E., 2016. *Bioinform. Biol. Insights*, (10), 19-25
 Bento M.H.L., Ouwehand A.C., Tiihonen K., Lahtinen S., Nurminen P., et al., 2013. *Vet. Med.*, (58), 449-458

- Blotière H., de Vos W.M., Ehrlich S.D., Doré J., (2013). *Curr. Opin. Microbiol.*, (16), 232-239
- Borojeni F.G., Vahjen W., Mader A., Knorr F., Ruhnke I., et al., 2014. *Poult. Sci.* (93), 1440-1452
- Brugiroux S., Beutler M., Pfann C., Garzetti D., Ruscheweyh H.J., et al., 2016. *Nat. Microbiol.*, (2), 16215
- Calenge F., Martin C., Le Floch N., Phocas F., Morgavi D., et al., 2014. *INRA Prod. Anim.*, (27), 209-222
- Cho I., Blaser M.J., 2012. *Nat. Rev. Genet.*, (13), 260-270
- Choi K.Y., Lee T.K., Sul W.J., 2015. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, (28), 1217-1225
- Clemente J.C., Ursell L.K., Parfrey L.W., Knight R., 2012. *Cell* (148), 1258-1270.
- Czerwinski J., Hojberg O., Smulikowska S., Engberg R.M., Mieczkowska A., 2010. *Br Poult Sci.* (51), 258-269.
- Danzeisen, J. L., Kim, H. B., Isaacson, R. E., Tu, Z. J., Johnson, T. J., 2011. *Plos One* 6(11): e27949.
- de Wouters T., Ledue F., Nepelska M., Doré J., Blotière H.M., Lapaque N., 2014. *PLoS ONE*, (9), e105598.
- Derrien M., Veiga P., 2017. *Trends Microbiol.* (25), 100-112
- Dzutsev A., Goldszmid R.S., Viaud S., Zitvogel L., Trinchieri G., 2015. *Eur. J. Immunol.*, (45), 17-31
- Franzosa E.A., Morgan X.C., Segata N., 2014. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, (111), E2329-E2338
- Gabriel I., Mallet S., Leconte M., Travel A., Lalles J.P., 2008. *Animal Feed Science and Technology*, (142), 144-162.
- Gabriel, I., Lalande, J. Tea, I., Gondret, F., Lagarrigue, S., Baéza, E., et al., 2015. 11ème Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à foie gras, Tours. 565-569
- Gong J., Yu H., Liu T., Gill J.J., Chambers J.R., Wheatcroft R., et al., 2008. *J. Appl. Microbiol.*, (104), 1372-1382.
- Guardia S., Konsak B., Juin H., Lessire M., Rideaud P., Moreau-Vauzelle C., et al., 2011. *Poult. Sci.*, (90), 1878-1889
- Jozefiak D., Kieronczyk B., Rawski M., Hejdysz M., Rutkowski A., Engberg R.M., Hojberg O., 2014. *Animal*, (8), 912-922
- Kiarie E., Romero L.F., Nyachoti C.M., 2013. *Nutr. Res. Rev.*, (26), 71-88.
- Le Chatelier E., Nielsen T., Qin J., Prifti E., Hildebrand F., Falony G., et al., 2013. *Nature*, (500):541-6.
- Li, J., Jia, H., Cai, X., Zhong, H., Feng, Q., Sunagawa, S., et al., 2014. *Nat Biotechnol*, (32), 834-841.
- Lu, J., Hofacre, C. L., Lee, M. D., 2006. *J. Appl. Poult. Res.*, (15), 145-153
- Ludvigsen J., Svihus B., Rudi K., 2016. *Front. Vet. Sci.*, (3), 16
- Lumpkins B. S., Batal A. B., Lee M. D., 2010. *Poult. Sci.*, (89), 1614-1621
- Meng H., Zhang Y., Zhao L., Zhao W., He C., Honaker C.F., et al., 2014. *PLoS One*, (9), e89862.
- Mignon-Grasteau S., Narcy A., Rideau N., Chantry-Darmon C., Boscher M.Y., Sellier N., et al., 2015. *PLoS ONE*, (10), e0135488.
- Mondot S., Lepage P., 2016. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, (1372), 9-19
- Mondot S., de Wouters T., Doré J., Lepage P., 2013. *Dig. Dis.*, (31), 278-85
- Neumann A.P., Suen G., 2015. *J. Appl. Microbiol.*, (119), 1515-26
- Nielsen H.B., Almeida M., Juncker A.S., Rasmussen S., Li J., Sunagawa S., Plichta D.R., et al., 2014. *Nat. Biotechnol.*, (32), 822-8
- Nordentoft S., Molbak L., Bjerrum L., De Vylder J., Van Immerseel F., Pedersen K., 2011. *BMC Microbiol.*, (11), 187
- Oakley B.B., Lillehoj H.S., Kogut M.H., Kim W.K., Maurer J.J., Pedrosa A. et al., 2014. *FEMS Microbiol. Lett.*, (360), 100-112
- Pauwels J., Taminiau B., Janssens G.P., De Beenhouwer M., Delhalle L., Daube G., Coopman F., 2015. *J. Microbiol. Methods*, (117), 164-70
- Perumbakkam S., Hunt H.D., Cheng H.H., 2014. *FEMS Microbiol. Ecol.*, (90), 300-12.
- Pitt J.M., Vétizou M., Waldschmitt N., Kroemer G., Chamaillard M., Boneca I.G., Zitvogel L., 2016. *Cancer Res.*, (76), 4602-7
- Polansky, O., Sekelova, Z., Faldynova, M., Sebkova, A., Sisak, F., Rychlik, I., 2016. *Appl. Environ. Microbiol.*, (82): 1569-1576
- Pourabedin M., Zhao X., 2015. *FEMS Microbiol. Lett.*, (362), fnv122
- Ptak A., Bedford M.R., Swiatkiewicz S., Zyla K., Jozefiak D., 2015. *Plos One*, (10), 3
- Qin J., Li R., Raes J., Arumugam M., Burgdorf K.S., Manichanh C., et al., MetaHIT Consortium, Bork P., Ehrlich S.D., Wang J., 2010. *Nature*, (464), 59-65
- Qin N., Yang F., Li A., Prifti E., Chen Y., Shao L., et al., 2014. *Nature*, (513), 59-64
- Qu, A., Brulc, J.M., Wilson, M.K., Law, B.F., Theoret, J.R., Joens, L.A., et al., 2008. *PLoS One* (8), e2945.
- Ramayo-Caldas Y., Mach N., Lepage P., Levenez F., Denis C., Lemonnier G., et al., 2016. *ISME J.*, (10), 2973-2977
- Schokker D., Veninga G., Vastenhouw S. A., Bossers A., de Bree F.M., Kaal-Lansbergen L. M., et al., 2015. *BMC Genomics*, (16), 418
- Sergeant, M. J., Constantinidou, C., Cogan, T. A., Bedford, M. R., Penn, C. W., Pallen, M. J., 2014. *PLoS One*, (9), e91941.
- Singh Y., Ravindran V., Wester T.J., Molan A. L., Ravindran G., 2014. *Poult. Sci.*, (93), 607-616

- Sohail M.U., Hume M.E., Byrd J.A., Nisbet D.J., Shabbir M.Z., Ijaz A., et al., 2015. Avian Pathol., (44), 67-74
- Stanley, D., Wu, S. B., Rodgers, N., Swick, R. A., Moore, R. J., 2014. PLoS One (9), e104739
- Stanley, D., et al., 2014. Appl. Microbiol. Biotech., (98), 4301-4310
- Stanley D., Geier M.S., Chen H., Hughes R.J., Moore R.J., 2015. BMC Microbiol., (15), 51
- Stanley, D., Hughes, R. J., Geier, M. S., Moore, R. J., 2016. Front. Microbiol., (7), 187
- Torok V.A., Hughes R.J., Mikkelsen L.L., Perez-Maldonado R., Balding K., MacAlpine R., et al., 2011. App. Env. Microbiol., (77), 5868-5878
- Vasari F., Brugirard Ricaud K., Bernadet M.D., Cauquil L., Bouchez O., Combes S., Davail S., 2014. FEMS Microbiol Lett, (87), 204-216
- Walugembe M., Hsieh J. C., Koszewski N. J., Lamont S. J., Persia M. E., Rothschild M. F., 2015. Poult. Sci., (94), 2351-2359
- Widder S., Allen R.J., Pfeiffer T., Curtis T.P., Wiuf C., Sloan W.T., et al., 2016. ISME J., (10), 2557-2568
- Wilkinson N., Hughes R.J., Aspden W.J., Chapman J., Moore R.J., Stanley D. 2016. Appl. Microbiol. Biotechnol., (100), 4201-9
- Winter S.E., Bäuml A.J., 2011. Gut Microbes, (2), 58-60
- Witzig M., Carminha-Silva A., Green-Engert R., Hoelzle K., Zeller E., Seifert J. et al., 2015. PLoS ONE, (10), e0143442
- Xiao L., Estellé J., Kiilerich P., Ramayo-Caldas Y., Xia Z., Feng Q., et al., 2016. Nat. Microbiol., (16161). doi: 10.1038/nmicrobiol.2016.161
- Xiao L., Feng Q., Liang S., Sonne S.B., Xia Z., Qiu X., et al, 2015. Nat. Biotechnol., (33), 1103-8
- Yarza P., Yilmaz P., Pruesse E., Glöckner F.O., Ludwig W., Schleifer K.H., et al., 2014. Nat. Rev. Microbiol., (12), 635-645
- Zhao L., Wang G., Siegel P., He C., Wang H., Zhao W., et al, 2013. Scientific Reports, (3), 1163

Figure 1. Les grandes étapes de l'approche métagénomique ; la constitution d'un catalogue de référence permet la quantification des gènes bactériens dans un échantillon de microbiote.

