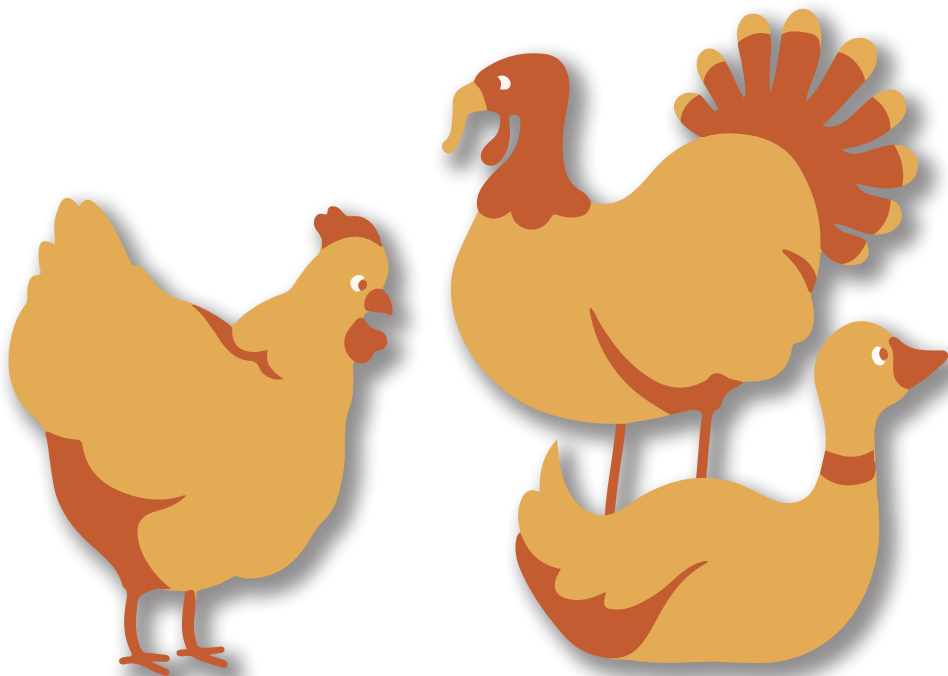


12^e Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras



5 & 6 avril 2017

TOURS - Centre des congrès Vinci



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 MONTREVERD – 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 :



Ensemble, pour nourrir l'excellence

SESSION

DURABILITE - ENVIRONNEMENT

Synthèse

FILIERE IGP CANARD A FOIE GRAS DU SUD-OUEST : BILAN ENVIRONNEMENTAL ET EVALUATION DES PERFORMANCES SOCIALE, ECONOMIQUE ET TERRITORIALE

Farrant Laura¹, Labau Marie-Pierre¹, Padilla Martine², Deneufbourg Chloé³, Fortun-Lamothe Laurence³, Penavayre Sophie⁴, Besnier Antoine⁵,

¹ CTCPA, 2 allée Dominique Serres, 32000 AUCH,

² CIHEAM-IAMM, 3191 route de Mende, 34090 MONTPELLIER

³ GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, ENVT, 31326 CASTANET-TOLOSAN,

⁴ IFV, 210 Bd Victor Vermorel, CS 60320, 69661 VILLEFRANCHE-SUR-SAONE,

⁵ ITERG, Parc Industriel Bersol 2, 11 Rue Gaspard Monge, 33600 PESSAC

mplabau@ctcpa.org

RÉSUMÉ

Les filières agroalimentaires font face à de multiples enjeux et questionnements en lien avec les différents aspects du développement durable et sont appelés à mettre en avant leurs engagements en la matière. L'objectif de ces travaux est de proposer des méthodologies permettant d'aborder l'évaluation de la durabilité des filières de produits agroalimentaires transformés en s'intéressant aux impacts environnementaux ainsi qu'aux performances socio-économiques en lien avec l'implantation territoriale de la filière. Des études de cas ont été réalisées sur différentes filières, dont la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest. Les impacts environnementaux sont étudiés via la méthode de l'Analyse de Cycle de Vie. Les résultats fournissent un éclairage approfondi sur les principaux contributeurs aux impacts de la filière pour chaque étape, depuis les phases amont d'élevage et de gavage, prépondérantes dans le bilan global de la filière, jusqu'à la consommation finale. Une nouvelle méthode est également proposée pour évaluer la performance sociale, économique et territoriale d'une filière alimentaire. La mesure des performances s'articule en quatre composantes : (i) dignité et bien-être des travailleurs, (ii) territoire et vie locale, (iii) loyauté et intégrité des pratiques commerciales et (iv) création de richesse, pour lesquelles un ensemble de critères d'évaluation sont définis et évalués par rapport à un niveau référence. Cette méthode vise à repérer où se situent les marges de progrès pour qualifier la filière en terme de performances socio-économiques. Appliquée à la filière Foie Gras, l'approche mise en œuvre souligne que la filière est globalement très performante sur les dimensions étudiées avec néanmoins des enjeux concernant la précarité de certains emplois et des marges de progrès concernant la participation à la vie locale.

ABSTRACT

PGI South West duck foie gras industry: environmental impact assessment and evaluation of social, economic and territorial performances

Agri-food industry face multiple challenges and concerns in relation with the different dimensions of sustainable development and are asked to demonstrate their commitment in these matters. The objective of this work is to propose methodologies in order to assess the sustainability of agri-food sectors by investigating the environmental impacts together with the social, economic and territorial performances. Several case studies have been conducted for several food chains, including the PGI South West duck foie gras "filière". Environmental impacts were assessed through Life Cycle Assessment. The results provide a detailed overview of the main contributors to the environmental impacts of the food chain for each stage, from rearing and overfeeding that play a major role in the global balance, down to final consumption. A new method is also proposed to assess the social, economic and territorial performances of an agri-food chain. The measurement of those performances relies on four major categories (i) dignity and welfare of workers, (ii) territory and local life, (iii) loyalty and integrity of commercial practices, (iv) wealth creation. For each category a set of criteria is defined and assessed compared to a reference level. This method aims at pointing out margins for progress in order to describe the "filière" in terms of social and economic performances. When applied to the foie gras "filière", this approach has shown that the industry performs well regarding the areas assessed but that some concerns can be raised regarding precarious work and that further improvement is possible concerning the involvement in local life.

INTRODUCTION

Le développement durable est devenu une préoccupation pour l'ensemble des parties prenantes des filières agro-alimentaires françaises : consommateurs, agriculteurs, distributeurs, administration... Créant de la valeur et de l'innovation, la responsabilité sociétale est désormais un réel défi de compétitivité et un levier stratégique majeur (AFNOR, 2010 ; AFNOR, 2012).

La prise en compte des enjeux associés aux dimensions multiples du développement durable nécessite d'intégrer les principes de la « pensée cycle de vie » au sein des filières alimentaires, en se préoccupant des impacts environnementaux, économiques et sociaux des pratiques agricoles, des modes de production, de distribution et de consommation.

Aujourd'hui, l'analyse de cycle de vie (ACV) des produits est un outil largement utilisé pour évaluer les impacts environnementaux potentiels des activités de production. En ce qui concerne les produits alimentaires transformés, si nombre d'entreprises ont pris l'initiative de réaliser des ACV de leurs produits, l'harmonisation des méthodologies et des bases de données reste un défi à relever. Au-delà des considérations environnementales, pour les aspects économiques et sociaux, la conceptualisation et la mise en œuvre des méthodologies d'évaluation sont en discussion. Les scientifiques et les professionnels cherchent à intégrer des indicateurs de performances socio-économiques des systèmes productifs à travers des ACV sociales, des démarches prenant en compte la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE) et d'autres indicateurs d'impacts territoriaux. Les outils adéquats restent ainsi encore rares et d'appropriation complexe.

Le projet ACYDU, financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), cherche à **développer des méthodologies permettant d'évaluer la durabilité des filières agroalimentaires**. Pour ce faire, le projet étudie les impacts environnementaux, sociaux, économiques et territoriaux des filières de production de trois produits français emblématiques sous signe de qualité : IGP Foie Gras du Sud-Ouest, vins AOP de Beaujolais et Bourgogne et AOP Comté. Ces filières ont été choisies car (i) elles sont représentatives d'une culture et d'un savoir-faire traditionnel français ; (ii) leurs produits sont largement consommés sur le territoire ; (iii) elles ont un lien fort avec la production agricole et (iv) revendiquent un ancrage territorial important. Cependant, elles sont également pour diverses raisons questionnées par les parties prenantes sur certaines de leurs pratiques et doivent trouver des réponses. En ce qui concerne la filière Foie Gras du Sud-Ouest qui fait l'objet de cet article, des enjeux de différentes natures sont identifiés. Sur un plan sociétal la filière est ainsi confrontée à la question du bien-être animal ou du travail saisonnier et de l'impact que cela engendre sur la nature des contrats de travail tandis que cette dépendance à des débouchés concentrés sur une courte période de l'année engendre des contraintes particulières au niveau économique. Enfin la filière est concernée au même titre que les autres filières animales par la question de l'empreinte environnementale des procédés d'élevage, aujourd'hui au cœur de débats politiques et citoyens.

ACYDU se traduit en pratique par une collaboration interdisciplinaire entre des spécialistes des filières agro-alimentaires étudiées (instituts techniques agro-alimentaires, interprofessions, syndicats), des chercheurs en évaluation des impacts environnementaux, économiques, sociaux et des spécialistes de l'approche consommateur. Le projet propose ainsi de contribuer à la production de connaissances conceptuelles et empiriques sur les méthodologies d'analyse du cycle de vie de l'aliment qui intègrent les différents aspects de la durabilité des produits alimentaires. Sont aussi étudiés le potentiel de reproductibilité de ces méthodologies à d'autres filières alimentaires et leur appropriation par les agro-industries pour l'évaluation de la durabilité des produits mis sur le marché.

Cet article présente les développements méthodologiques proposés et les résultats obtenus pour la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest. L'IGP Canard à Foie Gras du Sud-Ouest couvre l'ensemble des bassins traditionnels d'élevage, de gavage et de transformation du foie gras : Châlosse, Gascogne, Gers, Landes, Périgord, Quercy... L'appellation garantit que les canards ont été élevés et préparés dans cette zone géographique ainsi que le respect d'un cahier des charges précisant des conditions d'élevage et de gavage.

1. BILAN ENVIRONNEMENTAL DE LA FILIERE IGP FOIE GRAS DU SUD-OUEST

Les impacts environnementaux sont étudiés via la méthode de l'ACV, adaptée à la spécificité du projet: l'échelle filière. Cette méthode, lorsqu'elle est appliquée à un produit, bien ou service, ou encore à une organisation, est encadrée par des normes internationales (ISO, 2006 ; ISO, 2014) permettant de guider sa réalisation et d'assurer la cohérence des résultats. Les développements méthodologiques réalisés dans le cadre du projet ACYDU sont liés à la nécessité de travailler à l'échelle spécifique de la filière agroalimentaire. Aucune norme existante n'aborde en effet ce type d'approche.

L'objectif de ce travail d'évaluation environnementale est double : proposer d'une part un cadre méthodologique basé sur l'ACV permettant d'étudier non plus un produit ou une organisation mais l'ensemble d'une filière ; et améliorer d'autre part la connaissance des impacts environnementaux de la filière étudiée. L'étude a fait l'objet d'une revue critique externe selon les recommandations des normes ISO 14 040 & ISO 14 044.

1.1 Définition des frontières du système étudié et de l'unité fonctionnelle

Le périmètre à l'étude pour la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest a été défini à partir d'un travail méthodologique préliminaire réalisé dans le cadre des premières phases du projet ACYDU (Assogba, 2015). La filière telle que représentée dans la figure 1 est constituée :

(i) d'une « filière de production et de distribution » composée d'un cœur de filière incluant les entreprises et organisations directement impliquées dans la production du foie gras (éleveurs, gaveurs, abattoirs, ateliers de découpe, transformateurs/conditionneurs), auquel s'ajoutent les acteurs de l'amont (sélectionneurs, accouveurs, fournisseurs d'aliments, etc...) et de l'aval (distributeurs, consommateurs...);

(ii) d'un « environnement proche » comprenant les structures « supports » : organisme de défense et de gestion (ODG), syndicats, interprofessions, chambres d'agriculture, organismes de recherche et développement, organismes d'inspection et de certification.

La réunion de l'ensemble des activités de ces acteurs et structures compose le périmètre étudié dans le cadre du projet ACYDU, appelé « filière IGP Canard à foie gras du Sud-Ouest ».

L'étape amont de production d'œufs et accoupage n'a néanmoins pas été incluse dans le périmètre de l'ACV, faute de données disponibles. Les frontières du système étudié commencent ainsi à partir de la « mise en place » des canetons mâles à 1 jour. Les étapes de traitement et de valorisation des co-produits (plumes, viscères, etc.) ayant lieu après la phase de découpe ne sont pas attribuées à la filière foie gras et ne sont donc pas prises en compte dans le périmètre étudié. Les impacts associés sont attribués aux systèmes de production qui bénéficient de ces co-produits (ex : production d'oreillers à partir des plumes de canard).

L'unité fonctionnelle, correspondant aux flux de référence auxquels sont rapportés les impacts au moment de l'expression des résultats, a été déterminée en fonction du périmètre étudié. **L'unité fonctionnelle retenue est l'activité de la filière foie gras IGP du Sud-Ouest pour une année de production**, la période de référence considérée pour l'ACV étant l'année civile 2014. La production correspondante est ainsi de 7 633 tonnes de produits commercialisés, réparties en 2 645 tonnes de foie gras cru et 4 988 tonnes de foie gras transformé, représentant 50 % de la production nationale de foie gras (PALSO, 2014).

Les impacts environnementaux potentiels sont étudiés au travers de 8 indicateurs, choisis en fonction des recommandations de l'ILCD Handbook (JRC, 2011) pour les méthodes de caractérisation (i) le changement climatique (émissions de CO₂), exprimé en kg éq. CO₂ (méthode IPCC 2013); (ii) la diminution des ressources minérales et fossiles (quantité consommée de pétrole, gaz, sable etc. par rapport à la disponibilité), exprimée en kg éq. Sb (méthode CML 2002); (iii) la consommation d'eau (volume d'eau prélevé), exprimée en m³; (iv) les émissions de particules (conséquences sur la mortalité et la santé humaine), exprimées en kg éq. PM_{2.5} (méthode RiskPoll); (v) les rayonnements ionisants (effets sur la santé humaine de l'exposition à la radioactivité non naturelle), exprimés en kg éq. Bq U²³⁵ (méthode Human Health Effect); (vi) la formation d'ozone photochimique (formation d'ozone et autres composés oxydants à partir de polluants primaires comme les oxydes d'azote, les composés organiques volatils non méthaniques, le monoxyde de carbone et le méthane), exprimée en kg éq. NMCOV (méthode LOTOS-EUROS); (vii) l'acidification des terres et des eaux douces (liée aux composés soufrés, aux composés azotés et au dioxyde de carbone), exprimée en kg éq. H⁺ (méthode Accumulated Exceedance); (viii) l'eutrophisation marine (déséquilibre entre l'apport et la consommation naturelle de nutriments par l'écosystème), exprimée en Kg éq. N (méthode EUTREND). Le logiciel SimaPro (version 8.2.0.0) a été utilisé pour la modélisation.