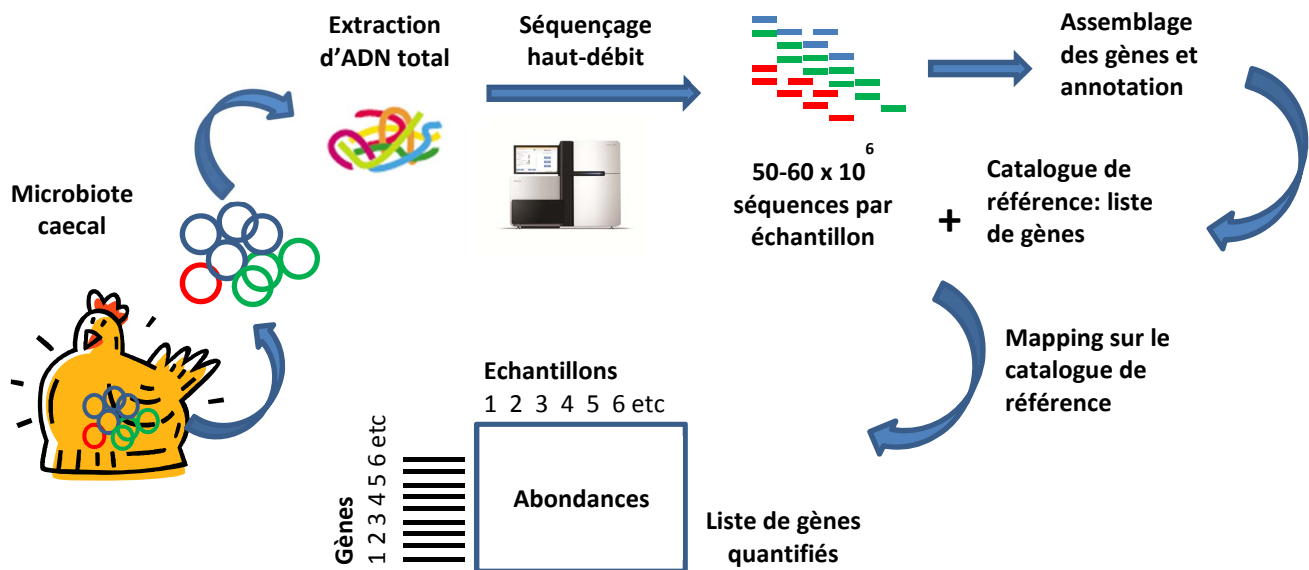
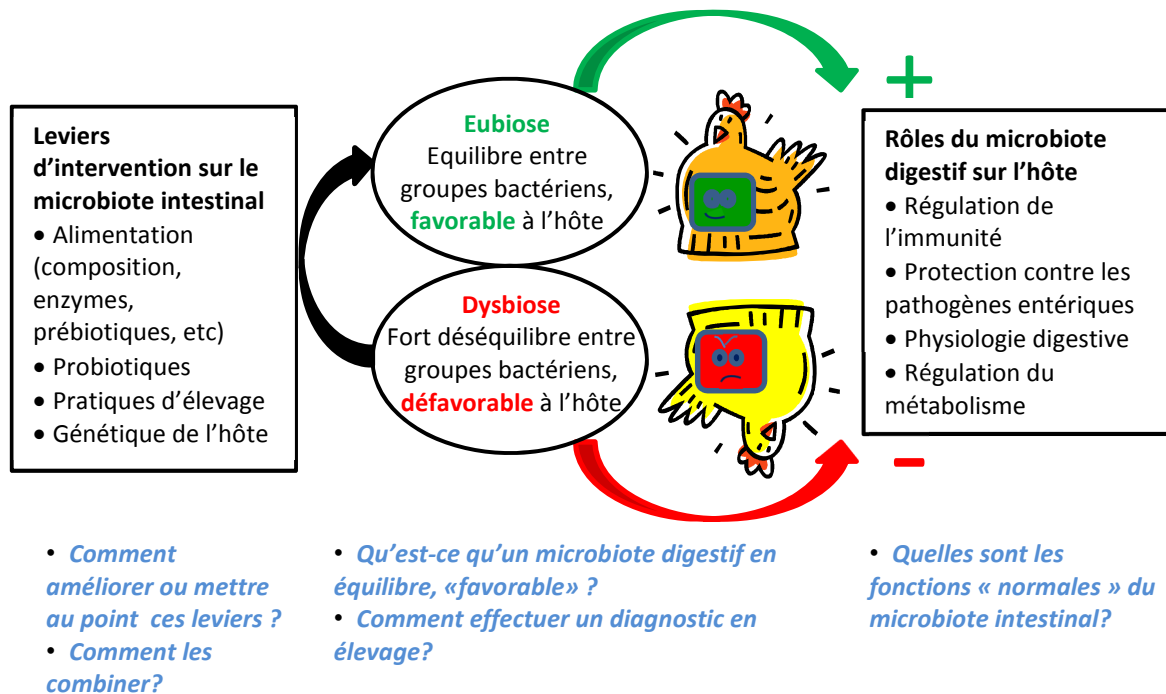


Figure 2. Potentiel offert par la modulation du microbiote intestinal et quelques-unes des questions à adresser par les approches de métagénomique



ELEVAGE DE PRECISION ET BIG DATA : UN NOUVEAU CHALLENGE POUR LA FILIERE AVICOLE

Berckmans Daniel¹, Norton Tomas¹

¹ *Université de Leuven M3-BIORES (Measure, Model & Manage Bio Responses) – Kasteelpark
Arenberg 30 – box 2456 – 3001 LEUVEN – Belgique*

daniel.berckmans@kuleuven.be

RÉSUMÉ

Un des objectifs de l'Élevage de Précision (EP) est l'automatisation complète et continue du suivi de l'animal (à l'échelle individuelle) en utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) (capteurs, caméras, microphones, etc.) en tant que partie intégrante du système de gestion de l'élevage. L'EP permet l'assistance aux éleveurs par l'automatisation continue du monitoring et le déclenchement d'alertes pour l'amélioration immédiate du statut de l'animal. Un certain nombre d'outils d'EP a été développé au niveau des laboratoires en tant que prototypes ou produits commerciaux qui sont d'ores et déjà disponibles pour les éleveurs. Le projet EU-PLF récemment terminé a permis d'étudier comment ces technologies développées en laboratoire pouvaient être transposées en élevages commerciaux et comment les éleveurs se les étaient appropriées pour générer une plus-value. Un des principaux résultats du projet démontre que ces technologies construites autour du monitoring animal peuvent être effectivement adoptées en élevage commercial et que cela est bénéfique pour les éleveurs grâce au monitoring 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. Cette technologie peut entre autres amener l'éleveur à identifier précisément les animaux nécessitant son attention.

Des équipements d'EP ont été installés dans 20 élevages sélectionnés (5 en poulets de chair, 10 en porcs à l'engraissement et 5 en vaches laitières) et répartis à travers l'Europe. Dans ces fermes, les données collectées grâce à des capteurs, les images et les bandes sonores étaient stockées puis traitées avec des algorithmes. De plus, les systèmes d'EP calculaient des scores d'EP basés sur l'automatisation continue du monitoring. Enfin, les éleveurs étaient formés à l'utilisation de cette technologie et des visites et réunions étaient programmées afin que les éleveurs puissent faire un retour d'expérience sur l'utilisation de ces systèmes EP dans les élevages commerciaux.

Dans le projet, les chercheurs ont également évalué le nombre de données générées par les TIC issues de microphones, caméras et capteurs durant le jour et la nuit. L'utilisation d'algorithme en temps réel a mis en évidence l'ampleur du traitement de données pouvant et devant être effectué dans le domaine de l'élevage. L'objectif de cet article est de partager quelques résultats du concept d'EP.

ABSTRACT

Precision Livestock Farming (PLF) aims to realise the fully automated continuous monitoring of (individual) animals by using modern information and communication technology (sensors, cameras, microphones, etc.) as part of the livestock farm management system. PLF assists livestock producers through automated, continuous monitoring and giving early warnings for immediate improvement of the status of the animals. A number of PLF tools have been developed at laboratory level as prototypes and as commercial products that are now available for farmers. In the recently finished EU-PLF project it was analysed how this technology should be used by farmers and how this new approach can create value for the farmer. A main result is that the project demonstrated that these technology based monitoring systems indeed can work in commercial farms and that this can help the farmer by automated monitoring 24 hours a day 7 days a week. This technology can bring the farmer to the animals that needs his attention.

Twenty farms (5 broiler, 10 fattening pig, and 5 milking cow farms) spread over Europe were selected and PLF equipment was installed. In these farms, sensor data, images and sound data were stored and PLF algorithms run on these data. The PLF systems calculated "PLF scores" based upon fully automated continuous monitoring. Farmers were trained to use the technology while visits and meetings were organised to understand farmers' response to the use of these PLF systems on the commercial farms.

In the project researchers also experienced how many data are generated by systems that use information from microphones, cameras and sensor during day and night. In combination with the use of real-time algorithms this gave us an insight in how the big data analysis could and should be done in the livestock sector. The objective of this paper is to share some results of this vision.

INTRODUCTION

La taille des élevages a augmenté rapidement sur une courte échelle de temps et continuera d'augmenter à l'avenir. Le changement des habitudes alimentaires dû à l'augmentation du pouvoir d'achat dans certains pays comme le Brésil, la Russie, l'Inde ou encore la Chine va engendrer une augmentation de la demande du marché des produits animaux dans les années à venir. Les prévisions réalisées jusqu'à présent estiment une augmentation mondiale des produits animaux de 40 à 70% en 2050 (FAO, 2013 ; FAO, 2015). Cela aura pour conséquence une augmentation du nombre d'animaux élevés et d'éleveurs. Les conséquences logiques sont qu'avec des troupeaux de taille plus importante, l'éleveur devra s'occuper d'un plus grand nombre d'animaux avec peu de temps à sa disposition pour le faire notamment à l'échelle animale individuelle.

Parallèlement, des questionnements émergent sur la santé et le bien-être animal dans ces troupeaux élargis. Les transmissions de pathologies de l'animal à l'homme posent de plus en plus de questions aujourd'hui et la thématique de santé animale est au cœur des débats actuels. De plus, un nombre conséquent de données met en avant la surconsommation d'antibiotiques (Aarestrup, 2012) avec plus de 50 % de l'utilisation mondiale issus du domaine de l'élevage. En Europe, plus de 25 000 personnes meurent chaque année d'infections auparavant curables par des antibiotiques (Verstringe, 2015).

Afin de développer des systèmes d'élevage plus durables, une problématique importante doit être résolue : l'impact environnemental trop important des troupeaux actuels. Par exemple, il est estimé que 92 % de l'ammoniac dans l'environnement est issu des productions animales (Asman et Janssen, 1987).

Le concept d'Élevage de Précision est de réaliser un monitoring continu et entièrement automatisé par l'usage de caméras, microphones et/ou de capteurs afin de permettre de prendre immédiatement les actions adéquates à l'amélioration du statut des animaux (Berckmans, 2013). Ces méthodes divergent de l'époque où un éleveur pouvait prendre le temps de suivre chaque animal individuellement. Lorsqu'un éleveur prend 4 heures par jour pour effectuer uniquement un monitoring audio-visuel de ses animaux, un éleveur de poulets de chair avec 120000 volailles n'aurait que 0,12 secondes par animal par jour pour effectuer ce suivi. Un éleveur porcin avec 5000 animaux devrait y passer 2,9 secondes par porc et un éleveur bovin avec 150 vaches devrait y passer 96 secondes par animal et pour 1000 vaches seulement 14 secondes par animal et par jour.

Le développement des TIC est en cours depuis 20 ans dans des conditions expérimentales au laboratoire (Vanderstuyft et al., 1991). Le comité européen de l'EP a organisé récemment sa 7^{ème} conférence (ECPLF2015). Plus de 1000 articles scientifiques ont été publiés dans les deux dernières conférences. La majorité des sujets de recherche ont été traités dans des laboratoires ou fermes expérimentales. Il convient maintenant de mettre en pratique cet EP dans des élevages commerciaux plutôt que de développer encore de nouvelles technologies en conditions expérimentales.

La Commission Européenne a amorcé le projet Européen EU-PLF sur la création de valeur ajoutée à travers l'EP. Cela a permis l'installation de technologies d'EP dans 20 exploitations réparties à travers l'Europe afin de permettre aux éleveurs d'utiliser et tester ces technologies.

Les chercheurs ont pris conscience de la quantité de données que ces systèmes d'EP génèrent en étant opérationnels 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. Cela a permis de comprendre comment le big data peut être géré concrètement dans le domaine de l'élevage pour apporter une vraie plus-value pour l'éleveur et les parties prenantes.

L'objectif de cet article est de partager un retour d'expérience (1) sur l'utilisation d'une telle quantité de données, (2) des échanges et discussions sur le sujet au cours des dernières années et (3) du projet Européen sur les technologies EP en élevages commerciaux de porcs, bovins laitiers et poulets de chair.

1. MATERIELS ET METHODE

Le développement des TIC permet l'installation de caméras, microphones et capteurs au plus près des animaux afin de remplacer les yeux et oreilles de l'éleveur dans le monitoring individuel des animaux. L'EP crée ainsi des alertes et des outils de management qui permettent à l'éleveur de monitorer ses animaux de façon automatique et d'engendrer une vraie plus-value en facilitant l'amélioration de la santé et du bien-être animal, des performances technico-économiques et de l'impact environnemental des élevages.

Dans 10 élevages de porcs d'engraissement et 5 élevages de poulets de chair, le système de caméra eYeNamic (Fancos aux Pays Bas) et le système Pig Cough Monitor (SoundTalks en Belgique) ont été installés. Le système eYeNamic photographie l'élevage et analyse en temps réel la répartition et le comportement des poulets de chair (figures 1 et 2). Le système SoundTalks effectue une analyse en temps réel de tous les sons produits par les animaux pour donner une alerte précoce de problèmes respiratoires (Figure 3).

Les réglages actuels du système caméra eYeNamic calcule deux variables (Berckmans et al., 2013) : l'activité et la répartition des volailles. Il a été démontré que l'analyse en temps réel d'images de porcs est bien corrélée avec les observations des comportements réalisées par l'homme (Ott et al., 2014). Les résultats de l'analyse en temps réel montrent que le système eYeNamic peut détecter 95,3% de tous les problèmes qu'ont rencontré et noté les éleveurs (figure 4) (Kashiha et al., 2014).

Les exploitations sélectionnées sont réparties sur plusieurs pays européens (Espagne, Italie, Pays Bas, France, Belgique, Suède, Hongrie, Danemark, Irlande, Allemagne et Israël) avec des conditions météorologiques et des itinéraires techniques variés. L'installation de systèmes d'EP a permis la collecte de données de 60 cycles de production par espèce au cours du projet.

2. EXEMPLES DE TECHNOLOGIES EP EN ELEVAGES COMMERCIAUX

L'avantage des microphones et des caméras est que les mesures sont effectuées sans contact avec l'animal évitant ainsi toute perturbation éventuelle dû aux appareils. La bibliographie décrit que l'analyse des sons a un fort potentiel dans le monitoring sur divers aspects du statut des troupeaux (Van Hirtum et Berckmans, 2002 ; Guarino et al., 2008 ; Vandemeulen et al., 2013). Des algorithmes ont été développés et validés au laboratoire permettant la distinction entre les toux porcines et les autres sons de l'environnement. Au départ, ces algorithmes étaient capables de faire la distinction entre différents sons, puis entre les toux porcines et sons de l'environnement et enfin entre les toux pathologiques et non pathologiques. Il a été démontré que les algorithmes actuellement utilisés peuvent donner une alerte d'infection respiratoire jusqu'à 10 jours avant que l'éleveur ne la remarque (Berckmans et al., 2015).

Concernant l'analyse d'images, la littérature nous indique qu'elle peut révéler énormément d'informations (en temps réel) à l'échelle animale individuelle ou sur des interactions entre animaux (Van Der Stuyft, 1991 ; Kashiha et al., and 2014). La validation des algorithmes de sons sur le terrain dans une porcherie en Lombardie (Italie) a mis en avant que les algorithmes développés étaient capables de correctement classer les toux (pathologiques et non pathologiques) dans 86% des cas (Guarino et al., 2044). Le récent projet EU-PLF, des experts ont visité les élevages porcins et ont comptabilisé le nombre de toux (447 toux ont été recensées dans 4 élevages en Norvège, Hongrie, France et Espagne, sur six périodes de mesures réparties au travers des saisons). La base de données résultante des toux recensées par les experts a été comparée à celle de la technologie EP. Les résultats montrent que la technologie EP est plus rapide que les observations d'éleveurs ou de

vétérinaires pour la détection de pathologies respiratoires. Ceci s'explique par le fait que la technologie du son permet l'enregistrement de 20 000 échantillons par seconde avec une analyse continue et la génération de signaux d'alertes précoces. La technologie EP peut détecter les problèmes jusqu'à 10 jours avant que l'éleveur les ait repérés voire détecter des problèmes non identifiés par l'éleveur.

3. LE BIG DATA GENERE PAR LES TECHNOLOGIES EP

Grâce aux deux exemples illustrés dans le projet EU-PLF sur l'analyse audiovisuelle en temps réel du monitoring des troupeaux, l'utilisation en continue de systèmes EP peut en effet agir en tant qu'outil d'alerte précoce et générer une plus-value pour l'éleveur.

La perception du public sur l'analyse du Big Data est que la collecte et le stockage de toutes les données fait partie d'une nouvelle technologie entièrement automatisée réalisant de l'analyse des données brutes pour apporter des informations pertinentes (le soit disant concept d'algorithme « intelligent » ou algorithmes d'« auto-apprentissage »).

En regardant de plus près la quantité de données générées, il est évident que celle-ci est colossale avec un système audio qui collecte 20 000 données par secondes. Par exemple, si la totalité des données brutes devait être stockée, comme cela est communément fait lors du développement d'algorithmes, on aurait alors 72 millions de données par heure, 1,728 milliards par jour et 51,8 milliards par mois. L'enregistrement des sons sur une période d'engraissement de poulets de chair générerait alors 72,6 milliards de chiffres et 207,4 milliards pour les porcs. Concernant la technologie d'imagerie, 25 images sont générées par secondes (ou 90 000 par secondes pour les caméras haute résolution) qui contiennent chacune 2.073.600 valeurs de gris ou couleur (en utilisant une résolution Microsoft Kinect V2 de 1920x1080). Avec le même type de raisonnement que pour l'audio, on aurait alors 7,5 mille milliard de chiffres par période d'engraissement pour les poulets de chair et 32,2 mille milliards de chiffres pour les porcs. Ces chiffres mettent en avant le fait qu'il n'est pas possible de regrouper toutes ces données dans la soit disant « analyse big data » pour une analyse en temps réel.