1.2 Construction d'un Inventaire de Cycle de Vie à l'échelle de la filière

Etablir l'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) consiste à quantifier les flux entrants et sortants pour le système étudié. Sur la base des frontières choisies, l'exercice consiste donc à comptabiliser les flux de consommations de ressources et d'émissions de polluants intervenant au cours des étapes suivantes : (i) La production, le transport et la transformation des matières premières et intrants intervenant aux étapes de production, distribution et consommation ; (ii) La gestion des déchets et effluents générés au cours de ces étapes ; (iii) Les activités des acteurs de l'environnement proche (activités de bureau et déplacements professionnels).

L'ICV de la filière est construit en plusieurs étapes : (i) caractérisation de chacune des étapes du cycle de vie (élevage/gavage, abattage, transformation, etc...), (ii) inventaire des flux à l'échelle de la filière (nombre de canards élevés et abattus sur l'année, tonnage de produits commercialisés...) et (iii) extrapolation à l'échelle de la filière permettant d'agréger les étapes entre elles (Besnier *et al.*, 2016).

La collecte de données a été réalisée de différentes manières selon l'étape de cycle de vie concernée, comme présenté dans le Tableau 1. **L'accent a été mis sur la collecte de données auprès des acteurs de l'abattage/découpe et de la transformation, étapes pour lesquelles très peu de données sont disponibles.** A partir des données annuelles de consommations d'eau, d'énergie, de consommables et de production de déchets et d'effluents fournies par l'échantillon d'entreprises interrogées (7 abattoirs et 7 unités de transformation), des ratios moyens ont pu être établis, exprimés par rapport à un flux de référence propre à chaque étape. A titre d'exemple, la consommation d'électricité est exprimée en kWh par canard abattu pour l'étape d'abattage et en kWh par kg de produit fini sortant pour l'étape de transformation. Les données d'arrière-plan utilisées (tel que le mix électrique français, le transport par camion, avion...) sont issues d'Ecoinvent v3.1. En ce qui concerne les étapes amont d'élevage et de gavage, les données utilisées proviennent du travail effectué par l'UMR Genphyse de l'INRA de Toulouse (Deneufbourg *et al.*, 2016), associées à la base de données Agribalyse v1.3.

Pour pouvoir ensuite agréger l'ICV global au niveau de la filière, **il est nécessaire de connaître les flux de produits à l'échelle de la filière pour chaque étape du cycle de vie** : nombre de canards abattus sur l'année de référence, tonnage total de produits finis commercialisés et destination finale, etc... Cette cartographie des flux est réalisée en s'appuyant notamment sur les statistiques établies par l'organisme de défense et de gestion (PALSO) et l'interprofession (CIFOG) et sur les statistiques douanières. Le modèle établi est synthétisé sur la Figure 2.

Par ailleurs, l'analyse détaillée des statistiques de la filière IGP a mis en avant la problématique du déclassement technique ou commercial qui survient à l'issue des étapes de gavage et d'abattage/découpe (cf. Figure 3). En effet, dans le cadre du circuit de production IGP pour l'année 2014, environ 24 600 000 canards sont sortis des salles de gavage selon les statistiques du PALSO tandis que sur la base du tonnage finalement commercialisé sous IGP (7 633 tonnes), le nombre « théorique » de canards gavés nécessaires serait

d'environ 14 100 000. D'un point de vue méthodologique, le choix a néanmoins été fait d'imputer à la filière IGP l'ensemble des canards mobilisés en amont du déclassement puisqu'ils font partie du circuit IGP jusqu'à leur déclassement. Dans le cadre de l'approche « filière » choisie dans le projet, cette méthode semble la plus cohérente mais il faut souligner qu'elle maximise les impacts environnementaux associés à la filière. Le devenir des canards suite à leur déclassement n'est pas pris en compte (en dehors du périmètre de la filière IGP foie gras).

D'autre part, les étapes d'élevage/gavage et d'abattage/découpe aboutissent à la production de foie gras mais également d'autres produits et co-produits, commercialisés en tant que viande (magrets, aiguillettes, gésiers...) ou bien valorisables dans d'autres filières (plumes, sang, viscères...). Une allocation économique a été appliquée pour déterminer la part des impacts de ces étapes qu'il revient d'attribuer à la filière foie gras, basée sur des données collectées auprès d'un échantillon d'entreprises concernant le prix de vente des différents produits de découpe. Il en résulte que 55 % des impacts des étapes d'élevage/gavage et abattage/découpe sont attribués à la filière foie gras (sur la base de 24 € valorisés par canard en sortie découpe dont 13 € pour le foie gras).

1.3 Impacts environnementaux potentiels de la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest

Les résultats de l'évaluation environnementale montrent que, dans le cadre du modèle établi de la filière, l'activité globale de la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest a entraîné pour l'année 2014 un potentiel de réchauffement climatique de 197 120 tonnes équivalent CO₂ et une consommation potentielle d'eau de près de 26 millions m³ (cf. Tableau 2).

Les étapes agricoles de l'élevage et du gavage (cf. Figure 4) sont les plus contributrices aux impacts environnementaux potentiels de la filière, sur l'ensemble des indicateurs étudiés. Ces deux étapes contribuent à 84 % des impacts potentiels sur l'indicateur de changement climatique et jusqu'à 98 % pour les indicateurs d'acidification et d'eutrophisation marine potentielles.

L'alimentation des canards est à l'origine selon les indicateurs de 37 % (acidification) à 91% (eutrophisation marine) des impacts potentiels pour l'élevage et 51 % (acidification) à 90 % (eutrophisation marine) des impacts potentiels pour le gavage. Au sein de la ration alimentaire, pendant l'étape d'élevage c'est le blé qui est à l'origine de la majorité des impacts (45 % de la composition de la ration de la phase de démarrage ; 39 % de la ration de la phase de croissance/finition), devant le maïs (environ 20 % de la ration). En ce qui concerne l'étape du gavage, le maïs est à l'origine des impacts potentiels associés à l'alimentation puisque la pâtée de gavage est constituée d'un mélange maïs/eau. La consommation d'eau nécessaire à la culture du maïs (culture irriguée) est responsable de 64 % de la consommation d'eau globale de l'étape de gavage et de 48% de celle de l'étape d'élevage. Les émissions gazeuses liées aux déjections des canards sont également un contributeur majeur, en particulier pour les indicateurs d'acidification (62 % de la contribution pour l'étape d'élevage) et de changement climatique (20 % de la contribution pour l'étape d'élevage).

Pour l'indicateur de changement climatique, la contribution de l'étape d'abattage/découpe (6,2 %) est du même ordre de

grandeur que la contribution de la somme des étapes de transformation et de conditionnement qui se déroulent dans les mêmes installations (6,7 %).

Pour les étapes abattage/découpe et transformation, la consommation d'énergie (électricité et gaz) est le principal contributeur (exemple : 49 % de la contribution au potentiel de changement climatique pour l'abattage/découpe, 35 % pour la transformation). Les impacts potentiels pour l'indicateur de rayonnements ionisants sont liés au mix électrique français essentiellement basé sur l'énergie nucléaire. La consommation d'eau intervenant indirectement dans la production d'électricité est à l'origine de 71 % de la consommation potentielle d'eau de l'étape d'abattage/découpe tandis que l'eau directement utilisée dans le processus ne représente que 20% de la consommation.

La plus forte contribution de l'étape de conditionnement concerne l'indicateur de diminution des ressources minérales et fossiles (4,6 %) du fait des matériaux d'emballages utilisés, et notamment du verre qui intervient pour 20% du tonnage de produits commercialisés.

Les étapes distribution et environnement proche contribuent chacune à moins de 1,5 % des impacts potentiels globaux, et ce pour l'ensemble des indicateurs.

2. EVALUATION DES PERFORMANCES SOCIALE, ECONOMIQUE ET TERRITORIALE DE LA FILIERE

Plusieurs cadres théoriques ont été développés pour définir la durabilité sociale et sa mise en application. Les méthodes existantes se réfèrent à trois écoles. Celle des attributs mesure la performance sociale au moyen d'indicateurs qui relèvent de la RSE (Dreyer, 2006 ; Norris, 2006 ; Andrews, 2009 ; Kruse, 2009). Celle des « pathways » mesure les impacts sociaux réels d'une décision grâce à des relations causales et fonctionnelles (Hunkeler, 2006 ; Weidema, 2006 ; Parent, 2010 ; Macombe, 2013). Celle dite des capacités se concentre sur les effets d'une décision (les capacités d'Amartya Sen) à partir du modèle des capitaux multiples ; celui-ci sert à mesurer l'impact d'une action de l'entreprise sur la capacité opérationnelle des acteurs aux niveaux économique, naturel, humain, social et institutionnel (Garraffé, 2012). Pour ces 3 méthodes les mesures sont faites au niveau d'une seule entreprise, ou pour une unité fonctionnelle d'un bien ou d'un service le long d'une chaîne de production-distribution. Aucune des trois ne permet de mesurer la performance économique et sociale d'une filière dans son ensemble sur un territoire donné, ce qui a été fait dans le cadre d'ACYDU avec une nouvelle méthode hybride. **Cette méthode vise à fournir un outil opérationnel qui peut être combiné avec l'analyse du cycle de vie environnementale pour décrire les pratiques sociales, mesurer les performances socio-économiques et territoriales d'une filière et des opérateurs la composant.**

2.1 Méthodologie de mesure des performances

Les frontières entre les considérations sociales, économiques et territoriales sont ténues ; aussi quatre composantes réunissant ces trois domaines d'intérêt ont été retenues pour l'étude: (i) dignité et bien-être des travailleurs, (ii) territoire et vie locale, (iii) loyauté et

intégrité des pratiques commerciales, (iv) création de richesse. Ces quatre composantes sont subdivisées en 13 sous composantes (seules 12 d'entre elles seront ici illustrées car la sous-traitance n'est pas utilisée dans l'IGP foie gras), elles-mêmes caractérisées par 50 indicateurs. Ces derniers sont renseignés grâce à l'attribution d'un score (noté entre 0 et 10) ; chacun d'entre eux est évalué par rapport à un niveau de référence international ; à défaut la référence sera nationale ou sectorielle. Les indicateurs ont été sélectionnés pour leur pertinence et leur opérationnalité mais aussi par rapport à l'existence de l'information et sa disponibilité. Cette méthode générique est applicable à toute filière de produits agroalimentaires transformés. Elle vise à repérer où se situent les marges de progrès pour qualifier la filière comme socialement durable.

Les critères sont renseignés à partir d'enquêtes auprès des opérateurs. Pour passer des opérateurs individuels au résultat de l'ensemble de la filière, nous procédons en deux étapes : (i) des « opérateurs-types » sont créés en pondérant les scores individuels par la part du volume qu'ils représentent dans le volume total de l'ensemble des opérateurs du même type enquêtés. (ii) un coefficient représentant l'importance relative en volume de ce type d'acteur dans la filière est appliqué à chaque score de « l'opérateur-type ». Par exemple, pour le foie gras, nous avons considéré les opérateurs-types suivants ; les conserveurs à la ferme, les entreprises autonomes, les entreprises intégrées. Pour chaque sous-composante et chaque composante, le score en % du score maximal possible est calculé. Enfin, le score final de la filière est la somme des scores des différentes composantes ramenée au score maximal total de la filière.

Pour l'étude de l'impact économique de la filière sur son territoire, la « méthode des multiplicateurs » (Garrabé, 2014) a été adoptée, consistant à appliquer un multiplicateur au revenu initial généré par l'activité. Cela permet d'établir le revenu primaire, secondaire et tertiaire de cette production et donc de mesurer la richesse et les emplois créés dans la région. Cette approche méso-économique utilise des multiplicateurs d'offre, des multiplicateurs de demande et capture les dépenses publiques sur le territoire. Pour mesurer les emplois créés par la chaîne d'approvisionnement, nous utilisons le ratio $a = \text{Emploi} / \text{PIB}$ de la zone géographique étudiée. Ce ratio est ensuite appliqué au revenu total des entreprises. Les données proviennent de trois sources : (i) les données INSEE propres à la zone d'étude et relativement récentes (2010) ; (ii) les données issues directement des comptabilités des entreprises ; (iii) le fichier DIANE. L'échantillon final d'entreprises de production-transformation étudié pour ces critères « emplois et richesse créés » représente 66% de la filière IGP Canard à Foie Gras du Sud-Ouest en termes de chiffre d'affaires pour l'année de référence 2013. L'année référence diffère de celle de l'ACV en raison du décalage dans le temps du projet entre l'étude des performances sociales et celle de l'impact environnemental.

3.2 Application à la filière Foie Gras du Sud-Ouest: résultats et discussion

Un test d'épreuve sur la filière IGP Canard à foie gras du Sud-Ouest a été effectué à partir d'enquêtes auprès de 11 opérateurs de production et transformation appartenant au cœur de la filière (Assogba, 2015) représentant 41 % du volume de la filière foie gras IGP (pour l'année 2013).

L'objectif était d'avoir un échantillon représentatif de la diversité de la filière. Ainsi les opérateurs représentent diverses étapes de l'élaboration du produit (producteur, abattoir, conserveur) et sont de tailles très variables (du producteur à la ferme, aux plus grandes entreprises). Les entreprises ont été regroupées selon trois types d'organisation ; les conserveurs à la ferme, les entreprises autonomes et les entreprises intégrées. La clé de répartition entre ces types d'entreprises est respectivement : 1 %, 14 %, 85 % du total du volume produit.

Les résultats (cf. Figure 5 et Figure 6) montrent que **la filière est globalement très performante avec un score total de 69 % par rapport au maximum possible**. Au niveau de « la dignité et le bien-être des travailleurs », si le cadre de travail, les avantages offerts aux salariés (en nature, avantages économiques ou de type CE, complémentaires santé et retraite) et la capacité de représentation des salariés, sont très satisfaisants (92 à 98 %), la prise en compte de la santé et la sécurité des salariés (pénibilité, accidents du travail) a encore des marges de progrès (score à 68%), mais surtout les caractéristiques de l'emploi et les mesures prises pour limiter la précarité sont à reconsidérer (scores à 46-47 %).

Si la « loyauté et l'intégrité des pratiques commerciales » (relations aux partenaires, fidélité, projets communs, engagements des entreprises au niveau sanitaire, de la qualité, de l'environnement) est particulièrement élevée (76 %), c'est paradoxalement pour une Indication Géographique Protégée IGP la composante territoire et vie locale qui est la plus faible (62%). Ces résultats sont très marqués par ceux des entreprises intégrées compte tenu de leur poids relatif dans la filière ; or si elles promeuvent largement le territoire et son image à des fins commerciales, elles participent peu à la vie locale tout comme les entreprises autonomes.

Au niveau de la richesse matérielle, on constate un bon niveau global de la filière (70 %) malgré un taux de dépendance aux aides assez élevé et une efficacité économique (valeur ajoutée/valeur de la production) très faible. Pour la richesse immatérielle (formation et recherche), elle n'est pas à la portée des conserveurs à la ferme et le bon score de 86 % est essentiellement le résultat des entreprises intégrées.

Pour l'étude de la richesse et l'emploi créés sur le territoire, les comptes de résultat des entreprises de l'échantillon nous ont permis d'estimer les consommations intermédiaires locales et non locales. Il apparaît que 91% des consommations sont locales ; les 9 % restants étant surtout dus à l'achat de matériel hors zone IGP. La méthode des multiplicateurs nous permet de conclure que la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest est source de 46 693 emplois sur la zone IGP ; la production d'une tonne de foie gras crée 5.77 emplois ; le système de production transformation de la filière crée un revenu de 2.8 Milliards d'euros sur la zone IGP.