Dans l'euphorie des nouvelles technologies et de « l'internet des objets », beaucoup d'exagérations entourent actuellement l'analyse du Big Data. Les trois arguments suivants expliquent pourquoi l'analyse du big data n'est pas gérable pour des systèmes EP en temps réel. Premièrement, comme démontré précédemment, la quantité de chiffres à envoyer à la base de données est trop importante pour s'attendre à des alertes précoces en temps réel. Deuxièmement, envoyer cette quantité astronomique

de données requiert une énorme quantité d'énergie. Le transfert de données de capteurs portatifs demande plus d'énergie que le calcul de paramètres variables issus de données brutes. Troisièmement, il n'existe pas de raisonnement cohérent pour justifier le regroupement de données brutes avec d'autres variables qui ne sont uniquement accessibles qu'à des niveaux plus élevés, comme dans les bases de données de l'élevage (conversion alimentaire, taux de croissance, performances technico-économiques par exemple).

Une solution envisageable est de faire tourner les algorithmes en temps réel à l'échelle du microphone, de la caméra ou du capteur et de renvoyer uniquement les informations pertinentes ou les paramètres variables. En envoyant les données d'activité et de répartition des animaux toutes les 20 secondes, le flux de données est réduit de 25 images (chaque image comptant 1920 x 1080 chiffres par secondes) fois 20 secondes ce qui donne 1,036 milliards de données à 60 chiffres toutes les 20 secondes (niveau d'activité, distribution spatiale et temps horaire). Cela réduit le flux de données de 99,99 %. Pour les données audio, la réduction est encore plus importante.

Il y a deux raisons principales pour faire tourner les algorithmes à un niveau supérieur. La première est de faire le lien entre les informations pertinentes comme le poids des animaux, la consommation d'aliment, l'agressivité ou les infections avec d'autres critères pertinents disponibles à une autre échelle comme l'indice de consommation, la mortalité, le prix de la viande, etc. La deuxième raison est de préserver la confidentialité de ces algorithmes intelligents dont le développement demande beaucoup d'expertise, de temps, d'argent et d'efforts. En effet, comme ils sont intégrés, ils ne sont jamais complètement protégés.

CONCLUSION

De nombreuses technologies EP ont été développées pour différentes espèces au cours de ces dernières années. En revanche, la plupart de ces technologies EP ont été développées et testées en laboratoire. Au lieu de continuer à développer de nouvelles technologies, il convient de tester l'existant dans les élevages commerciaux. Grâce aux résultats du projet EU-PLF et aux publications scientifiques qui en résultent, nous pouvons conclure que l'analyse audiovisuelle permet de générer des résultats qui concordent aux mesures de références et aux scores des experts dans les élevages porcins et de poulets de chair commerciaux. Un avantage non négligeable de la technologie EP est l'automatisation continue du suivi des animaux, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

Grâce au projet récemment terminé EU-PLF, il a été expérimenté et démontré que la technologie EP pouvait effectivement être opérationnelle dans les élevages commerciaux de porcs d'engraissement, de volailles de chair et de bovins laitiers. La prochaine étape est d'analyser et développer une approche réaliste pour faire tourner les algorithmes et générer plus de valeur ajoutée pour les éleveurs et les parties prenantes. Il est également nécessaire, comme l'a illustré cet article, de modifier la perception du public qui conjugue l'analyse du big data et l'internet des objets dans le monde de l'élevage pour une approche rationnelle et une conception réfléchie.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier tous les partenaires du projet et la Communauté Européenne pour sa participation financière au projet collaboratif EU-PLF KBBE, accord de Grant n°311825 du septième programme-cadre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aarestrup, F.m 2012. Sustainable farming: Get pigs off antibiotics. *Nature*. 486 (7404): 465–66. doi: 10.1038/486465a.
- Asman W.H. and A. Janssen, 1987. A long-range transport model for ammonia and ammonium for Europe. *Atmospheric Environment*. 21 (10), 2099–2119.
- Berckmans D., 2013. Basic principles of PLF: Gold standard, labelling and field data. In *Proceedings of the 6th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF2013*, Leuven, 21-29.
- Berckmans Dries, Hemelryck M., van Waterschoot T. , 2015. Animal sound ...talks! Real-time sound analysis for health monitoring in livestock. In *Proceedings of the 2015 International Symposium on Animal Environment and Welfare*, Chongqing, China October 23-26, 2015, 11 pages.
- EU-PLF, 2015: European Collaborative Project EU-PLF KBBE.2012.1.1-02-311825 under the Seventh Framework Programme.
- FAO. 2013. *FAO Statistical Yearbook 2013: World Food and Agriculture*. Rome.
- FAO. 2015 Mottet A., 2015. Keynote speech at the 7th European Conference on Precision Livestock Farming, Milan, September 15-18, 2015
- Guarino, M., P. Jans, A. Costa, J.-M. Aerts, and D. Berckmans, 2008. Field test of algorithm for automatic cough detection in pig houses. *Computers and Electronics in Agriculture*. 62 (1): 22–28. doi:10.1016/j.compag.2007.08.016.

- Kashiha A., C. Bahr, S. Ott, C. Moons, T. Niewold, F. Tuytens, and D. Berckmans, 2014. Automatic monitoring of pig locomotion using image analysis. *Livestock Science*, 159, 141-148.
- Ott S., C. Moons, M. Kashiha, C. Bahr, F. Tuytens, D. Berckmans, and T. Niewold, 2014. Automatic video analysis of pig activity at pen level highly correlates to human observations of behavioural activities. *Journal of Livestock Science*. 160, 132-137.
- Vandermeulen, J-W-D., D. Berckmans, V. Exadaktylos, C. Bahr, and D. Berckmans. 2013. The pig cough monitor: From research topic to commercial product. In *Proceedings of Precision Livestock Farming '13*, 717–23. Leuven. <https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/418316>.
- VanderStuyft E., C.P. Schofield, J.M. Randall, P. Wambacq, and V. Goedseels, 1991. Development and application of computer vision systems for use in livestock production. *Computer Electronic Agriculture*. 6, 243-265.
- Van Hirtum A., and D. Berckmans, 2002. Assessing the sound of cough towards vocality. *Medical Engineering and Physics*. 24(7-8):535-540.
- Verstringe S., 2015. Keynote speech at the 7th European Conference on Precision Livestock Farming, Milan, September 15-18, 2015. FAO 2015

Figure 1. Le système camera eYeNamic pour le monitoring du comportement des poulets de chair

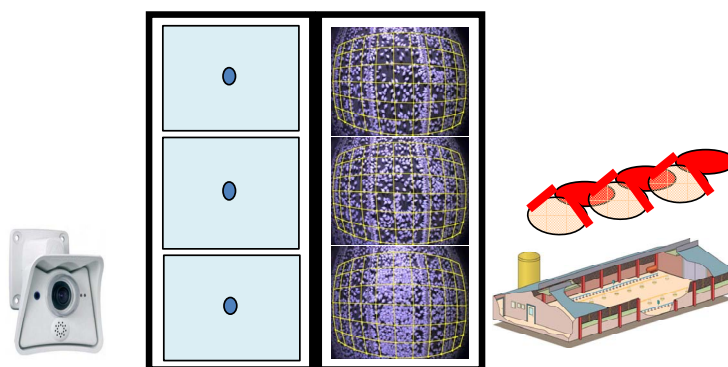


Figure 2. Images utilisées par le système en temps réel eYeNamic pour calculer l'activité animale, l'indice d'occupation spatiale et la distribution des animaux

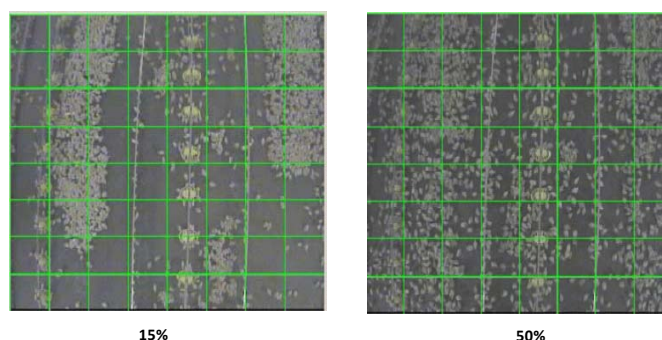


Figure 3. Corrélation entre l'indice de détresse respiratoire issu du système EP SoundTalks et les toux comptabilisées par les experts humains (Berckmans Dries et al, 2015)

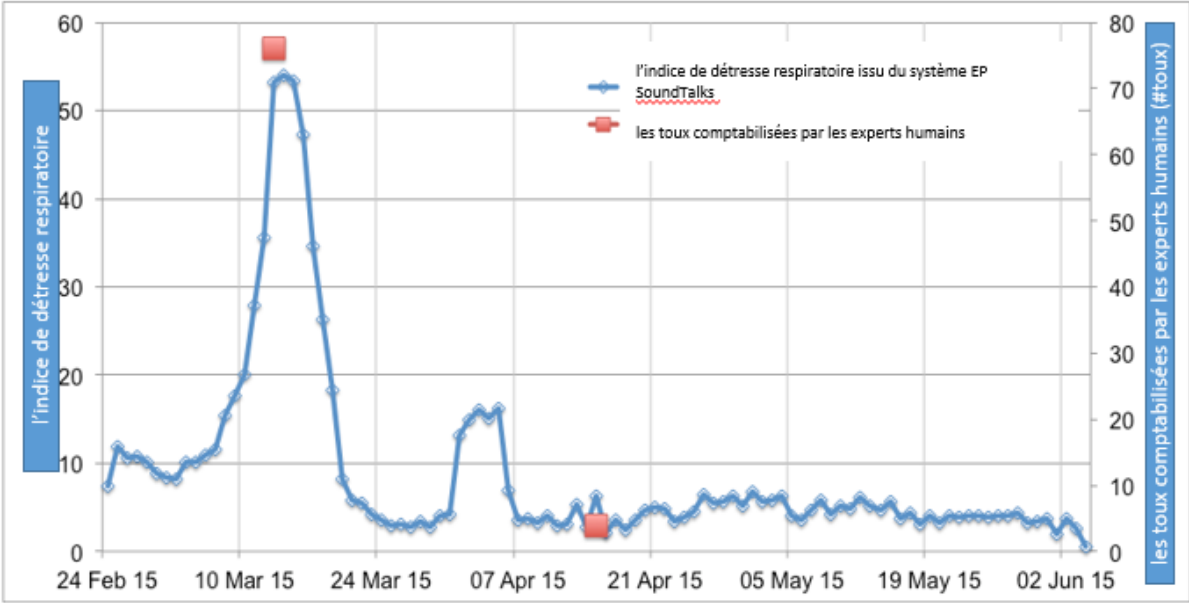
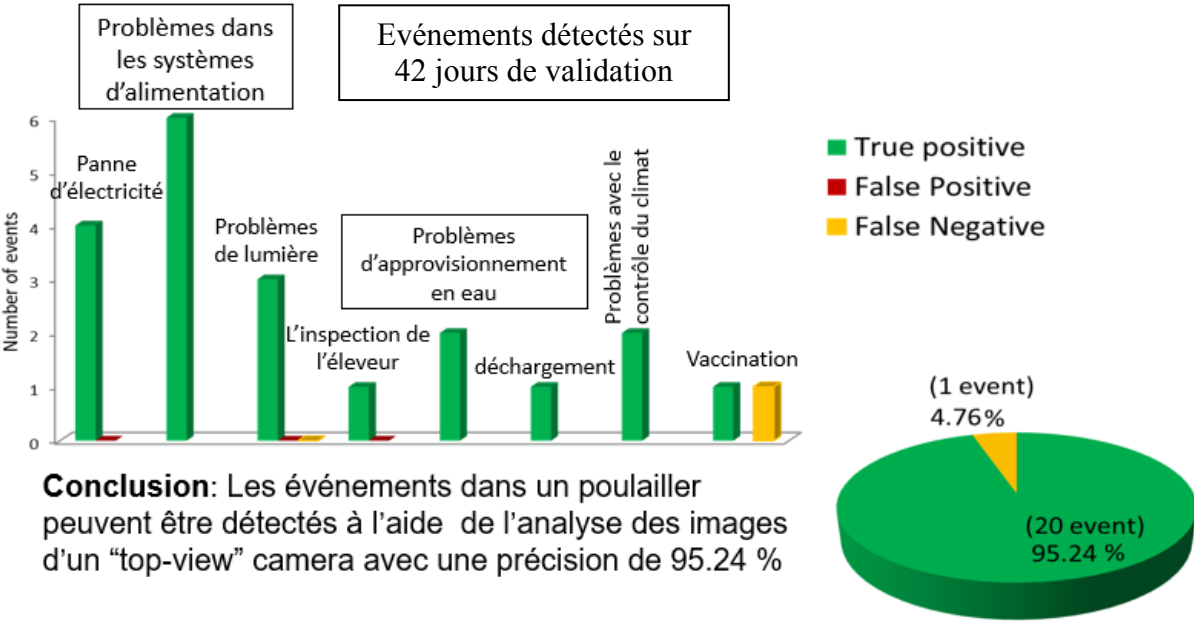


Figure 4. Résultats de l'algorithme eYeNamic pour la détection de problèmes lors de l'engraissement de poulets de chair sur une période de 42 jours.



ELEVAGE DE PRECISION ET BIG DATA : UN NOUVEAU CHALLENGE POUR LA FILIERE AVICOLE

Créach Pauline¹, Doutart Elodie² et Bouvarel Isabelle³

¹ ITAVI – Zoopôle Beaucemaine – 41 rue de Beaucemaine – 22440 PLOUFRAGAN, ² Institut de l'Elevage – 149 rue de Bercy – 75012 PARIS, ³ ITAVI – Centre INRA Val de Loire – 37380 NOUZILLY

creach@itavi.asso.fr

RÉSUMÉ

L'élevage de précision (Edp) se définit comme l'utilisation coordonnée de technologies pour mesurer différents paramètres sur l'animal et son environnement, pour améliorer le suivi et la gestion de l'élevage. L'Edp consiste à gérer en temps réel des données de différentes natures (données sur les animaux, leur consommation, l'ambiance...). Ces données aident l'éleveur dans ses prises de décision (ex. gestion de la ventilation ou du chauffage). L'Edp utilise ainsi les technologies de l'information et de la communication pour échanger, transformer et restituer l'information à l'éleveur. L'usage d'automates et de robots peut aussi être associé à l'Edp et permet à l'éleveur de se décharger de tâches pénibles.

Demain, l'élevage de précision pourra ainsi gérer en temps réel des paramètres plus fins relatifs à la production, la santé, et le bien-être des animaux. Un des enjeux majeurs est d'apprendre des données multiples qui sont générées, et de les valoriser pour concevoir et développer des outils de pilotage de l'élevage. Des applications pour smartphone utilisées hors cadre agricole sont présentées comme des exemples potentiellement transposables aux filières avicoles. Autre défi pour demain, l'adaptation de technologies utilisées dans d'autres domaines pour des applications en aviculture, comme l'analyse d'image pour le suivi des animaux. Cette partie plus prospective permettra d'identifier des pistes de travail pour l'avenir des filières avicoles.

Cette révolution numérique se présente comme un moyen de repenser les systèmes de production. Elle permettra aussi de favoriser et faciliter la communication entre les acteurs des filières avicoles (traçabilité des produits et transparence entre acteurs). Les technologies de précision génèrent une immense quantité de données, de formats et de sources variés. Les enjeux sont ainsi le partage de ces données entre opérateurs et leur traitement pour concevoir et développer des outils de pilotage performants.

ABSTRACT

Precision livestock farming and big data: a new challenge for poultry sector

Precision Livestock Farming (PLF) is defined by the coordinated use of technologies to measure different indicators on animals and their environment to improve livestock monitoring and management. PLF allows to manage in real time data of different natures (data from the animals, their consumption, the atmosphere of the barn, etc.). These data help the breeder in his decision-making (e.g. management of ventilation and heating). PLF uses modern information and communication technologies to exchange, transform and provide feedback to the breeder. The use of machines and robots can also be associated with PLF and relieves the breeder from certain tedious tasks.

Soon, he will be able to manage in real time production, health, behavioral and welfare parameters of his flock. A major issue is to learn from these multiple data generated and valorize it to create and develop appropriate livestock management tools for the breeder. Smartphone applications used outside of the agricultural sector will be presented as examples transposable to the poultry sector. Another challenge for tomorrow: many technologies used in other fields may find applications in poultry sector, like image analysis for animals monitoring. This prospective part will allow to identify new approaches for the future of the poultry sector.

This digital revolution is a mean to rethink production systems. This revolution will encourage and facilitate the communication between the parties (products traceability and transparency among stakeholders). The precision technologies generate a huge amount of data, with various formats and sources. The challenges are to share these data between stakeholders and improve the statistical processing of big data to design and develop appropriate management tools for the breeders.

INTRODUCTION

La disponibilité de nouvelles technologies permet aujourd'hui de gérer l'élevage autrement. Les souches actuelles, de plus en plus exigeantes, nécessitent un pilotage fin pour permettre l'expression de leur potentiel. Des technologies peuvent aussi être utilisées pour mieux piloter l'élevage plein-air, comme par exemple, évaluer par analyse d'image les mouvements d'animaux.

En plus d'assurer la productivité des animaux, l'éleveur doit garantir leur bien-être et leur santé, tout en limitant les impacts environnementaux de son exploitation. Le nombre croissant de capteurs à l'échelle du bâtiment (thermomètre, hygromètre, capteur de dioxyde de carbone, dépressiomètre, etc.) génère un volume important de données. Une mine d'informations est ainsi générée chaque jour, sous des formats variés. D'autant plus que de nouveaux formats vont être utilisés, comme notamment des images ou des bandes sonores. Un des enjeux majeurs est d'apprendre de ses données multiples et de les valoriser pour concevoir et développer des outils de pilotage de l'élevage. Ces nouvelles technologies se présentent comme la solution pour guider l'éleveur dans ses décisions ou encore de lui faciliter le travail, en le libérant de tâches fastidieuses.

Certaines tâches sont désormais automatisées, comme la régulation de l'ambiance du bâtiment, la distribution de l'aliment ou le déclenchement automatique de la brumisation par exemple. Ces automates évitent désormais à l'éleveur et depuis longtemps, de devoir ouvrir ou fermer les volets d'entrée d'air manuellement et plusieurs fois par jour. Ce gain de temps permet à l'éleveur de se concentrer davantage sur l'observation de ses animaux ou à ses loisirs. Les outils de précision n'ont pas pour rôle de se substituer à l'éleveur mais viennent compléter ses observations, de manière plus précise et objective.