CONCLUSION

L'analyse des impacts environnementaux de la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest a souligné la prépondérance de l'élevage et du gavage des canards dans les impacts globaux de la filière. Mais au-delà de ce résultat attendu, les résultats détaillés fournissent de riches enseignements sur l'origine des impacts environnementaux pour chaque étape de la

filière de production et de distribution. L'identification des principaux contributeurs aux impacts potentiels suggère aussi des pistes d'amélioration à étudier pour réduire le bilan environnemental de la filière.

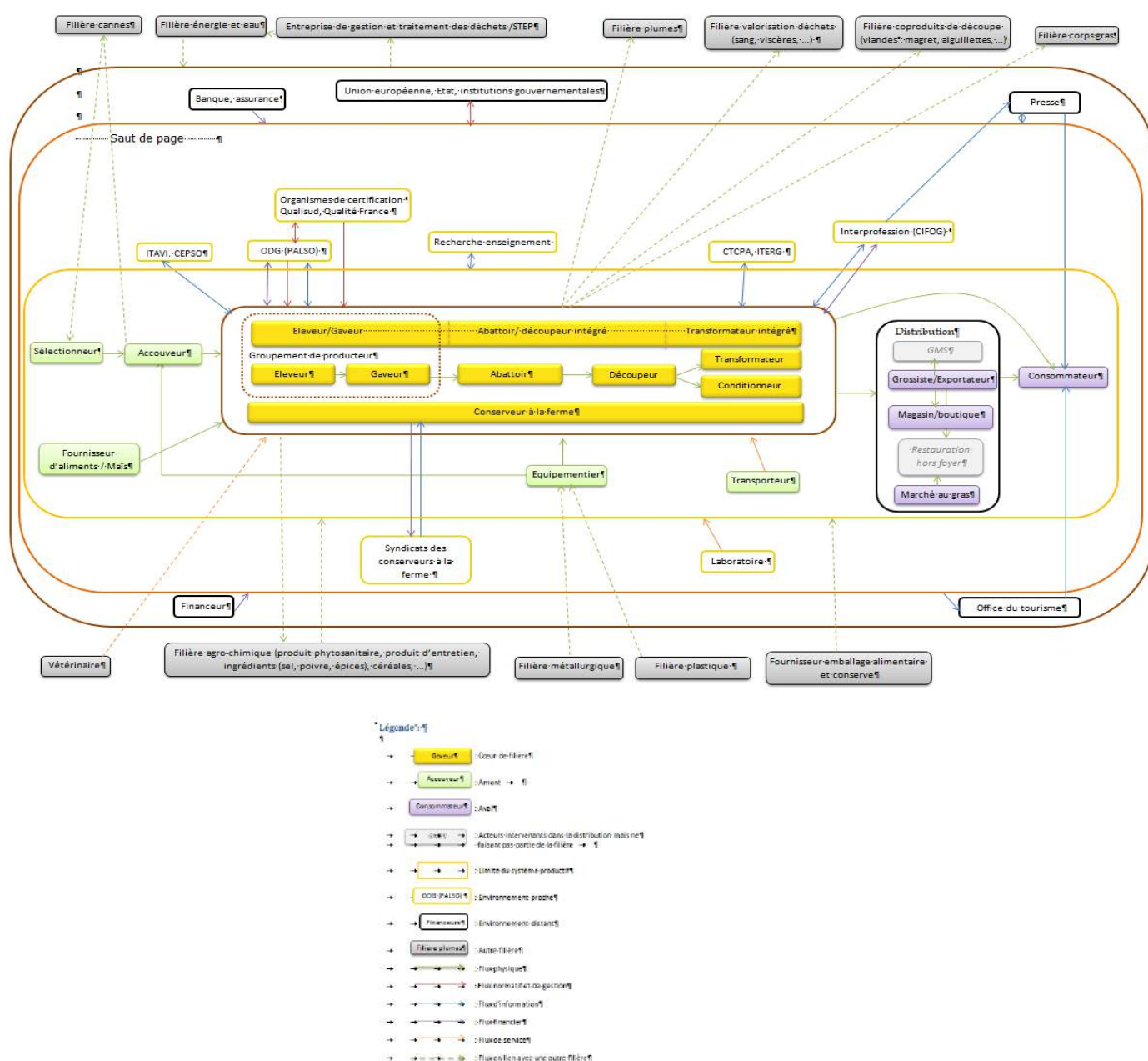
L'analyse globale de l'ensemble des flux de produits et de matières, indispensable pour établir l'inventaire de cycle de vie, propose également une vision inédite de la filière IGP aux professionnels. Chaque acteur de la filière peut ainsi comprendre quels flux de matières ou d'énergie entraînent des impacts potentiels à son niveau mais plus largement sur l'ensemble du cycle de vie et on peut imaginer qu'en extrapolant au niveau des entreprises, un travail d'écoconception pourra découler de ce projet.

Pour l'analyse des performances sociales et économiques, l'approche choisie repose sur les préoccupations suivantes: (i) la décision de mesurer les pratiques et les performances plutôt que les impacts; (ii) le désir d'utiliser des références pour juger / positionner la performance et les indicateurs mesurés; (iii) l'objectif n'est pas de vérifier la conformité avec les règlements, mais d'identifier les domaines à améliorer; (iv) la volonté d'une méthode suffisamment générique pour s'adapter à d'autres secteurs. Pour toutes ces raisons, la méthode s'avère pleinement opérationnelle. Les enseignements de ces évaluations pour la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest montrent que le lien au territoire au travers d'une promotion et d'un ancrage dans la vie locale est important mais hétérogène selon les entreprises; l'effet saison est atténué en partie avec une réorganisation de la production sur toute l'année mais le recours aux emplois saisonniers reste important et nécessaire; les entreprises de la filière sont engagées dans des actions collectives sur divers sujets majeurs (sanitaires et environnementaux), faisant écho à l'adhésion à l'IGP comme élément fédérateur.

Le travail réalisé s'est toutefois heurté aux limites de l'exercice, notamment l'énergie considérable qui doit être déployée pour mener à bien une collecte de données terrain approfondie, s'efforçant de respecter des critères de

représentativité bien que la transmission de données par les entreprises relève du volontariat. Malgré le temps consacré à la collecte de données, un travail complémentaire serait utile pour renforcer la fiabilité des hypothèses choisies. Pour les données socio-économiques, certains éléments sont considérés comme confidentiels par les entreprises (questions salariales, du bien-être des travailleurs, données comptables); par ailleurs la question des références pour chaque critère est fondamentale car d'elles dépend toute l'estimation.

Les méthodologies proposées au travers des études de cas menées dans le cadre du projet ACYDU présentent certes des limites, néanmoins ces travaux contribuent à faire progresser la recherche sur le couplage de différentes approches dans une perspective d'intégration des résultats environnementaux et socio-économiques pour l'analyse de la durabilité des filières agroalimentaires dans leur intégralité.

Figure 1. Schéma représentant les acteurs de la filière et les flux de matières et d'information**Tableau 1.** Méthodologie adoptée pour construire l'inventaire de cycle de vie des différentes étapes étudiées et flux utilisés pour l'expression des résultats

Etape	Approche utilisée	Flux de référence
Eleavage/gavage	Modèle de production type établi en collaboration avec l'INRA sur la base du cahier des charges IGP (composition de la ration alimentaire, émissions gazeuses...) (Deneufbourg <i>et al.</i> , 2016)	Nombre de canards gavés
Abattage/découpe	Collecte de données annuelles d'activité auprès d'un échantillon de 7 abattoirs, représentant 37% du nombre total de canards abattus pour la filière IGP	Nombre de canards abattus
Transformation	Collecte de données annuelles d'activité auprès d'un échantillon de 7 ateliers de transformation, représentant 43% du tonnage de produits transformés sous IGP	Poids de produits finis transformés

Conditionnement	Modèle établi à partir d’une répartition globale par type d’emballages selon le type de produit fini (foie gras cru, foie gras transformé mi-cuit ou en conserve)	Poids d’emballages
Distribution	Modèle établi à partir de la répartition entre les différents circuits de distribution et les destinations géographiques finales	Poids de produits commercialisés
Consommation	Modèle établi à partir de scénarios de conservation et de préparation selon le type de produit	Poids de produits consommés
« Environnement proche »	Estimations des jours de bureaux et des déplacements professionnels	Nombre de travailleurs

Figure 2. Synthèse des flux de produits intervenant aux différentes étapes

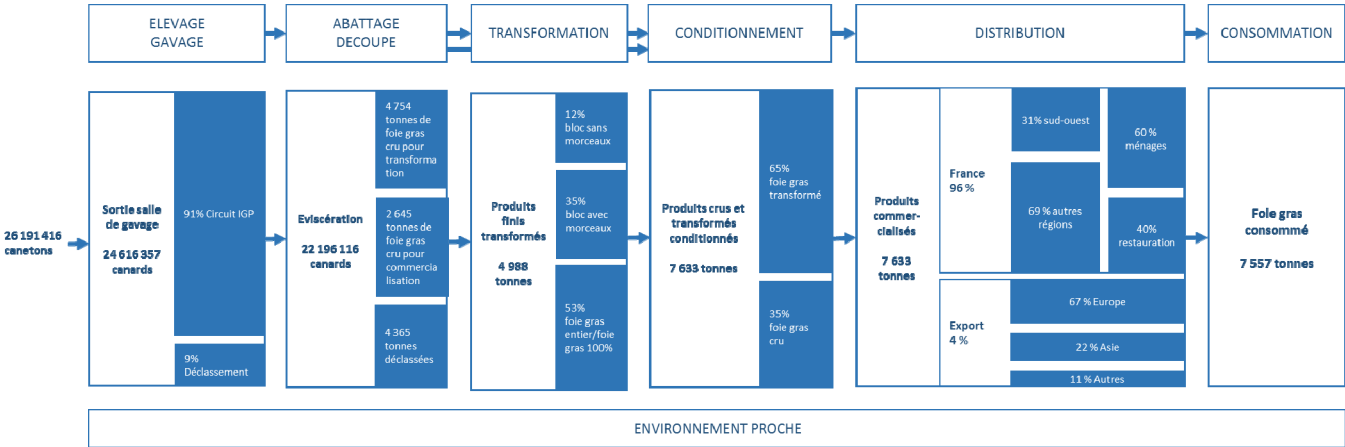
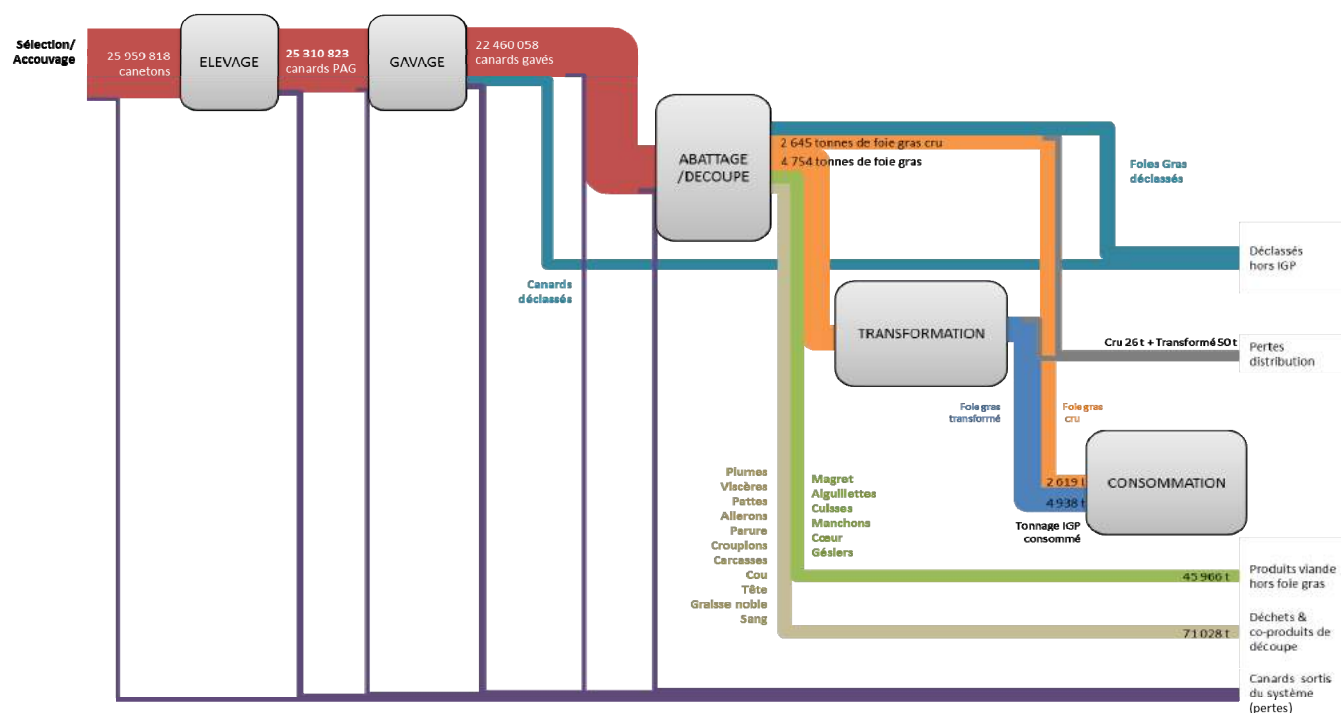


Figure 3. Focus sur les flux entrants et sortants au cours des différentes étapes de production**Tableau 2.** Impacts environnementaux potentiels de la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest pour l'année 2014

Catégorie d'impact	TOTAL	Elevage/ gavage	Abattage/ découpe	Transformation	Conditionnement	Distribution	Consommation	Environnement proche
Changement climatique (kg éq. CO ₂)	197 118 344	164 909 380	12 187 209	7 296 702	5 969 918	1 501 632	5 093 206	160 297
Emissions de particules (kg éq. PM _{2.5})	252 918	237 070	3 844	1 362	6 401	460	3 678	102
Rayonnements ionisants (kg éq. Bq U235)	68 071 545	45 134 512	10 947 389	4 648 605	442 866	880 520	5 992 375	25 278
Formation d'ozone photochimique (kg éq. NMCOV)	598 755	521 950	24 744	7 376	22 004	6 699	15 488	495
Acidification terrestre et des eaux douces (mol éq. H ⁺)	8 178 970	8 044 146	41 962	14 530	42 753	6 899	28 004	676
Eutrophisation marine (kg éq. N)	1 647 422	1 614 973	13 078	3 997	7 741	2 263	5 232	139
Diminution des ressources minérales et fossiles (kg éq. Sb)	11 794	9 898	373	244	541	46	657	35
Consommation d'eau (m ³)	25 964 803	22 028 860	1 857 668	726 738	308 767	102 083	935 343	5 345

Figure 4. Contribution des différentes étapes du cycle de vie aux impacts environnementaux potentiels de la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest

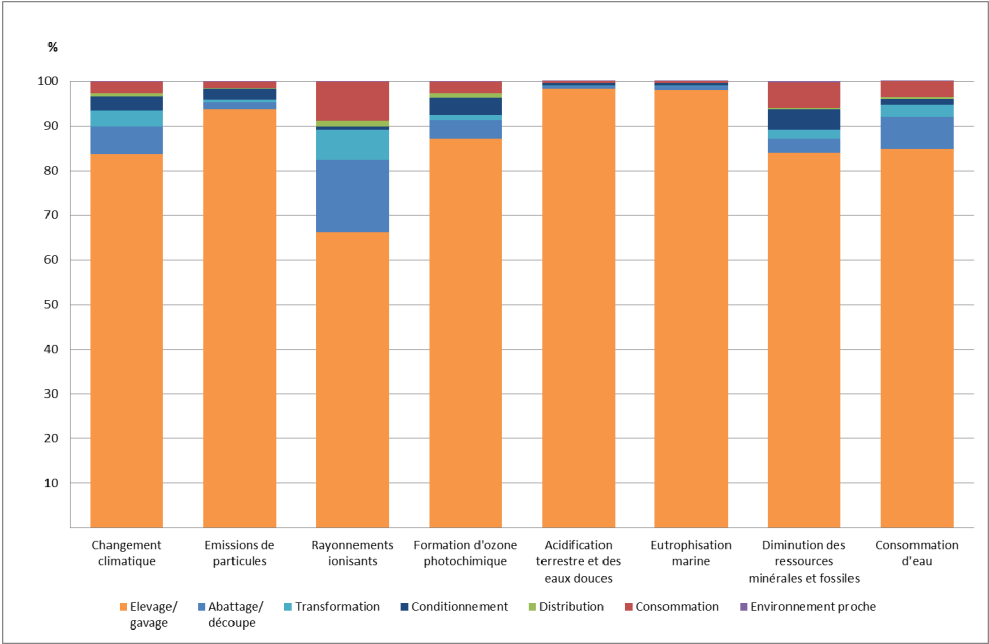


Figure 5. Performances de la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest par catégorie d'indicateurs

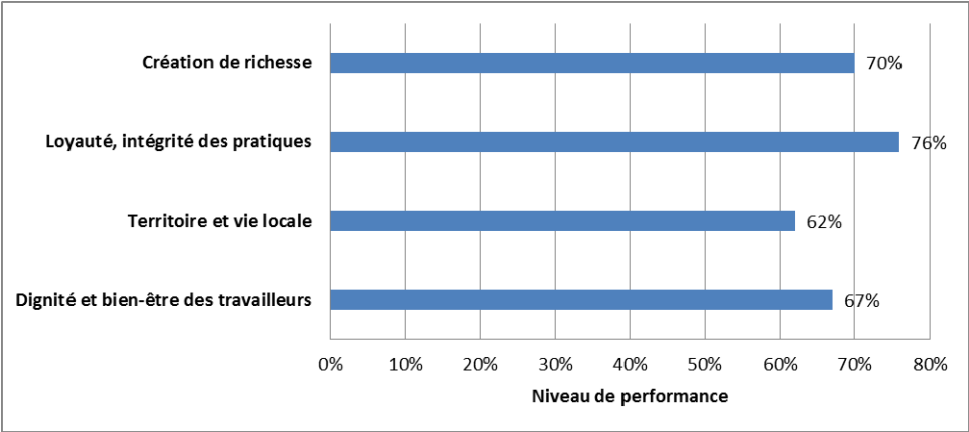
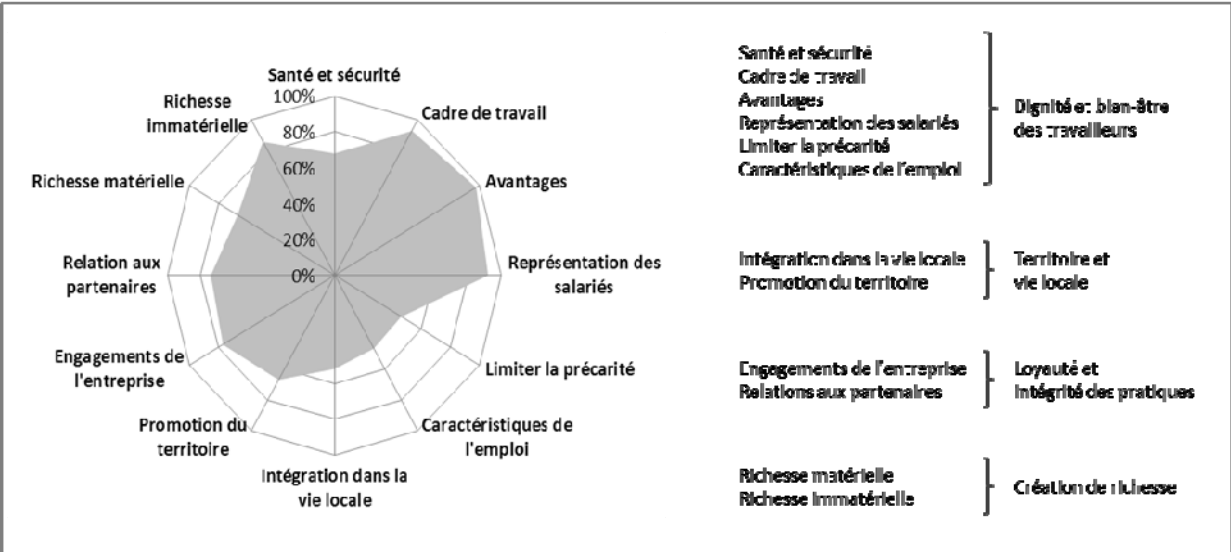


Figure 6. Performances de la filière IGP Foie Gras du Sud-Ouest par sous-catégories d'indicateurs



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEPALE, 2013. Données statistiques de la filière Foie Gras pour l'année 2013.
- AFNOR, 2010. ISO 26000 Lignes directrices relatives à la responsabilité sociétale.
- AFNOR, 2012. X 30-030 : Guide d'utilisation de la norme ISO 26000 pour le secteur de l'agroalimentaire.
- Agribalyse, 2015. [En ligne] <http://www.ademe.fr/expertises/produire-autrement/production-agricole/passer-a-l'action/dossier/evaluation-environnementale-agriculture/loutil-agribalyser>
- Andrews E., Lesage P., Benoît C., Parent J., Norris G.A., Revéret J.-P., 2009. Life Cycle Attribute Assessment: Case Study of Quebec Greenhouse Tomatoes. *J. Ind. Ecol.* **13**, 565–578. doi:10.1111/j.1530-9290.2009.00142.x
- Assogba G., 2015. Evaluation des dimensions, sociales, environnementales et territoriales de filières agroalimentaires sous signes officiels de qualités. Discussion des méthodes et des premiers résultats du projet ACYDU appliqué aux filières IGP Canards Gras du Sud-Ouest, AOP Comté et AOP Vins de Bourgogne. 52ème colloque ASRDLF
- Besnier A., Farrant L., Penavayre S., Bosque F., Labau M.P., Lempereur V., Pernet C., Berner J.L., Jolibert F., 2016. 10th International conference on Life Cycle Assessment of Food, Dublin, Irlande.
- CIFO. 2014. Rapport économique annuel.
- Deneufbourg, C., Arroyo, J., Wilfart, A., Farrant, L., Fortun-Lamothe, L., 2016. 10th International conference on Life Cycle Assessment of Food, Dublin, Irlande.
- Dreyer L.C., Hauschild M., Schierbeck J., 2006. A Framework for Social Life Cycle Impact Assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* **11**, 88–97. doi:10.1065/lca2005.08.223
- Garrabé M., Pedamay A., 2012. MCM-ASCV des Capacités. Application à la filière tomate industrielle en France. Rapport 5 du projet ANR Alia FLONUDEP
- Garrabé. M., 2014. Valeur d'activité totale (V.A.T.) d'une opération de développement. Séminaire 3 - UM1-IAMM
- Hunkeler D., 2006. Methodology and Case Study. *Int. J. Life Cycle Assess.* **11**, 371–382. doi:10.1065/lca2006.08.261.
- ISO, 2006 (a). ISO 14040. Management environnemental - Analyse du cycle de vie – Principes et cadre.
- ISO, 2006 (b). ISO 14044. Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices.
- ISO, 2014. ISO/TS 14072. Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices pour l'analyse du cycle de vie organisationnelle.
- JRC, 2011. European Commission. ILCD Handbook.
- Kruse S.A., Flysjö A., Kasperczyk N., Scholz A.I., 2009. Socioeconomic indicators as a complement to life cycle assessment—an application to salmon production systems *Int. J. Life Cycle Assess.* **14**, 8–18. doi:10.1007/s11367-008-0040-x
- Macombe C., Leskinen P., Feschet P., Antikainen R., 2013. Social life cycle assessment of biodiesel production at three levels: a literature review and development needs. *J. Clean. Prod.* **52**, 205–216. doi:10.1016/j.jclepro.2013.03.026
- Norris G.A., 2006. Social Impacts in Product Life Cycles - Towards Life Cycle Attribute Assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* **11**, 97–104. doi:10.1065/lca2006.04.017.
- Norris C.B., Data for social LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* **19**, 261–265. doi:10.1007/s11367-013-0644-7 (2014)
- PALSO, 2014. Données statistiques de la filière IGP Canards à Foie Gras du Sud-Ouest.
- Parent J., Cucuzzella C., Revéret J.-P., 2010. Impact assessment in SLCA: sorting the sLCIA methods according to their outcomes. *Int. J. Life Cycle Assess.* **15**, 164–171. doi:10.1007/s11367-009-0146-9
- Weidema B.P., 2006. The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* **11**, 89–96. doi:10.1065/lca2006.04.016

SESSION

DURABILITE - ENVIRONNEMENT

Communications Orales

REDUCTION DU TAUX PROTEIQUE DANS L'ALIMENT FINITION CHEZ LE POULET DE CHAIR : CONSEQUENCES ENVIRONNEMENTALES

**Méda Bertrand¹, Belloir Pauline^{1,2}, Lessire Michel¹, Juin Hervé³, Corrent Etienne²,
Lambert William², Tesseraud Sophie¹**

¹URA, INRA, 37380 NOUZILLY

²AJINOMOTO EUROLYSINE S.A.S., 153 rue de Courcelles, 75017 PARIS Cedex 17

³EASM, INRA, 17700 SAINT-PIERRE-D'AMILLY

bertrand.meda@inra.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude était d'évaluer les conséquences environnementales de la réduction du taux protéique de l'aliment chez le poulet de chair en finition. Pour cela, deux essais ont été réalisés avec des poulets de chair en finition ayant reçu un aliment contenant 19, 18, 17, 16, 15% ou 19, 17,5, 16% de protéines. A partir des performances zootechniques (gain de poids et ingestion), un bilan azoté a été réalisé pour estimer la rétention et l'excrétion. Le fumier a également été pesé et analysé (teneur en azote). La volatilisation de l'azote du fumier a ensuite été calculée. La baisse de protéines améliore de 3,4% l'efficacité de rétention azotée par point de protéines en moins. Cette rétention supérieure se traduit par une baisse de l'excrétion d'azote d'environ 12-14% par point de protéines en moins. De plus, la part d'azote excrété se volatilisant est réduite. En parallèle, trois scénarios de production de poulet de chair, nourris avec des aliments finition à 19, 17 ou 15% de protéines (S19, S17 et S15) ont été évalués par Analyse du Cycle de Vie. Les performances zootechniques étaient identiques dans les scénarios S19 et S17 mais l'indice de consommation était supérieur de 3% dans le scénario S15. Dans les scénarios S17 et S15, l'excrétion et la volatilisation de l'azote étaient réduites. La réduction protéique des aliments finition S17 et S15 permet la réduction de plusieurs impacts environnementaux (changement climatique, -6 et -10% ; eutrophisation, -8 et -12%). Pour l'acidification, alors que l'impact de la tonne d'aliment finition augmente de 3 et 5% pour S17 et S15, la réduction de l'excrétion et de la volatilisation de l'azote compense cet effet, pour un impact final de la tonne de vif réduit de 7% et 11% respectivement pour S17 et S15. Ces résultats confirment l'intérêt environnemental de l'utilisation d'aliments à teneur en protéines réduites.

ABSTRACT

Environmental implications of decreasing dietary crude protein content in finishing broilers

The aim of this study was to assess the environmental implications of decreasing CP content in broiler diets. Two trials with finishing broilers fed with diets with different CP content (19, 18, 17, 16 and 15%; 19, 17.5 and 16%, respectively) were carried out. From animal performance (growth, feed intake), a nitrogen balance was carried out to estimate retention and excretion. Manure was weighted and analysed for N content. From this data, nitrogen volatilization was estimated. With the CP decrease, nitrogen retention efficiency was improved by 3.4% per CP point. As a consequence, nitrogen excretion was decreased by 12-14% per CP point. This phenomenon was also associated to a lower proportion of the excreted N lost through gas emission (volatilization). Furthermore, three scenarios of broiler production were built and assessed using Life Cycle Assessment (LCA), where the CP content of the finishing diet was 19, 17 or 15% (scenarios S19, S17, S15 respectively). Animal performances were considered identical in S19 and S17 but not in S15 where feed conversion ratio was increased by 3%. In S17 and S15, nitrogen excretion of birds and volatilization from manure were lower than in S19. Results showed that reducing CP content of finishing diet reduced climate change and eutrophication LCA impacts (climate change: -6 and -10% for S17 and S15; eutrophication: -8 and -12% for S17 and S15). For acidification, while the impact per ton of finishing diet increased by 3 and 5% in S17 and S15, the reduced nitrogen excretion and volatilization compensated this negative effect, so that the impact per ton of live weight was reduced by 7 and 11% respectively. These results confirm that decreasing dietary crude protein content is a relevant strategy to reduce the environmental impact of broiler production.

INTRODUCTION

L'ammoniac (NH_3) est le principal composé émis par les élevages de volailles, suite à la volatilisation d'une partie de l'azote excrété par les animaux (Méda *et al.*, 2011). Ses effets sur l'environnement et la santé des animaux (et des éleveurs) sont nombreux. Ainsi, le NH_3 contribue à l'eutrophisation des eaux de surfaces et à l'acidification des sols (Méda *et al.*, 2011), tandis qu'il peut affecter négativement les performances des animaux et leur santé (troubles respiratoires ; Al Homidan *et al.*, 2003).

Afin de réduire les émissions de NH_3 des élevages, la réduction du taux protéique des aliments distribués est une stratégie pertinente. Ainsi, Méda *et al.* (2011) rapportent qu'une baisse d'un point de la teneur en protéines dans l'aliment permet de réduire d'environ 10% l'excrétion azotée, et par conséquent les émissions gazeuses. Cependant, Pesti (2009) souligne que la réduction du taux protéique de l'aliment s'accompagne fréquemment de dégradations des performances zootechniques (baisse de la croissance, dégradation de l'indice de consommation). De fait, ceci limite en pratique le recours à de telles stratégies alimentaires, puisqu'elles ont des conséquences négatives sur les performances économiques de l'élevage (hausse des coûts de production).

Récemment, des travaux menés par Belloir *et al.* (2017) ont montré qu'il est néanmoins possible, sans dégrader les performances ou la qualité des produits, de réduire de deux points la teneur en protéines de l'aliment finition chez le poulet de chair, en ajustant le profil en acides aminés de la ration à l'aide d'acides aminés industriels.

Ainsi, l'objectif de cette étude était d'étudier les conséquences environnementales à l'échelle de l'élevage (rejets et volatilisation) et du produit final (Analyse de Cycle de Vie) des stratégies à bas taux protéique proposées par Belloir *et al.* (2017).

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Deux expérimentations successives visant à étudier l'effet de la réduction du taux protéique de l'aliment chez le poulet de chair mâle Ross PM3 en finition ont été menées. Le protocole est décrit en détail par Belloir *et al.* (2017).

Pour la première expérimentation (Expé 1), 5 aliments expérimentaux à 19%, 18%, 17%, 16% et 15% de protéines ont été étudiés, tandis que dans la seconde (Expé 2), seulement 3 aliments, respectivement à 19%, 17,5% et 16% de protéines ont été étudiés. Les animaux ont été élevés sur litière (copeaux) en parquets de 3m² de 21 à 35j d'âge (38 animaux/parquet ; 8 parquets par traitement) et ont reçu l'aliment expérimental *ad libitum*. Les animaux ont été pesés au début et à la fin de la période expérimentale (+ poids des morts en cours d'élevage),

et la consommation totale d'aliment par parquet a également été mesurée.

1.2. Bilan de masse : rétention et excrétion azotée

Pour chaque parquet (n=8/traitement), l'ingestion totale d'azote (N_{ing} , g) a été calculée en multipliant l'ingestion totale d'aliment ($IngTot$, kg) par la teneur en protéines de l'aliment (TP , g/kg) divisée par 6.25 :

$$N_{ing} = IngTot \times TP / 6.25$$

La rétention corporelle (N_{ret} , g) totale du parquet a ensuite été calculée en multipliant le gain de poids total du parquet ($Gain$, kg ; animaux vivants+morts) par une teneur en azote constante dans 1 kg de poids vif (29 g/kg ; ITAVI, 2013). L'efficacité de rétention de l'azote (N_{effret} , %) a alors été estimée comme le ratio entre la rétention et l'ingestion.

$$N_{ret} = Gain \times 29$$

$$N_{effret} = 100 \times N_{ret} / N_{ing}$$

Enfin, l'excrétion totale d'azote du parquet (N_{exc} , g) a été calculée par différence en l'ingestion et la rétention, puis exprimée par kg de gain, pour faciliter la comparaison entre traitements ($N_{excgain}$, g/kg gain).

$$N_{exc} = N_{ing} - N_{ret}$$

$$N_{excgain} = N_{exc} / Gain$$

1.3. Bilan de masse : composition chimique du fumier et volatilisation de l'azote du fumier

Pour chaque traitement, 4 parquets ont été choisis aléatoirement pour étudier la composition du fumier et la volatilisation de l'azote de l'effluent. Pour ces parquets, après l'abattage des animaux, la quantité totale de fumier (m_{fumier} , kg) a été pesée et un échantillon représentatif de l'effluent a été prélevé pour analyse des teneurs en matière sèche et en azote (MS_{fum} , % ; N_{fum} , g). Les pertes d'azote par volatilisation (N_{pertes} , g) ont ensuite été calculées par différence entre les apports d'azote (litière propre : $N_{copeaux}$, g et excrétion : N_{exc}), et l'azote retrouvé dans le fumier. La volatilisation de l'azote (N_{vol} , %) a ensuite été exprimée par rapport à l'excrétion pour faciliter la comparaison entre traitement.

$$N_{pertes} = (N_{exc} + N_{copeaux}) - (N_{fum} \times m_{fum})$$

$$N_{vol} = 100 \times N_{pertes} / N_{exc}$$

1.4. Analyse de Cycle de Vie à l'échelle de la tonne de poulet vif en sortie d'élevage

Afin d'évaluer, à l'échelle du produit final, les conséquences environnementales de l'utilisation d'un aliment finition à teneur réduite en protéines, une approche d'Analyse de Cycle de Vie a été conduite sur trois scénarios (nommés S19, S17 et S15), utilisant des aliments finition respectivement à 19, 17 et 15% de protéines. Les impacts « Changement climatique », « Acidification », « Eutrophisation » et « Consommation d'énergie non-renouvelable » associés à la production d'une tonne de poulet vif en

sortie d'élevage ont ainsi été estimés (Figure 1). Plus spécifiquement, la production de poulets de chair de souche Ross PM3 abattus à 36 j pour un poids vif de 1,83 kg a été considérée. Les principales hypothèses et données utilisées pour décrire cette production sont issues du cas-type « poulet Standard Pays-de-la-Loire » Dusart *et al.* (2015) (Tableau 1).

Par ailleurs, il a été considéré que les aliments démarrage et croissance distribués dans les trois scénarios étaient identiques. Toutefois, si pendant la phase de finition, les performances ont été considérées comme identiques dans les scénarios S19 et S17 (en accord avec les résultats de Belloir *et al.*, 2017), l'indice de consommation a été considéré supérieur de 3% dans le scénario S15, en accord avec ces mêmes travaux. L'excrétion et la volatilisation de l'azote ont été supposées réduites dans les scénarios S17 et S15 en accord avec les résultats présentés dans les sections 2.1 et 2.2.

Différentes bases de données et modèles ont également été utilisés pour le calcul des impacts environnementaux :

- Ecoalim (Wilfart *et al.*, 2017) pour les impacts liés à la production des matières premières utilisées pour l'alimentation animale ;
- Ecoinvent 3 (Wernet *et al.*, 2016) pour les impacts liés au transport en camion, à la production et/ou l'utilisation d'eau, d'énergie et de litière (paille) ;
- Agribalyse (Koch et Salou, 2014) pour les impacts liés à la production des poussins et des matériaux de construction des bâtiments d'élevage ;
- EMEP-EEA (2013) pour l'estimation des émissions de NH₃, N₂O et CH₄ des effluents.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Efficacité de rétention azotée et excrétion

La Figure 2 présente, pour les deux expérimentations réalisées, les valeurs calculées de d'efficacité de rétention de l'azote, ainsi que les quantités d'azote excrétées par kg de gain de poids. La réduction du taux protéique de l'aliment a des conséquences directes sur ces deux variables, puisque la réduction d'un point du taux protéique a permis, sur la période 21-35j, d'augmenter en moyenne l'efficacité de rétention de 3,4 points (Figure 2a). Cette augmentation conduit même, pour les régimes les plus bas en protéines (*i.e.* <16%) à des valeurs de rétention supérieures à 70% de l'azote ingéré. Bien que très élevées, ces valeurs ont déjà été observées dans la littérature, mais chez de plus jeunes animaux (Siegert *et al.*, 2016). Il est par ailleurs possible qu'à de tels taux protéiques, une limite physiologique soit atteinte, et que l'efficacité de rétention soit donc maximale.

L'amélioration de la rétention azotée se traduit directement sur les quantités d'azote excrétée par kg de gain, avec, en moyenne, une diminution d'environ 2,5 g d'azote excrété par point de protéines en moins dans l'aliment (Figure 2b), ce qui correspond à une quantité réduite d'environ de 12 à 14% par point de

protéines. Cette réduction est cohérente avec la valeur de 10% rapportée par Méda *et al.* (2011) bien que légèrement supérieure.

2.2. Composition du fumier et conséquences sur la volatilisation de l'azote

La réduction de l'excrétion azotée entre 21 et 35j a eu un effet direct sur la teneur en azote du fumier. Ainsi celle-ci a été réduite en moyenne de 1,4 g/kg MS. En parallèle, l'humidité du fumier a également baissé (Figure 3a). Cette baisse peut être expliquée par la réduction de l'incorporation de tourteau de soja dans les aliments à bas taux protéiques. En effet, cette matière première riche en potassium augmente la consommation d'eau des animaux, et donc l'humidité des fientes (Francesch et Brufau, 2004).

La réduction de l'humidité du fumier pourrait également expliquer les plus faibles niveaux de volatilisation de l'azote observés avec les régimes à bas taux protéique. En effet, l'humidité de la litière est l'un des principaux facteurs contrôlant les processus microbiens à l'origine des émissions gazeuses d'azote, notamment d'ammoniac, composé majoritairement émis (Méda *et al.*, 2011). Ainsi, une réduction de 4 à 6 points de volatilisation de l'azote excrété a été observée par point de protéines en moins dans l'aliment (Figure 3b). Cette réduction de la volatilisation, combinée à la réduction de l'excrétion azotée décrite précédemment, conduit en moyenne à une réduction synergique d'environ 17% de l'azote perdu sous forme gazeuse (ammoniac principalement) par point de protéines en moins dans l'aliment.

2.3 Impacts environnementaux à l'échelle de la tonne de poulet vif en sortie d'élevage

Les impacts environnementaux associés à la production d'une tonne d'aliment finition et d'une tonne de poulet vif en sortie d'élevage sont présentés en Figure 4. A l'échelle de la tonne d'aliment finition (Figure 4a), les aliments à 17 et 15% de protéines conduisent à une réduction des impacts « Changement climatique » (-9% et -20% respectivement) et « Eutrophisation » (-4% et -8% respectivement) ainsi qu'à des consommations d'énergie non-renouvelable quasi-identiques. Toutefois, l'impact « Acidification » est augmenté de 3 et 5% dans les scénarios S17 et S15 respectivement. Ces variations d'impacts sont à rapprocher du changement de profil en matières premières des aliments avec la baisse de protéines (voir Belloir *et al.*, 2017) : une réduction de la part de tourteau de soja (28, 21 et 14% respectivement) et une hausse de la part de maïs (43, 51 et 58% respectivement).

A l'échelle de la tonne de poulet vif (Figure 4b), consommation d'énergie non-renouvelable demeure stable dans les scénarios S17 et S15 par rapport à S19. Pour les autres impacts considérés, une réduction est observée dans les scénarios S17 et S15, le scénario S15 permettant toujours une réduction plus importante

des impacts que le scénario S17, ceci malgré une dégradation de l'indice de consommation de 3% dans le scénario S15.

Toutefois, la réduction de l'impact « Changement climatique à l'échelle du kg de poulet vif est de de plus faible ampleur (-6 et -10% respectivement pour S17 et S15) qu'à l'échelle de l'aliment finition. En effet, cette réduction étant « atténuée » par la contribution des autres aliments et des autres postes (poussin, bâtiment, effluent).

A l'inverse, pour l'impact « Eutrophisation », la réduction est encore plus importante (-8 et -12% respectivement pour S17 et S15), en lien avec la réduction conjointe de l'excrétion azotée et de la fraction azotée volatilisée (sections 2.1 et 2.2). Cette baisse de l'excrétion et de la volatilisation permet également de réduire l'impact « Acidification » de 7 et 11% respectivement dans les scénarios S17 et S15, alors qu'à l'échelle de l'aliment finition, l'impact « Acidification » des scénarios S17 et S15 était supérieur à celui du scénario S19. Les réductions simultanées de l'excrétion azotée et de la fraction azotée volatilisée dans des aliments finition à teneur réduite en protéines permettent ainsi de compenser l'impact supérieur « Acidification » des aliments finition S17 et S15.

CONCLUSION

La réduction du taux protéique de l'aliment chez le poulet de chair en finition présente donc un fort intérêt environnemental puisqu'elle permet de réduire conjointement plusieurs impacts environnementaux, d'une part par en réduisant l'utilisation de tourteau de soja importé d'Amérique du Sud, et d'autre part, en réduisant les rejets azotés de l'élevage (excrétion et émissions gazeuses), et ce même si l'indice de consommation est dégradé avec l'aliment finition à 15% de protéines. Toutefois, afin de compléter cette étude, il conviendra d'évaluer les conséquences économiques (coûts de production du vif et/ou du filet) d'une telle stratégie alimentaire à bas taux protéique utilisant des acides aminés industriels, notamment dans le scénario S15 où l'indice de consommation est dégradé de 3%.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier d'Ajinomoto Eurolysine S.A.S et de l'INRA. Les auteurs remercient le personnel de l'Unité Expérimentale du Magneraud et de l'Unité de Recherches Avicoles pour l'appui technique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al Homidan A., Robertson J.F., Petchey A.M., 2003. World Poultry Sci. J., (59), 340–349.
- Belloir P., Méda B., Lessire M., Juin H., Corrent E., Lambert E., Tesseraud S., 2017. 12^{èmes} JRAPFG.
- Dusart L., Méda B., Protino J., Chevalier D., Dezat E., Chenut R., Ponchant P., Lescoat P., Berri C., Bouvarel I., 2015. 11^{èmes} JRAPFG, 881–886.
- EMEP/EEA 2013. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013 – technical chapter 3.B, 65 p.
- Francesch M and Brufau J 2004. World Poultry Sci. J., (60), 64–75.
- ITAVI, 2013. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre, zinc par les élevages avicoles. 63 p.
- Koch P, Salou T., 2014. Agribalyse® : Rapport méthodologique, 386 p.
- Méda B, Hassouna M, Aubert C, Robin P, Dourmad JY, 2011. World Poultry Sci. J., (67), 441–456.
- Pesti G.M., 2009. J. Appl. Poult. Res., (18), 477–486.
- Siebert W., Wild K.J., Schollenberger M., Helmbrecht A., Rodenhutscord M., 2016. Brit. Poultry Sci., (57), 424–434.
- Wernet G., Bauer C., Steubing B., Reinhard J., Moreno-Ruiz E., Weidema B., 2016. Int. J. Life Cycle Assess., (21), 1218–1230.
- Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Garcia-Launay F., Gac A., Espagnol S., 2017. 12^{èmes} JRAPFG.

Tableau 1. Principales données et hypothèses utilisées pour le calcul des impacts environnementaux associés à la production d'une tonne de poulet vif en sortie d'élevage.

Animaux		Bâtiment		Hypothèses de distances (km)	
<i>Souche</i>	Ross PM3	<i>Surface des bâtiments</i>	2 x 1300m ²	<i>Production des MP – Usine d'aliment</i>	variable selon les MP
<i>Âge à l'abattage (j)</i>	36	<i>Type de bâtiment</i>	Colorado dynamique	<i>Usine d'aliment – Elevage</i>	50 km
<i>Poids à l'abattage (kg)</i>	1,83	<i>Litière (kg/m²/lot)</i>	4,50	<i>Couvoir – Elevage</i>	200 km
<i>Indice de consommation</i>	1,73	<i>Electricité (kWh/m²/lot)</i>	3,80		
<i>Mortalité (%)</i>	4,19	<i>Propane (kWh/m²/lot)</i>	13,10		
<i>Densité (animaux/m²)</i>	23,40				

MP : matières premières

Figure 2. Relations entre taux protéique de l'aliment et (a) l'efficacité de rétention de l'azote et (b) l'excrétion azotée chez le poulet mâle Ross PM3 entre 21 et 35j d'âge (n=8/traitement ; RMSE : root-mean-square error).