L'Edp peut ainsi contribuer à faire évoluer les systèmes de production, pour les rendre multi-performants. De plus, l'arrivée du numérique viendra faciliter les échanges et la communication entre les différents maillons de la filière avicole. Ces différents éléments sont présentés ci-après :

1. L'ELEVAGE DE PRECISION : CONTEXTE ET CHAMPS OPERATIONNELS

1.1. Champs opérationnels et enjeux de l'Edp

Pour relever le défi de la multi-performance des élevages, les éleveurs s'équipent de nouvelles technologies du numérique et de la communication ainsi que de capteurs. Ces outils permettent à l'éleveur de mesurer et d'enregistrer

des paramètres environnementaux, des indicateurs de production, de santé et de bien-être des animaux. Ces données sont autant d'éléments d'aide à la décision pour un élevage afin d'ajuster ses conduites aux besoins des animaux et atteindre les objectifs visés.

Le principe de l'élevage de précision est d'utiliser ces technologies pour le suivi et la gestion de l'élevage, par l'utilisation en temps réel et en continu d'un nombre important de données provenant des animaux, du bâtiment, des équipements, des capteurs ou d'éléments saisis par l'éleveur et issus de ses observations. L'usage de ces dernières permet ainsi d'agir immédiatement avec des actions adéquates pour améliorer le statut et/ou les conditions de vie des animaux (Berckmans, 2013).

De plus en plus d'élevages sont dit « connectés » et utilisent les réseaux sans fil et l'internet des objets. Les objets connectés entourent l'agriculteur et modifient son métier et sa manière de travailler (méthodes, organisation). Les technologies de l'information et de la communication (TIC) tels que les smartphones et tablettes sont incontournables et font partie du quotidien de l'éleveur. Ils sont aujourd'hui de vrais outils de travail. Les TIC permettent aux utilisateurs de communiquer, d'accéder aux sources d'information, de stocker, de manipuler, de produire et de transmettre de l'information sous toutes les formes (texte, images, son, etc.). Les outils connectés ont l'avantage d'être mobiles et permettent à l'éleveur de consulter et de saisir des données depuis le bâtiment d'élevage ou depuis son habitation. De plus, ils sécurisent les données par des systèmes de sauvegarde et de restauration en ligne de l'historique des paramètres relatifs aux lots d'animaux et à leurs conditions de logement (poids des animaux, ambiance du bâtiment, etc.) par exemple. Des mises à jour automatiques et à distance permettent aussi d'avoir des technologies toujours plus performantes.

Toutefois, les problématiques liées à l'accès internet en zones rurales risquent de constituer un frein important au déploiement et au bon fonctionnement de ces objets connectés.

1.2. Méga-données et algorithmes adaptatifs en temps réel

Le principe même de l'Edp est basé sur la récolte de données en flux continu et en temps réel. Cette collecte de données est rendue possible grâce aux avancées technologiques et à l'évolution du web depuis les années 90. Le mot web (nom anglais signifiant « toile ») est la contraction de « World Wide Web » (d'où l'acronyme www). Une des possibilités offertes par le réseau internet est de pouvoir naviguer entre des documents reliés par des liens hypertextes. Depuis plus de soixante ans, le stockage a évolué, que ce soit au niveau des capacités ou du coût. Le montant est passé

d'environ 26 000 000 € par Go en 1956 (le 1^{er} disque dur avait une capacité de 5 Mo) à moins de 5 centimes par Go en 2017 (les disques durs dépassent 10 To). En quelques décennies, le prix a été divisé par 520 millions. Les années 90 sont marquées par le web 1.0 ou web traditionnel, un web statique, centré sur la distribution d'informations. Les premiers sites de e-commerce datent de cette époque. Le coût des programmes et logiciels propriétaires était énorme. En 2000 apparaît le web 2.0 ou web social, qui change totalement de perspective. Il privilégie la dimension de partage et d'échange d'informations et de contenus (textes, vidéos, images ou autres). Il voit l'émergence des réseaux sociaux, des smartphones et des blogs. Le web se démocratise et se dynamise. En 2010 apparaît le web 3.0, aussi nommé web sémantique, qui vise à organiser la masse d'informations disponibles en fonction du contexte et des besoins de chaque utilisateur, en tenant compte de sa localisation, de ses préférences par exemple. Ce web tente de donner sens aux données et est plus portable et fait de plus en plus le lien entre monde réel et monde virtuel. Il répond aux besoins d'utilisateurs mobiles, toujours connectés à travers une multitude de supports et d'applications malines ou ludiques.

Une richesse d'informations peut ainsi être obtenue de façon immédiate afin de construire des outils utiles et réactifs pour les éleveurs. La prédiction est l'outil de prédilection de cette nouvelle discipline. L'objectif est de récolter le maximum d'informations et de faire tourner un ou plusieurs algorithmes afin d'obtenir la meilleure prévision possible du phénomène étudié, sans chercher à expliquer les paramètres de ce modèle. Avec cette acquisition en continue des données, l'algorithme « apprend » à chaque nouvelle entrée, pour s'adapter à l'utilisateur et émettre une alerte pertinente le plus précocement possible. Parfois, les alertes peuvent être sources de tension pour l'éleveur. En effet, elles peuvent se déclencher à tout moment de la journée et de la nuit ce qui peut occasionner un stress et un sentiment d'asservissement au travail (Hostiou et al., 2014). Il est ainsi important de construire des algorithmes efficaces, permettant un suivi en continu et ne déclencher des alertes qu'en cas de problèmes non anticipables.

A ce jour il existe peu d'outils de prédiction utilisés en filière avicole et les éleveurs ou techniciens interviennent de façon curative. L'enjeu des outils de prédiction est de développer des outils de pilotage (de l'élevage, de l'alimentation, de la génétique par exemple) pour la filière avicole. Ceci nécessite de mutualiser les compétences des spécialistes avicoles avec celles des informaticiens et des statisticiens.

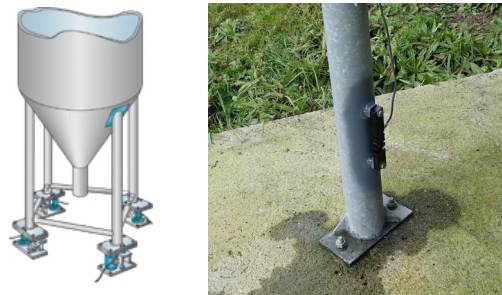
1.3 Des exemples de l'Edp en aviculture

1.3.1 Outils de pilotage et de suivi des lots d'animaux, pour aujourd'hui et pour demain

Aujourd'hui, quels outils pour l'éleveur ?

A la portée de tous les éleveurs, les capteurs sont aujourd'hui omniprésents en bâtiments d'élevage avicoles. Les principaux capteurs utilisés sont utiles à la gestion de l'ambiance dans le bâtiment d'élevage et à la régulation de la ventilation et du chauffage (mesure en continu de la température, du pourcentage d'hygrométrie, de la concentration en dioxyde de carbone, de la dépression du bâtiment, etc).

Il est aussi possible de connaître précisément et en temps réel les quantités d'eau et d'aliment consommés par les animaux. Pour connaître l'état des stocks d'aliment et estimer la consommation moyenne des animaux, chaque pied de silo peut être équipé d'une jauge de contrainte ou de déformation (photos 1 et 2). Des systèmes innovants de télémétrie (mesure du niveau de matière par ultrasons) se développent avec un envoi direct d'informations, par radio fréquence sécurisée (RFID), sur l'état des stocks au fabricant d'aliment pour lancer la fabrication en cas de besoin. Ces systèmes permettent de mieux organiser les commandes d'aliment en évitant la rupture de stock et les commandes de dernières minutes.



Photos 1 et 2. Jauges de contrainte ou déformation

Les éleveurs peuvent d'ores et déjà facilement connaître le poids précis des animaux en temps réel avec l'utilisation de pesons automatiques (photo 3). Cette donnée permet à l'éleveur de contrôler en temps réel les paramètres d'élevage les plus importants : poids moyen, croissance et homogénéité des animaux. Les systèmes de pesons les plus utilisés sont sur balancelle (avec jauge de contrainte suspendue) et enregistrent les pesées de tous les animaux qui passent sur le plateau suspendu. Par rapport aux pesées manuelles, les pesons automatiques ne nécessitent pas d'intervention humaine et ne perturbent pas les animaux.



Photo 3. Plateau suspendu d'un peson automatique PESbox (Tuffigo-Rapidex)

L'éclairage peut être géré à l'aide de cellules photoélectriques. Ces cellules permettent de maintenir le niveau d'éclairement choisi en fonction des apports en lumière naturelle. Des systèmes de pompes doseuses électriques précises et connectées permettent de sécuriser et d'enregistrer tous les traitements administrés aux animaux par l'eau de boisson. La majorité des données sont synthétisées sur un même boîtier qui permet la régulation de la ventilation et du chauffage en bâtiment d'élevage mais encore le déclenchement automatique de la brumisation par exemple. L'accès au boîtier peut aussi se faire à distance par smartphone ou tablette tactiles (photos 4 et 5) avec la mise en place d'une connexion internet sur l'élevage.



Photos 4 et 5. Boîtier tactile AVITOUCH (Tuffigo Rapidex) pour la centralisation des paramètres d'élevage et accès à distance au boîtier aux données par smartphone.

Demain, quels outils pour l'éleveur ?