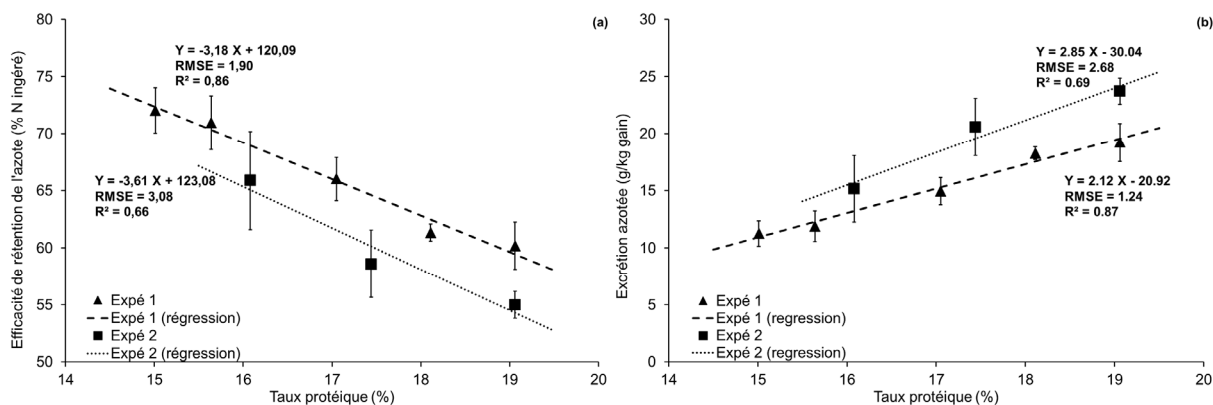


Figure 3. Relations entre taux protéique de l'aliment et (a) teneur en azote et humidité du fumier et (b) volatilisation totale de l'azote du fumier chez le poulet mâle Ross PM3 entre 21 et 35j d'âge. (n=4/traitement ; RMSE : root-mean-square error)

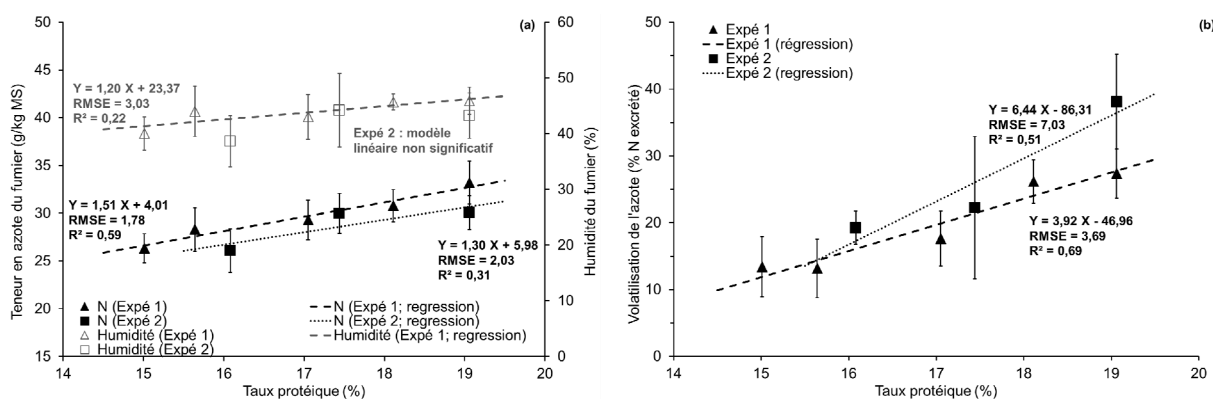
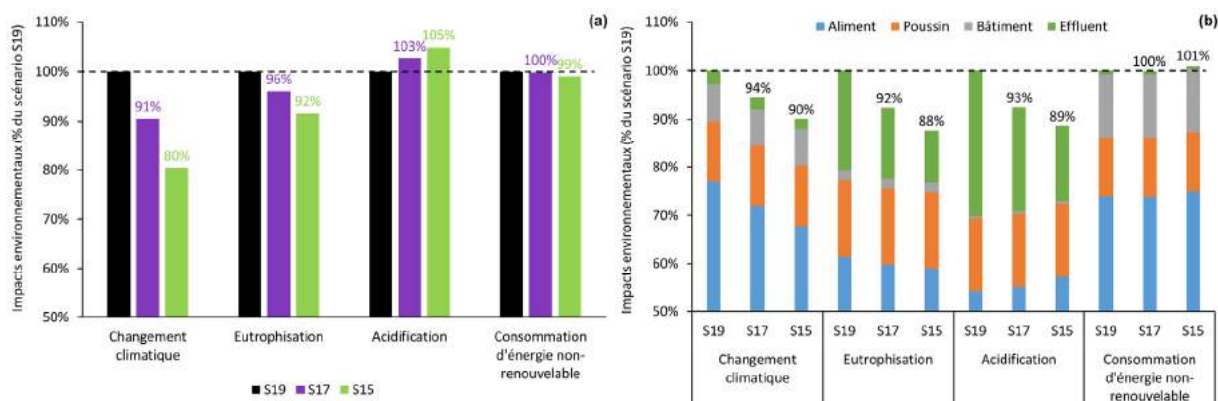


Figure 4. Impacts environnementaux (a) de la tonne d'aliment finition et (b) de la tonne de poulet vif en sortie d'élevage pour les scénarios S19, S17 et S15 (aliments finition respectivement à 19, 17 et 15% de protéines).



ECOALIM : UNE BASE DE DONNEES DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES MATIERES PREMIERES UTILISEES EN FRANCE POUR L'ALIMENTATION ANIMALE

Wilfart Aurélie¹, Dauguet Sylvie², Tailleur Aurélie³, Willmann Sarah³, Laustriat Marie², Magnin Morgane¹, Garcia-Launay Florence⁴, Gac Armelle⁵, Dusart Léonie⁶, Espagnol Sandrine⁷

aurelie.wilfart@inra.fr

¹ UMR SAS, INRA, Agrocampus Ouest, 35042 Rennes, ² Terre Inovia, 33600 Pessac, ³ ARVALIS, Institut du végétal, 44370 la Chapelle Saint Sauveur, ⁴ UMR PEGASE, INRA, Agrocampus-Ouest, 35590 Saint-Gilles, ⁵ Institut de l'Elevage, Monvoisin, 35652 Le Rheu Cedex, ⁶ ITAVI, 37380 Nouzilly, ⁷ IFIP, Institut du porc, 35651 Le Rheu

RÉSUMÉ

La réduction des impacts environnementaux des produits animaux est un enjeu important pour les filières animales. Pour raisonner les stratégies de réduction des impacts des aliments, il est nécessaire de disposer de références fiables d'impacts environnementaux des matières premières (MP). La base de données ECOALIM fournit les inventaires de cycle de vie et les impacts environnementaux des MP utilisées pour l'alimentation animale en France. Elle repose sur la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie, et calcule les impacts changement climatique, eutrophisation, acidification, consommation d'énergie non renouvelable, consommation de phosphore et occupation des terres pour différents périmètres : sortie champ, sortie organisme stockeur, rendu port français et sortie usine de production. Les données techniques de la période 2008-2012 ont été utilisées. La base de données contient 150 valeurs dont 62 MP moyennes, 27 valeurs de déclinaisons et 10 MP étrangères. Les impacts moyens des matières premières sont cohérents avec la bibliographie. La base de données ECOALIM repose sur des données précises et homogènes. Elle fournit pour la première fois l'ensemble des produits minoritaires (soja français, sorgho français...) et permet ainsi de réaliser des formules complètes en France et d'explorer des formules innovantes d'aliments, prenant en compte des critères économique et environnementaux. Ces valeurs seront incluses dans la prochaine version des tables nutritionnelles INRA-AFZ et dans la base de données européenne pour l'alimentation animale (GFLI).

ABSTRACT

ECOALIM: French database for the environmental impacts of feed ingredients for animal nutrition

Reducing the environmental impact of animal products is a major challenge for animal production chains. To handle strategies of impact mitigation, it is necessary to have accurate references on environmental impact of feed ingredients (FI) utilized in animal nutrition. The ECOALIM database provides life cycle inventories and environmental impact of FI utilized in France. Based on life cycle assessment methodology, it calculates the impacts on climate change, eutrophication, acidification, non-renewable energy use, phosphorus consumption and land use for different system boundaries: at the field gate, stored agencies gate, harbour gate, and production plant gate. Technical data from 2008 to 2012 were utilized. The database contains 150 values including 62 national average FI, 27 variants and 10 foreign FI. The impacts of average FI are consistent with our expert knowledge and international bibliography. The utilization of technical leverages should be chosen in accordance with the environmental issue at the local level. The ECOALIM database relies on precise and homogenous data. It provides for the first time to our knowledge all the minor components and allows to construct full formulas and to investigate innovative feed formulas accounting for economic and environmental criteria. These values will be incorporated into the next tables of composition INRA-AFZ as well in the European environmental database for animal nutrition (GFLI).

INTRODUCTION

Après avoir constaté les impacts des productions animales sur l'environnement (Steinfeld *et al.*, 2006), les travaux de la FAO soulignent l'importance de réduire les émissions liées à l'élevage, et donc d'identifier des leviers d'atténuation (Gerber *et al.*, 2013). Dans les systèmes de productions d'animaux monogastriques, la production d'aliment contribue fortement aux impacts environnementaux des produits animaux. Ainsi, en production conventionnelle, l'alimentation des animaux est responsable de 50% à 85% des impacts changement climatique, 64% à 97% du potentiel d'eutrophisation, 70% à 96% de l'utilisation d'énergie et pratiquement 100% de l'occupation des terres (Basset-Mens et van der Werf, 2005 ; Prudêncio da Silva *et al.*, 2014). Etant donné la large contribution de l'alimentation à de nombreux impacts, privilégier des matières premières (MP) à faibles impacts environnementaux dans les formules d'aliments pourrait permettre d'obtenir des réductions des impacts de l'aliment et des produits animaux. Pour cela, il faut disposer de valeurs d'impacts des MP qui soient fiables et obtenues avec une méthodologie homogène pour réaliser les analyses de cycle de vie (ACV) et les prendre en compte dans les outils de formulation.

La formulation d'aliment en France est basée essentiellement sur des MP françaises qui sont issues d'un panel varié de conditions pédoclimatiques et de pratiques agricoles. Une étude précédente (Nguyen *et al.*, 2012) a déjà mis en exergue le besoin de données homogènes d'impacts environnementaux pour les MP afin de formuler des aliments à faibles impacts et pour explorer des solutions d'atténuations de ces derniers. La base de données ECOALIM est le résultat d'un projet collaboratif entre les instituts de recherche et les instituts techniques agricoles en lien avec l'alimentation animale. Elle rassemble à ce jour les données environnementales les plus précises et représentatives du contexte français. Cette base de données peut être utilisée en France et par les pays importateurs de MP françaises. Cet article présente les choix méthodologiques et les différents périmètres choisis pour développer la base de données ECOALIM ainsi que ses potentielles utilisations.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Principes généraux de l'ACV et frontières des systèmes étudiés

Plusieurs périmètres ont été retenus dans la base de données ECOALIM : sortie champ, sortie organisme stockeur (OS), rendu port français pour les matières premières importées et sortie usine de production pour les produits transformés. Le périmètre « sortie champ » est adapté aux cultures produites et utilisées pour la fabrication d'aliments à

la ferme. La formulation par des fabricants d'aliments nécessite d'autres périmètres. Le périmètre « sortie OS » est pertinent pour les céréales et les graines oléo-protéagineuses utilisées par les fabricants d'aliments et le périmètre « sortie usine de production » pour les coproduits et les produits industriels (e.g., tourteaux, acides aminés). Le périmètre « rendu port français » est pertinent pour les matières premières importées.

Dans la base de données ECOALIM, les impacts environnementaux des coproduits (coproduits de blé, de maïs, produits carnés...) ont été calculés en appliquant une allocation économique basée sur une moyenne olympique pour la période 2008-2012 pour chaque coproduit. L'unité fonctionnelle retenue est le kilogramme de matière première au taux d'humidité de référence, ce qui est l'unité fonctionnelle usuelle pour les matières premières.

1.2. Inventaires de cycle de vie

Les inventaires de cycles de vie pour les cultures françaises sont basés sur les inventaires de la base de données française pour les produits issus de l'agriculture AGRIBALYSE® (Koch et Salou, 2015), avec une mise à jour des facteurs d'émissions pour l'ammoniac (EMEP/EEA, 2013) et quelques ajustements sur les pratiques culturales. Une des évolutions majeures est la répartition des impacts dus à la fertilisation phosphatée et la perte en nitrates. Ces dernières ont été calculées à l'échelle de la rotation et réparties entre les cultures de la rotation, en fonction des exportations et besoins des cultures pour le phosphore et à part égale entre les cultures pour le lessivage. De plus, les itinéraires de production de semences ont été revus et précisés, et la plage de données a évolué de 2005-2009 à 2008-2012.

1.2.1 Cultures françaises

Pour toutes les cultures françaises, les inventaires moyens (rendement, fertilisation, traitements et semences) ont été obtenus à partir des statistiques agricoles (UNIP, 2005-2009 ; Agreste, 2005-2012, 2006). Pour les principales MP (maïs, blé, orge, colza, et tournesol), des inventaires spécifiques ont été produits pour une fertilisation organique systématique, l'introduction systématique de protéagineux ou de cultures intermédiaires pièges à nitrates dans la rotation. Ces inventaires ont été obtenus à partir du réseau de fermes de référence d'Arvalis-Institut du végétal afin d'évaluer la variabilité des résultats en fonction du système de culture.

1.2.2. Cultures importées

Les données d'inventaires concernant les rendements, les itinéraires culturaux et les prix des cultures étrangères sont issus de la bibliographie scientifique pour le soja brésilien (Prudêncio da Silva *et al.*, 2010), le blé anglais (Röder *et al.*, 2014), les sorgho et maïs USA (USDA, 2014), le palmier à huile malésien (Nemecek et Kägi, 2007 ; Malaysian palm oil board,

2014), la canne à sucre du Pakistan (FAOstat, 2013) et le tournesol ukrainien (statistiques nationales complétées d'une enquête Terres Inovia). Les inventaires des ressources ont été réalisés selon Prudêncio da Silva *et al.* (2010) et Boissy *et al.* (2011). Les émissions ont été calculées avec la méthodologie IPCC (2006) pour les gaz à effet de serre et les résidus de récolte, Nemecek et Kägi (2007) pour le NH₃, les NOx, les éléments trace métalliques et les phosphates, et Basset-Mens et van der Werf (2007) pour les nitrates.

1.2.3 Produits transformés

Les données de transformation des produits agricoles (processus de trituration, d'extrusion, de décorticage...) proviennent de communications personnelles d'industries de transformation, sauf pour les huiles et les tourteaux d'oléagineux français et les matières premières étrangères (Weidema *et al.*, 2013). Les inventaires des produits industriels sont issus de Garcia-Launay *et al.*, (2014) pour les acides aminés, de données industrielles confidentielles pour les minéraux et de données Ecoinvent (Weidema *et al.*, 2013) adaptées au contexte français pour les vitamines et de l'ADIV pour les coproduits d'origine animale.

1.3. Analyse de l'inventaire

La base de données ECOALIM utilise la méthode de caractérisation ILCD recommandée par le Joint Research Centre (JRC, 2012) ainsi que la CML IA (PréConsultants, 2015) qui est la méthode la plus utilisée à ce jour dans les ACV agricoles. L'utilisation d'énergie a été obtenue par la méthode CED 1.8 (PréConsultants, 2015). Le changement climatique avec (CCLUC) ou sans changement d'utilisation des terres (CC) est exprimé en kg CO₂-eq, l'acidification (AC) en molc H⁺-eq (ACILCD) et kg SO₂-eq (ACCML), l'eutrophisation (EU) terrestre en molc N-eq, l'EU eau douce en kg P-eq, l'EU marine en kg N-eq, l'EUCML (agrégation des 3 types) en kg PO₄³⁻-eq, l'occupation des terres (OT) en m².an, et l'utilisation d'énergie non-renouvelable (CEDNR) et totale (CEDTOT) en MJ. La demande en phosphore (DP) est exprimée en kg P et somme l'ensemble des entrants phosphorés pendant le cycle de vie.

Le logiciel Simapro® version 8.0.5.13 (Pré Consultants) a été utilisé pour les calculs d'impacts et la base de données attributionnelle ecoinvent v3.1, pour les données d'arrière-plan (électricité, transport... ; Weidema *et al.*, 2013).

2. DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNEES

Le tableau 1 décrit le nombre de données disponibles dans la base de données pour chaque type de MP. La base de données contient 150 MP moyennes dont 27 MP pour des itinéraires culturels spécifiques. La base offre un large spectre de MP pour une utilisation pour divers systèmes de production animale (ruminants, porc, volailles) et périmètres ACV permettant une

formulation allant de la fabrication à la ferme à la formulation par des coopératives ou des firmes de nutrition animale.

Le tableau 2 est un extrait de la base de données pour les principales céréales et cultures oléo-protéagineuses françaises. Il permet de mettre en exergue l'homogénéité relative des impacts parmi les céréales et la plus grande variabilité pour les oléo-protéagineux (par exemple 0,44 ±0,06 et 0,52±0,35 kgeq CO₂ respectivement pour CC).

3. UTILISATION DE LA BASE

La base de données ECOALIM peut être utilisée pour évaluer les impacts environnementaux des aliments, des productions animales et des stratégies d'atténuation. La base est disponible sous format Excel (<http://www6.inra.fr/ecoalim>) mais aussi dans AGRIBALYSE® v1.3. (logiciel Simapro®). Les formulateurs et les praticiens ACV peuvent formuler des aliments selon les principes de la formulation à moindre coûts et calculer ensuite les impacts environnementaux des formules obtenues grâce à la base de données sous format Excel. Afin d'explorer des méthodes d'atténuation, il est aussi possible de formuler des éco-aliments en associant simultanément des critères économiques et environnementaux en intégrant les données ECOALIM dans les logiciels de formulation. Les données ECOALIM dans la base de données AGRIBALYSE® peuvent être mobilisées par les praticiens ACV dans des inventaires à l'échelle de la ferme pour l'évaluation environnementale des produits animaux en sortie de ferme en utilisant à la fois les formules classiques ou les éco-aliments. Pour ces applications, la base de données ECOALIM propose des données harmonisées, à jour et vérifiées. Elle couvre un large éventail de MP qui n'étaient pas disponibles dans AGRIBALYSE®. ECOALIM est à notre connaissance, la première et la seule base de données d'inventaires et d'impacts qui fournit l'ensemble des MP utilisées en production animale française tout en incluant des inventaires de productions agricoles spécifiques (introduction d'intercultures et de légumineuses dans la rotation, ou fertilisation organique). L'incorporation des données ECOALIM dans la base de données AGRIBALYSE® permettra des mises à jour des inventaires ainsi que l'ajout de nouvelles MP telles que les farines et les huiles de poissons ou les MP plus minoritaires telles que les MP riches en protéines produites en France (sorgho, lin, féverole, avoine, soja français). De plus, cette incorporation permettra une meilleure diffusion dans les logiciels ACV (Simapro®, OpenLCA). Les données ECOALIM seront prochainement incorporées dans les tables de composition INRA-AFZ et dans la base de données européenne pour l'alimentation animale GFLI.

CONCLUSIONS

La base de données ECOALIM fournit les impacts environnementaux des MP avec une méthodologie harmonisée, homogène et représentative de la France. Cette approche permet d'éviter les doubles comptages des impacts environnementaux. L'ensemble de l'approche a été développée en cohérence avec la base de données AGRIBALYSE® permettant ainsi d'utiliser les données dans un objectif de labélisation environnemental des produits animaux. Ces données sont également proposées à l'initiative européenne "Product Environmental Footprint".

Construite en partenariat avec des instituts de R&D, des fabricants d'aliments et de MP, cette base de données contient les MP nécessaires pour formuler des aliments composés et des MP françaises. La base de données ECOALIM permettra de proposer des formules incorporant des contraintes nutritionnelles, économiques et environnementales. Cette nouvelle approche dans la conception des aliments fait l'objet de recherches complémentaires pour en évaluer le potentiel en tant qu'option d'atténuation des impacts environnementaux des produits animaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGRESTE, 2005-2012. Statistique Agricole Annuelle. <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/statistique-agricole-annuelle-saa/>
- AGRESTE, 2006. Enquête sur les pratiques culturales. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/publications/chiffres-et-donnees/article/enquete-sur-les-pratiques>
- Basset-Mens C., van der Werf H.M.G., 2005. Agr. Ecosyst. Environ, (105), 127-144.
- Boissy J., Aubin J., Drissi A., der Werf H.M.G., Bell G.J., Kaushik S.J., 2011. Aquaculture, (321), 61-70.
- EMEP/EEA, 2013. Air pollutant emission inventory guidebook - Technical Report N°12. E.E.A. (Eds.). EEA, Copenhagen, Denmark.
- FAO, 2013. FAOSTat Production statistics.
- Garcia-Launay F., van der Werf H.M.G., Nguyen T.T.H., Le Tutour L., Dourmad J.Y., 2014. Livest. Sci. (161), 158-175.
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A., Tempio G., 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. pp139.
- IPCC, 2006. Emissions from livestock and manure management. IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 4(10), pp87.
- JRC, 2012. Characterisation factors of the ILCD recommended life cycle impact assessment methods. database and supporting information. European Commission, J.R.C., Institute for Environment and Sustainability (Eds.), pp31.
- Koch P., Salou T., 2015. AGRIBALYSE(R) : Methodological report - Version 1.2. ADEME. (Ed.), Angers. France, pp385.
- Malaysian palm oil board, 2014. <http://jopr.mpob.gov.my/>
- Nemecek T., Kägi T., 2007. Life cycle inventories of Swiss and European agricultural production systems. Final report Ecoinvent report v2.0, n° 15. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research station ART. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Zurich and Dübendorf, Switzerland, pp308.
- Nguyen T.T.H., Bouvarel I., Ponchant P., van der Werf H.M.G., 2012. J. Cleaner Prod. (28), 215-224.
- PréConsultants, P., 2015. SimaPro Database Manual.
- Prudêncio da Silva, V., van der Werf H.M.G., Spies A., Soares S.R., 2010. J. Environ. Manag. (91), 1831-1839.
- Prudêncio da Silva V., van der Werf H.M.G., Soares S.R., Corson M.S., 2014. J. Environ. Manag. (133), 222-231.
- Röder M., Thornley P., Campbell G., Bows-Larkin A., 2014. Environ. Scie. Policy. (39), 13-24.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C.d., de Haan C., 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Livestock's long shadow: environmental issues and options, pp390.
- UNIP, 2005-2009. Statistiques France protéagineux. <http://www.unip.fr/marches-et-reglementations/statistiques-france/surfaces-rendements-et-productions.html>
- USDA, 2014. Quick Stats Available from: <http://quickstats.nass.usda.gov/results/3C1C82DB-0009-3F07-91DE-1D1907917ABD>.
- Weidema BP, Bauer C, Hirschier R, Mutel C, Nemecek T, Reinhard J., 2013. The ecoinvent database: Overview and methodology, Data quality guideline for the ecoinvent database version 3, www.ecoinvent.org.

Tableau 1. Nombre de données disponibles dans la base de données selon le type de matière première et le périmètre de sortie.

Types de matière première	Au champ	Au port (français)	Au moulin ou aux portes de l'usine de transformation	Aux portes de l'organisme stockeur
Céréales	8	2	0	17
Coproduits issus des IAA ^a	0	0	2	0
Coproduits du maïs	0	1	5	0
Coproduits du blé	0	0	5	0
Corps gras	0	6	22	0
Acides aminés industriels	0	0	5	0
Minéraux	0	0	10	0
Graines oléo-protéagineuses	6	0	4	13
Tourteaux	0	7	22	0
Autres coproduits animaux	0	0	2	0
Autres coproduits végétaux	1	1	4	0
Ensilage	6	0	0	0
Vitamines	0	0	1	0

^aIAA: industries agro-alimentaires

Tableau 2. Valeurs d'impact des principales matières premières françaises, aux portes de l'organisme stockeur, exprimées pour 1 kg de matière première (CC : changement climatique, CENR, consommation d'énergie non renouvelable, EU : eutrophisation, AC : acidification, OT : occupation des terres, DP : demande en phosphore) :

Matières premières	CC, kg CO ₂ eq ILCD	CENR, MJ	EU, g PO ₄ ³⁻ eq CML	AC, g molc H ⁺ eq ILCD	OT, m ² .an CML	DP, g P
Avoine	0,52	3,07	5,1	12,6	2,09	3,6
Blé	0,43	2,85	3,7	10,7	1,34	4,1
Orge	0,39	2,71	3,7	9,5	1,48	4,1
Maïs grain	0,46	4,47	3,6	13,4	1,23	3,5
Sorgho	0,36	2,53	3,6	4,8	2,12	5,2
Triticale	0,50	2,95	5,3	8,7	1,84	2,6
Pois	0,19	2,21	3,7	2,5	2,32	2,9
Féverole	0,19	1,70	3,2	2,0	1,99	5,2
Colza	0,94	5,49	7,6	21,0	3,12	7,3
Lin	0,93	6,27	10,4	19,1	5,53	11,0
Soja (graine)	0,30	5,08	6,0	3,4	3,81	4,6
Tournesol	0,56	4,21	8,8	10,8	4,76	6,6

LA FORMULATION MULTIOBJECTIF : UNE METHODE ORIGINALE ET EFFICACE POUR FORMULER DES ALIMENTS ECOLOGIQUES ET ECONOMIQUES

Dusart Léonie¹, Garcia-Launay Florence², Wilfart Aurélie³, Méda Bertrand⁴, Bouvarel Isabelle¹, Espagnol Sandrine⁵

¹ITAVI - Centre INRA Val de Loire, 37380 NOUZILLY

²UMR PEGASE, INRA, Agrocampus Ouest - Domaine de la Prise, 35590 SAINT-GILLES

³UMR SAS, INRA, Agrocampus Ouest - 65 rue de Saint Brieuc, 35000 RENNES

⁴URA, INRA - Centre INRA Val de Loire, 37380 NOUZILLY

⁵IFIP - La Motte Vicomte, 35650 LE RHEU

dusart@itavi.asso.fr

RÉSUMÉ

Dans un contexte de discussions sur les impacts environnementaux des élevages, la méthode de formulation à moindre coût s'avère inadaptée pour intégrer efficacement des attentes environnementales. Cette étude visait à développer une méthode de formulation multiobjectif pour les différentes espèces (volailles, porcs et bovins). La formulation multiobjectif combine des critères environnementaux (indicateurs ACV) et un critère économique (prix), permettant ainsi l'identification d'éco-aliments. Un coefficient pondérateur permet de donner plus ou moins de poids aux critères économique et environnementaux. La recherche du coefficient optimal au-delà duquel l'augmentation marginale du prix est supérieure à la réduction marginale des impacts environnementaux permet d'identifier le meilleur compromis. Par exemple, dans le cas d'un scénario de disponibilité non limitante des matières premières, une réduction significative moyenne de 9 %, 23 %, 19 % et 16 % peut être attendue respectivement pour les impacts "consommation de phosphore", "utilisation d'énergie primaire non-renouvelable", "changement climatique" et "acidification" à l'échelle de l'aliment poulet de chair. L'impact "occupation des terres" reste inchangé tandis que l'impact "eutrophisation" tend à diminuer, et cela pour une faible augmentation du prix (+2 %). Les éco-aliments formulés sont notamment caractérisés par une teneur plus importante en coproduits. La formulation multiobjectif permet ainsi d'envisager une réduction efficace des impacts environnementaux potentiels des aliments poulet de chair tout en évitant les transferts de pollutions.

ABSTRACT

Multiobjective feed formulation: a novel and efficient method to formulate environmentally-friendly and economical feed

Least cost feed formulation is not designed to identify feed compositions that meet today's environmental expectations. This study aimed at developing a new feed formulation methodology using multiobjective optimization. It involves the use of an economic indicator (feed price) and environmental indicators (LCA impacts) simultaneously in a single objective function to minimize. A weighting coefficient allows more or less influence of economic or environmental indicators. The best trade-off is obtained for an optimal weighting coefficient set to be the coefficient beyond which the marginal increase of price exceeds the marginal decrease of environmental indicators. Using this method in a scenario where feed ingredients availability is not restrictive, a significant decrease by 9 %, 23 %, 19 % and 16 % of environmental impacts of broiler feed for "phosphorus consumption", "use of non-renewable energy", "climate change" and "acidification" respectively, can be expected. "Land occupation" is unchanged while "eutrophication" tends to decrease. This is obtained with a little feed price increase (2 %). Eco-feeds are characterized by an increase in by-products' content. Thus, multiobjective formulation is efficient to possibly reduce potential environmental impacts of animal feed without pollutions transfer.

INTRODUCTION

En productions d'animaux monogastriques, l'alimentation constitue le premier levier de réduction des impacts environnementaux liés aux activités d'élevage. En effet, ces impacts sont en majorité expliqués par l'alimentation des animaux d'élevage (en poulet de chair, l'alimentation contribue pour plus de 72 % au changement climatique par exemple (Prudêncio da Silva *et al.*, 2014)). Cela résulte principalement des impacts de la production et du transport des matières premières (MP). En conséquence, deux solutions de réduction des impacts environnementaux de l'élevage se présentent :

- 1) Améliorer l'efficacité de conversion de l'aliment par les animaux pour réduire simultanément l'ensemble des impacts environnementaux ainsi que le coût de production à l'échelle du produit. Néanmoins, les progrès de la génétique offrent aujourd'hui une marge de manœuvre restreinte ;
- 2) Modifier la composition des aliments en privilégiant les MP présentant des impacts environnementaux plus faibles, le risque étant alors d'observer des transferts de pollution entre impacts environnementaux et/ou d'augmenter le prix de l'aliment.

L'étude présentée ci-après avait pour objectif de développer une méthode de formulation multiobjectif (**MinMO**) prenant simultanément en compte le prix de l'aliment ainsi que ses impacts environnementaux calculés par analyse de cycle de vie (ACV). La méthode développée permet d'explorer les différents compromis possibles et de formuler des « éco-aliments » optimaux dont les impacts environnementaux sont réduits conjointement et pour un surcoût limité.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Caractérisation des matières premières

Les MP sont caractérisées par leur composition nutritionnelle, leur prix et leurs impacts environnementaux potentiels.