Il sera prochainement possible pour l'éleveur de mesurer en continu la concentration en ammoniac et le taux d'empoussièrément dans le bâtiment d'élevage. Demain, la régulation de la ventilation et du chauffage pourra intégrer l'ensemble des paramètres mesurés en continu dans l'environnement de l'animal. Depuis peu, des outils fondés sur l'analyse comportementale des volailles par imagerie sont développés. Des prises de vue associées à un algorithme d'analyse d'images permettent d'examiner le mouvement des animaux (Dawkins et al., 2009) ou la répartition des animaux (Kashiha et al., 2013) et d'alerter l'éleveur sur des anomalies (photo 6). Ces anomalies comportementales peuvent être précurseurs de problèmes sanitaires latents ou simplement des soucis d'accès à l'eau et à l'aliment. L'éleveur pourra intervenir plus tôt pour éviter des complications et des pertes de production liées à une prise en charge trop tardive pouvant entraîner

des coûts supplémentaires, comme des traitements médicamenteux par exemple.



Photo 6. Prise de vue du lot d'animaux dans le bâtiment d'élevage à l'aide de caméra.

L'enregistrement des sons en poulailler est également une technologie d'avenir pour détecter un problème sanitaire, de stress ou de croissance. Par exemple, l'université de Leuven a étudié la prise alimentaire de poulet de chair par une surveillance automatisée continue de la consommation d'aliment par technologie audio. Une relation a été mise en évidence, en conditions expérimentales, entre l'ingéré alimentaire et le son de picorage d'aliment par les poulets (Berckmans et al., 2015).

Les lunettes connectées constituent une autre technologie intéressante pour l'éleveur, permettant d'effectuer des commandes oralement, et donc de libérer les mains de l'opérateur. Sous réserve du développement d'applications spécifiques, l'éleveur ou son technicien pourrait par exemple l'utiliser pour reconnaître une pathologie. Dans un premier temps, l'opérateur décrit oralement les symptômes observés (comportement des volailles, modification des consommations d'eau ou d'aliment, baisse de croissance, apparition de troubles digestifs ou respiratoires, augmentation de la mortalité...). Dans un second temps, une autopsie des volailles pourra être pratiquée. Les lunettes vont alors guider l'opérateur dans ses gestes au travers des premières informations fournies en les recoupant avec celles d'une banque de données en ligne. Les lésions observées peuvent également être prises en photo et comparées à une photothèque pour affiner le diagnostic. Une application concrète pourrait être l'assistance à la maintenance des équipements. En effet, le port de ces lunettes permettrait à l'équipementier d'identifier le problème et de donner les clés à l'éleveur pour le solutionner si possible, sans se déplacer. Ce dispositif permettrait à l'éleveur de gagner en réactivité.

1.3.2 Outils spécifiques à l'élevage de poules pondeuses (œufs de consommation et œufs à couver)

En production d'œufs de consommation, la gestion des œufs après la ponte est depuis longtemps très automatisée (mirage, calibrage, tri)

et notamment le conditionnement (mise en alvéoles et palettisation des œufs) à l'aide de robots (photo 7).



Photo 7. Robot palettiseur d'alvéoles d'œufs (ici MR 40 de MOBA)

Depuis peu des robots mobiles sont en voie de développement pour réduire la pénibilité du travail de l'éleveur, notamment en ramassant les œufs ou les cadavres d'animaux au sol. Par exemple, le robot TIONE en cours de développement, a été imaginé à l'initiative d'un éleveur de poules reproductrices dans le but de pousser les poules à pondre dans les nids à disposition. La mobilité du robot dans le bâtiment permettrait avec l'aide de stimuli adéquats, de mettre en activité les animaux.

1.3.3 Interopérabilité des données, Cloud et partage des données

Aujourd'hui, des solutions de Cloud sont développées pour permettre à l'éleveur de sauvegarder ses données ailleurs que sur son site d'élevage, comme le Cloud MyTuffigoRapidex développé par la société Tuffigo-Rapidex (<http://mytuffigorapidex.com/>). Ce Cloud présente plusieurs avantages : l'éleveur peut récupérer ses données en cas de coupure de courant. Cette solution permet aussi le partage des données, en fonction de ce que l'éleveur décide.

Différents types d'informations sur le lot d'animaux sont télétransmises par les éleveurs à leurs partenaires (organisation de production, fournisseur d'aliment, abattoir, etc.). L'organisation de production par exemple peut recevoir à l'issue du lot, des données de croissance, la mortalité, l'utilisation d'antibiotiques, etc. L'obtention de données en temps réel permet à l'organisation de production d'intervenir plus rapidement en cas de problème, et donc de mieux programmer ses visites en élevage. La planification des mises en place de poussins devrait également être améliorée. La mise en commun des données permettra à l'éleveur de comparer les performances de son élevage aux autres élevages de son organisation de production ou de comparer les performances de ses lots précédents avec le lot en cours.

Une remontée informatisée des données de l'élevage jusqu'aux sélectionneurs permettrait

d'adapter plus finement la sélection et d'avoir des animaux mieux adaptés à leur milieu. En effet, les volailles élevées à des fins commerciales sont des hybrides pour lesquels il est nécessaire de disposer de données phénotypiques (croissance, résistance aux maladies, etc.) pour évaluer les effets de la sélection. D'autre part, la remontée d'informations aux formulateurs d'aliment leur permettrait de disposer en temps réel d'un retour sur les performances observées avec les formulations alimentaires mensuelles. Une remontée informatisée des données des élevages permettrait de prendre les meilleures décisions de formulation sur la base de données solides.

L'éleveur peut aussi autoriser l'accès au Cloud à l'installateur de son bâtiment pour qu'il procède à des opérations de maintenance. D'autres acteurs de la filière peuvent potentiellement avoir accès à distance au Cloud (installateurs d'équipements, vétérinaires ou l'abattoir par exemple). Ce type d'innovation est un réel outil de simplification des démarches, de collaboration et de gain de temps pour l'éleveur.

Par ailleurs, un projet de plateforme collaborative de traçabilité GS1 est en cours de déploiement pour permettre à tous les acteurs de la chaîne alimentaire (amont agricole, industriels agro-alimentaires, grossistes, logisticiens, distributeurs, offreurs de solution) de partager, valoriser et exploiter leurs données entre eux et jusqu'aux consommateurs finaux. Ainsi, cet outil permet de tracer le cycle de vie d'un produit, du producteur jusqu'au consommateur.

2. PERSPECTIVES OFFERTES PAR LES DONNEES PRODUITES PAR L'EDP

2.1. Enjeux du Big data en élevage

Le monde de l'élevage ne déroge pas à la règle, il évolue, se modernise et est entré dans l'ère du numérique. Les bâtiments sont dotés de plus en plus de capteurs. La domotique (l'ensemble des techniques visant à intégrer à l'habitat tous les automatismes en matière de sécurité, de gestion de l'énergie, de communication, etc) fait de plus en plus d'adeptes et une mine d'informations est ainsi récoltée chaque jour. Tout le monde parle du big data mais qu'en est-il en élevage ?

A l'origine et de manière théorique, le big data est défini par 3V : Volume, Vitesse et Variété. A présent, d'autres V y sont aussi associés comme Valeur et Vérité. La nouveauté de ces données n'est pas dans le V de volume mais plutôt dans les deux autres V d'origine : variété et vitesse. En effet, le big data, ce ne sont pas des data centers toujours plus gros pour stocker toujours plus de données. La nouveauté réside dans la capacité à récupérer des données de toutes parts : expérimentations, enquêtes terrains, données

quotidiennes issues des capteurs, météo, open data, géolocalisation, twittes internet, etc. Ces données prennent de la place mais sont surtout hétérogènes (formats et origines différents) et arrivent en flux plus ou moins continus. Ce fait est nouveau pour le secteur de l'élevage qui doit faire face et s'armer pour profiter des nouvelles technologies qui se multiplient.

Trois facteurs clés expliquent le développement du big data:

- (i) Le coût du stockage (déjà cité plus haut dans cet article) qui ne cesse de diminuer et qui constitue de moins en moins un critère pertinent pour les entreprises. Les solutions de Cloud Computing permettent en outre une gestion des données élastique et en fonction des besoins réels des entreprises.
- (ii) Les plateformes de stockage distribuées et les réseaux à très haut débit. Avec ces technologies, le lieu de stockage des données n'a plus vraiment d'importance. Elles sont désormais stockées à des endroits physiques distincts, et parfois non identifiés.
- (iii) Les nouvelles technologies de gestion et d'analyse de données. Parmi ces solutions technologiques liées au big data, l'une des références est la plateforme Hadoop (Apache Foundation) permettant le développement et la gestion d'applications distribuées adressant des quantités de données énormes et évolutives.

A ce jour, la propriété des données est l'un des plus gros problèmes rencontrés dans le monde de l'élevage, avant le stockage et l'analyse des données. En France, comme dans de nombreux pays, la notion de propriété des données n'a pas de statut. La propriété ne peut porter que sur la création intellectuelle réalisée à partir de ces données (propriété intellectuelle telle que droit d'auteur, droit des marques, brevet). Une donnée seule n'a pas de valeur mais l'analyse apporte une plus-value. L'ère du numérique c'est aussi l'ère du partage des données et en associant le cumul et l'exploitation des informations naît l'utilité de la collecte. Aujourd'hui, beaucoup d'entreprises cherchent à améliorer leurs connaissances du big data pour compléter et adapter leurs produits ou leurs services afin de répondre au mieux aux attentes de leurs clients, mais la première étape réside dans le partage de ces données.

2.2. Analyser des données Big Data : bouleversement des techniques statistiques ?

L'arrivée de ces nouvelles données pose aussi la question du traitement statistique et des nouvelles compétences nécessaires à acquérir. Le principe de la statistique classique et des tests statistiques n'a plus sa place face aux gros volumes de données, tout écart même extrêmement minime risquant de ressortir significatif. Les méthodes du Data Mining (fouille de données) restent néanmoins pertinentes mais les modèles existant nécessitent d'être adaptés. La philosophie d'analyse change, mais les techniques ne sont pas pour autant révolutionnaires. Le bouleversement réside surtout dans le stockage des données, avec la nécessité de nouvelles bases de données type NoSql (Not Only SQL) pour stocker de la donnée non structurée. Un autre changement concerne la façon de lancer les traitements avec la parallélisation des données (partager un jeu de données de taille importante en fractions susceptibles d'être traitées en parallèle) et donc de devoir distribuer les calculs sur différents clusters (ordinateurs). Ainsi, les analyses vont être réalisées sur tout le jeu de données même si celui-ci qui ne peut pas être stocké physiquement sur une seule machine.

Avec l'arrivée des big data, est apparu le nouveau métier de data scientist. Il combine des compétences informatiques pour stocker et gérer des données complexes avec des besoins de programmation accrues, des connaissances statistiques pour utiliser des techniques plus ou moins avancées de fouilles de données et prévisions à l'aide d'algorithmes. Le data scientist doit avoir non seulement des compétences informatiques et statistiques mais aussi des compétences métiers. Or, les compétences métiers nécessitent des expertises variées dans le domaine de l'élevage. Ainsi, une solution intéressante serait de combiner les compétences d'équipes (informaticiens, statisticiens, ingénieurs ou techniciens agronomes et éleveurs) pour combiner les savoirs et conduire des projets de cette envergure. Depuis peu, on parle davantage de DataLab qui regroupent différents corps de métiers (statisticiens, informaticiens, chargé de communication, expert métier, expert visualisation) qui inclut aussi les compétences d'un data scientist.

2.3. Des exemples potentiellement transposables aux filières avicoles

Pour élargir le champ des possibles et envisager de nouvelles applications en aviculture, différents exemples d'innovation produit ou d'applications smartphone, développés hors cadre de l'élevage, sont présentés ci-après.

Des capteurs embarqués pour améliorer la traçabilité : l'entreprise **Tranxens** propose de suivre des containers de marchandises via de nombreux capteurs embarqués permettant d'identifier la position du container, s'il a subi des chocs ou des variations de température par exemple. Des outils de ce type pourraient apporter plus de transparence entre les intervenants de la filière. Par exemple pour connaître précisément les conditions de transport des poussins du couvoir jusqu'à l'élevage ou de l'élevage à l'abattoir.

Des vêtements connectés : le **projet Medata.lab** permet d'améliorer le diagnostic de l'épilepsie par des vêtements connectés pour capter des données de santé (électro-encéphalogramme, électrocardiogramme, etc). Ces textiles pourraient être adaptés sur des poulets pour mesurer des données de santé. En opposition à une gestion du lot, ce vêtement connecté pourra permettre de suivre individuellement des animaux représentatifs du lot. Ces animaux dit sentinelles pourront être équipés de ce type de micro-capteurs (thermomètre, podomètre, accéléromètre, puces RFID, etc.) et donneront des informations à l'échelle de l'individu. A court terme, ce type de développement pourrait trouver une application en recherche et à moyen terme en condition d'élevage commercial. Cette technologie connectée pourrait aussi être adaptée pour mesurer les signes avant-coureurs d'une intoxication au monoxyde de carbone des travailleurs en élevage, pour prévenir les risques d'intoxication.

Mieux prévoir : A San Francisco, les données criminologiques sont analysées pour prédire les prochains délits qui auront lieu à un moment donné et à un endroit donné. Cet outil de prédiction utilise des algorithmes **Machine Learning** (apprentissage automatique). En aviculture, les éleveurs doivent communiquer à l'abattoir le poids prévisionnel de leurs animaux, au minimum 48 heures avant l'abattage (parfois plus tôt dans certaines organisations de production). Cette donnée est importante pour l'abattoir pour répondre au mieux aux exigences de leurs clients aval, notamment en terme de calibre. L'éleveur se base sur la courbe de croissance type et sur le poids estimé de ses animaux. Les abattoirs mettent en place des systèmes de bonus-malus pour inciter les éleveurs à être précis dans la prédiction du poids des volailles. Ces algorithmes de type Machine Learning pourraient être utilisés pour prédire la croissance et le poids final des animaux avant abattage de façon plus fine et plus précocée. De plus, cette donnée pourrait être automatiquement transmise à l'abattoir.

Améliorer la logistique : le **projet SmartCube** a pour objectif de proposer une

plateforme permettant la gestion et la mise en relation d'objets domotiques. L'utilisation de la domotique en aviculture permettrait d'améliorer la logistique d'abattage des animaux en mettant en relation les opérateurs de la filière. Par exemple, l'abattoir pourrait être alerté à temps sur l'état de croissance des animaux.

Mise en réseau : Pour une entreprise qui se lance à l'international, la capacité à trouver les bons partenaires étrangers est importante. La **plateforme Powerlinx** permet d'identifier des entreprises ayant des intérêts communs (en termes stratégiques, de produits/services, clients, etc).

Les réseaux sociaux peuvent aussi contribuer à favoriser les échanges entre éleveurs au-delà de l'organisation de production. Les éleveurs pourraient par exemple échanger sur des équipements ou sur une souche d'animaux sur des forums dédiés. Ces échanges permettraient aux éleveurs de partager leurs points de vue et/ou d'aider à orienter leurs choix techniques ou stratégiques. Les entreprises environnantes, en ayant accès à ce type d'informations, pourraient aussi orienter leur développement en fonction du retour terrain. Ceci leur permettrait de gagner en réactivité.

Ces différents exemples mettent ainsi en évidence l'importance des échanges et de la transparence entre les opérateurs des filières avicoles. La sociologie économique a mis en évidence l'influence des réseaux sociaux dans la coordination des acteurs économiques et la circulation des biens (Ferrary, 2001).

CONCLUSION

Cet article met en évidence les éléments à développer pour faire progresser les systèmes de production et favoriser la communication entre les acteurs. Les prochains développements doivent émerger d'un besoin des acteurs de la filière avicole et notamment des éleveurs. Au regard des outils présentés hors cadre agricole, les outils de précision de demain devront favoriser les échanges entre les différents maillons de la filière. Ces échanges favoriseront la mise en commun et le partage des données pour ajouter de la valeur ajoutée avec le traitement de ces données. Au regard des contraintes imposées à la production (administratives, environnementales, bien-être des animaux), les outils de précision permettront à l'éleveur de faciliter ses démarches. Ces technologies et l'arrivée du numérique en élevage vont certainement attirer un profil de jeunes éleveurs, en alliant le numérique et la technicité.

En aviculture, le constat est fait que les données issues des technologies ne sont que très

partiellement exploitées. Une étape clé pour tirer parti de l'Edp est d'analyser autrement les données et de développer des algorithmes qui traitent des données de flux en temps réel pour être plus réactif. Ces analyses constituent une valeur ajoutée pour les

éleveurs et les parties prenantes. Ainsi, la filière devra proposer une solution globale combinant les dispositifs existants.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Berckmans D., 2013. Basic principles of PLF: Gold standard, labelling and field data. In Proceedings of the 6th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF2013, Leuven, 21-29.
- Berckmans et al., 2015, Elevage de précision : l'intérêt pour l'éleveur du futur ; communication orale 15ème journée d'étude des productions porcines et avicoles à Beez.
- Dawkins M., Lee H., Waite C., Roberts S., 2009. Optical flow patterns in broiler chicken flocks as automated measures of behavior and gait ; *Applied animal behavior science* 119, pp 203-209.
- Ferrary M., 2001. Pour la théorie de l'échange dans les réseaux sociaux. Un essai sur le don dans les réseaux industriels de la Silicon Valley. n°111, 182p.
- Hostiou N., Allain C., Chauvat S., Turlot A., Fagon J., 2014. Conséquences de l'élevage de précision sur le travail des éleveurs. *Renc. Rech. Ruminants*, 21, 11-14.
- Kashiha M., Pluk A., Bahr C., Vranken E. et Berckmans D., 2013. Development of an early warning system for a broiler house using computer vision ; *Biosystems engineering* 116, pp 36-45.



Offrez du
FOIE GRAS
ON S'EN SOUVIENDRA !



Pour plus d'informations sur la tradition culturelle et gastronomique du Foie Gras :
www.leblogdufoiegras.com / www.lefoiegras.fr

Un Oeuf chaque jour... En forme toujours !*

Grâce à ses qualités nutritionnelles,
l'Oeuf est un aliment d'exception

L'Oeuf offre des protéines de qualité pour
un prix très abordable

En cuisine, l'Oeuf fait merveille dans
de nombreuses recettes salées ou sucrées



Pour en savoir plus sur l'Oeuf, connectons-nous sur www.leblogdeloeuf.com

Le CNPO est l'Interprofession de l'Oeuf qui représente chacun des maillons de la filière Oeuf, des accoueurs aux transformateurs en passant par les éleveurs, il regroupe huit organisations. Le CNPO a été reconnu par les pouvoirs publics le 12 mars 1996. Il est chargé de contribuer au développement et à la prospérité des différentes branches de la filière ponte.

*sauf contre indication



Comité National pour
la Promotion de l'Oeuf



Delacon.
performing nature