Les compositions nutritionnelles sont issues des tables INRA-AFZ (Sauvant *et al.*, 2004) et de FeedBase.com et complétées par les instituts techniques partenaires dans le cas des coproduits de céréales. Les prix ont été collectés dans La Dépêche Commerciale et auprès des partenaires du projet pour des contextes économiques diversifiés. Enfin, les impacts environnementaux proviennent du jeu de données ECOALIM de la base AGRIBALYSE[®] v1.3. (Wilfart *et al.*, 2017). Il s'agit d'impacts calculés par ACV avec une méthode homogène pour la consommation de phosphore non renouvelable (**P**, en kg P / kg MP), l'utilisation d'énergie non-renouvelable (**EN**, en MJ / kg MP), le changement climatique (**CC**, en kg de CO₂eq / kg MP), l'acidification (**AC**, en mol H⁺eq / kg MP) et l'eutrophisation (**EU**, en kg PO₄³⁻eq / kg MP) des écosystèmes ainsi que l'occupation des terres (**OT**, en

m².an / kg MP). Les impacts du transport des MP depuis leur lieu de stockage/transformation jusqu'à une usine de fabrication d'aliments fictive située dans le Grand Ouest ont été ajoutés (données Ecoinvent v3.1, Wernet *et al.*, 2016).

1.2. La formulation : description du problème

Une formule correspond à un mélange de MP en différentes proportions de façon à satisfaire les besoins nutritionnels de l'animal pour un objectif de production donné. Formuler consiste donc à déterminer les MP à utiliser et leurs proportions dans le mélange. Cela revient à résoudre un problème linéaire qui admet généralement une infinité de solutions.

Traduit en termes mathématiques, le problème s'écrit ainsi :

Soient $i \in \{1, \dots, n\}$ l'index de la $i^{\text{ème}}$ MP parmi n MP disponibles et $x_i \in [0; 1]$ la quantité, exprimée en pourcentage, de la MP i dans la formule. Alors,

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$

Si on considère c_i le prix de la MP i , le prix de la formule est obtenu comme suit :

$$\text{Prix} = \sum_{i=1}^n x_i c_i$$

De plus, les besoins nutritionnels se traduisent en contraintes de formulation, c'est-à-dire des teneurs minimum $B_j^{\min}$ et maximum $B_j^{\max}$ pour chaque nutriment. En notant $j \in \{1, \dots, p\}$ l'index du $j^{\text{ème}}$ nutriment et $a_{j,i}$ la teneur du nutriment j dans la MP i , la formule doit alors vérifier :

$$B_j^{\min} \leq \sum_{i=1}^n x_i a_{j,i} \leq B_j^{\max}$$

Par ailleurs, des contraintes d'incorporation existent également sur les MP pour des raisons techniques, technologiques ou pour répondre aux cahiers des charges. De la même façon que précédemment, il faut vérifier :

$$X_i^{\min} \leq x_i \leq X_i^{\max}$$

avec $X_i^{\min}$ et $X_i^{\max}$ les incorporations minimale et maximale de la MP i . Les contraintes pour les nutriments et pour les MP ont été définies après consultation de professionnels de l'alimentation animale.

En pratique, la solution retenue est celle qui minimise le prix de la formule. Le prix sert alors de fonction objectif (**FO**) dont est cherché ici le minimum.

Face aux attentes sociétales de plus en plus pressantes, notamment vis-à-vis des impacts environnementaux liés aux activités d'élevage, la formulation à moindre coût (**MinPrix**) s'avère inefficace pour réduire les impacts environnementaux attribués à l'alimentation animale. La méthode proposée ici devait répondre aux conditions suivantes :

- Une méthode simple d'appropriation, proche de la formulation classique à moindre coût ;
- Une méthode qui évite les transferts de pollutions entre impacts environnementaux ;
- Une méthode qui limite l'augmentation du prix de la formule.

Pour cela, 2 modifications ont été apportées :

1) La FO est définie comme une combinaison linéaire du prix et de 4 impacts environnementaux pour lesquels les résultats à l'échelle du produit reposent largement sur la contribution de l'alimentation, soient P, EN, CC et OT.

2) Des contraintes maximales ont été fixées par sécurité de façon à limiter l'augmentation des impacts environnementaux à + 5 % (par rapport aux impacts d'une formule MinPrix) pour les 7 impacts considérés à savoir P, EN, CC, AC, EU et OT.

La FO est ainsi composée d'un index économique noté *index éco* pondéré par un coefficient $1-\alpha$ et d'un index environnemental noté *index env* pondéré par un coefficient α ($\alpha \in [0;1]$) :

$$\text{index éco} = \frac{\text{Prix}}{\text{Prix}_{ref}}$$

$$\text{index env} = \left(\frac{2}{5} \times \frac{CC}{CC_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{OT}{OT_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{P}{P_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{EN}{EN_{ref}} \right)$$

Chaque critère est exprimé de façon relative par rapport à sa valeur de référence obtenue pour l'aliment MinPrix dans le même contexte (prix des MP et localisation de l'usine). Cela permet de sommer des données de même unité et de même ordre de grandeur, évitant notamment de déséquilibrer l'optimisation en faveur des critères exprimés avec des valeurs élevées à la tonne d'aliment.

Finalement le problème de formulation MinMO s'écrit ainsi :

$$\begin{cases} \min[(1-\alpha) \times \text{index éco} + \alpha \times \text{index env}] \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1 \\ B_i^{\min} \leq \sum_{i=1}^n x_i a_{ji} \leq B_i^{\max} \\ X_i^{\min} \leq x_i \leq X_i^{\max} \\ \sum_{i=1}^n x_i P_i \leq P_{ref}(1+5\%) \\ \sum_{i=1}^n x_i EN_i \leq EN_{ref}(1+5\%) \\ \sum_{i=1}^n x_i CC_i \leq CC_{ref}(1+5\%) \\ \sum_{i=1}^n x_i AC_i \leq AC_{ref}(1+5\%) \\ \sum_{i=1}^n x_i EU_i \leq EU_{ref}(1+5\%) \\ \sum_{i=1}^n x_i OT_i \leq OT_{ref}(1+5\%) \end{cases}$$

La résolution d'un tel problème linéaire, c'est-à-dire l'identification des x_i pour $i \in \{1, \dots, n\}$, a été réalisée à l'aide de l'OpenSolver pour Excel®.

1.3. Identifier l'éco-aliment optimal

Lorsque $\alpha=0$, la FO se résume à l'*index éco*. Cela revient à formuler à moindre coût. Lorsque $\alpha=1$, la FO est égale à l'*index env*. Pour α entre 0 et 1, il est possible d'explorer un grand nombre de compromis donnant plus ou moins d'importance à chacun des index.

L'éco-aliment optimal a été défini comme l'aliment obtenu pour $\alpha=\alpha_{opt}$ au-delà duquel l'augmentation marginale de l'*index éco* est supérieure à la réduction marginale de l'*index env*. Une macro Excel® permet d'identifier de façon automatisée le α_{opt} à 0,01 près.

1.4. Utilisation de la méthode MinMO dans différents scénarios

La méthode MinMO a été utilisée pour formuler successivement les aliments démarrage (**D**), croissance (**C**) et finition (**F**) pour le poulet de chair. Un aliment moyen a ensuite été calculé comme la somme pondérée des 3 aliments de façon à tenir compte de leur consommation au cours de la vie du poulet : 6 % C + 20 % C + 74 % F.

Dans le but de valider l'efficacité et l'intérêt de la méthode MinMO dans différents contextes, les formules ont été optimisées pour 4 contextes économiques contrastés (septembre 2011, juin 2012, août 2013 et février 2014).

Enfin, deux scénarios d'approvisionnement en MP ont été envisagés. Un scénario dit limitant (**LIM**) utilisant une liste de MP restreinte aux MP couramment utilisées en alimentation des poulets de chair et un scénario prospectif dit non limitant (**NLIM**) élargissant le panier de MP à des MP actuellement peu disponibles (sorgho, pois et féverole) de sorte d'évaluer l'intérêt de l'utilisation de ces MP dans la formulation d'éco-aliments.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Utilisation de la méthode MinMO, effets sur la composition de l'aliment

Quel que soit le contexte économique ou le scénario de disponibilité des MP, l'utilisation de la méthode MinMO se traduit par une augmentation de la part des coproduits (coproduits de céréales, tourteaux de colza et de tournesol) dans les formules (+9 % en moyenne pour $\alpha=\alpha_{opt}$). Par ailleurs, les formules obtenues par formulation MinMO avec $\alpha=\alpha_{opt}$ contiennent moins de céréales (-8 % en moyenne). Celles-ci étant remplacées par des oléo-protéagineux (+6 % en moyenne) et de l'huile de colza (+2 % en moyenne) (Figure 1).

Si la méthode MinMO semble conduire à une diversification des formules (augmentation du nombre d'espèces végétales utilisées), l'effet des scénarios LIM vs NLIM reste le facteur principal.

Dans le cadre du scénario LIM, le maïs est substitué par du blé tandis que le tourteau de soja est remplacé par des tourteaux de colza et de tournesol ainsi que des graines de colza. De la même façon, l'huile de soja laisse place à l'huile de colza.

Dans le cadre du scénario NLIM, le sorgho remplace en grande partie le maïs dans les formules MinPrix. Il est à son tour remplacé par du blé dans les formules MinMO. L'incorporation de pois ou de fêverole selon les contextes économiques, participe à réduire l'utilisation de tourteau de soja.

2.2 Utilisation de la méthode MinMO, effets sur le prix et les impacts environnementaux de l'aliment

Dans le cas du contexte LIM, la formulation MinMO avec $\alpha = \alpha_{opt}$ permet d'améliorer de façon significative les impacts potentiels P, EN et CC en moyenne de respectivement -12 %, -18 % et -12 %. De plus, AC et EU tendent à être réduits également sans augmentation significative d'OT. Les impacts environnementaux de l'éco-aliment ainsi obtenu sont donc bien améliorés par rapport à l'aliment de référence pour un surcoût de 3,4 % en moyenne (moins de 10 €/t) (Figure 2).

L'élargissement du panier de MP (contexte NLIM) permet une amélioration « spontanée » (en formulation MinPrix) du prix de l'aliment et de certains impacts environnementaux comme EN, CC et AC par rapport à l'aliment MinPrix_LIM. L'utilisation de la méthode MinMO avec $\alpha = \alpha_{opt}$ dans ce contexte NLIM conduit alors à une amélioration supplémentaire de l'index environnemental. Pour une moindre augmentation du prix (+2,3 % en moyenne, soit moins de 7 €/t), des améliorations moyennes respectives de -9 %, -23 %, -19 % et -16 % pour P, EN, CC et AC peuvent être attendues (Figure 2).

2.3. Discussion

Avant tout, les résultats obtenus démontrent l'efficacité de la méthode MinMO pour répondre aux objectifs visés, à savoir réduire les impacts environnementaux de l'alimentation en évitant les transferts de pollutions entre impacts et en limitant le surcoût (du même ordre de grandeur que les variations mensuelles du prix), et ce dans différents contextes économiques et pour différents scénarios de disponibilité des MP.

Néanmoins, il est évident que les résultats, en termes de composition des formules comme en termes d'amélioration des impacts, dépendent des hypothèses utilisées. Ainsi, l'intérêt d'incorporer des coproduits

dans les éco-aliments est inhérent au choix de la méthodologie d'allocation économique dans l'estimation des impacts environnementaux des MP (Wilfart *et al.*, 2017). De même, l'hypothèse d'utiliser les mêmes prix pour les scénarios LIM et NLIM conditionne les résultats obtenus pour le scénario prospectif NLIM. L'augmentation de la demande pour des MP présentant de faibles impacts étant susceptible d'entraîner des modifications de prix et par conséquent la composition des formules, leur prix et leurs impacts environnementaux.

Par ailleurs, la faisabilité et l'appropriation de la méthode MinMO conditionnent son utilisation pour réduire les impacts environnementaux de l'alimentation animale. Si l'importante similarité de la méthode MinMO par rapport à la méthode MinPrix doit faciliter son appropriation, le frein restera l'existence d'un surcoût à répartir entre acteurs des filières ou à répercuter sur le prix de vente du produit. De plus, les travaux menés en porcs (Garcia-Launay *et al.*, 2016) montrent un intérêt pour les mêmes MP et posent les questions de 1) la disponibilité des MP, 2) la concurrence/coopération entre filières animales et 3) la concurrence/coopération entre acteurs à l'échelle du territoire pour l'utilisation des ressources disponibles au plus intéressant pour la communauté.

CONCLUSION

La méthode de formulation multiobjectif, en optimisant la formule alimentaire sur la base de critères économique (prix) et environnementaux (impacts ACV), s'avère être une méthode originale, simple et efficace pour réduire les impacts environnementaux de l'aliment du poulet de chair tout en maîtrisant le surcoût. Compte tenu de la contribution du poste alimentation dans le coût de production du poulet et les impacts environnementaux à l'échelle du produit, la méthode développée ici apparaît comme un outil intéressant pour améliorer la durabilité des filières (Méda *et al.*, 2017).

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'UMT Biologie Intégrative Recherche et Développement (BIRD) et a bénéficié du soutien financier du CAS DAR et de l'ADEME (projet ECOALIM 2013-2016). Les auteurs remercient les professionnels pour leurs conseils lors de la construction des contraintes de formulation et la contribution d'Yves Dronne, consultant auprès de Feedsim Avenir au développement de la fonction multiobjectif.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Garcia-Launay F., Wilfart A., Dusart L., Nzally C., Gaudré D., Dronne Y., S., Espagnol S., 2016. ^{10èmes} LCAFood, 539-546.
 Méda B., Dusart L., Ponchant P., Garcia-Launay F., Espagnol S., Wilfart A., Bouvarel I., 2017. ^{12èmes} JRA-JRFG.

Prudêncio da Silva V.P., van der Werf H.M.G., Soares S.R, Corson M.S., 2014. J. Environ. Manage., (133), 222-231.

Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : 2ème édition (INRA Editions Versailles), pp306.

Wernet G., Bauer C., Steubing B., Reinhard J., Moreno-Ruiz E., Weidema B., 2016. J. Life Cycle Assess., (21), 1218-1230.

Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Garcia-Launay F., Gac A., Dusart L., Espagnol S., 2017. 12èmes JRA-JRFG.

Figure 1. Composition (en %) de l'aliment moyen formulé à moindre coût (MinPrix) ou avec la méthode d'optimisation multiobjectif (MinMO) pour $\alpha=\alpha_{opt}$. Moyenne des résultats obtenus pour les scénarios LIM et NLIM dans les différents contextes économiques

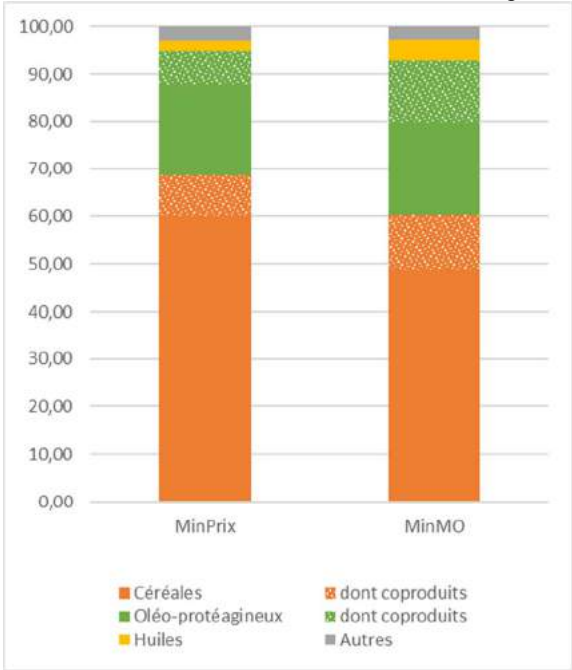
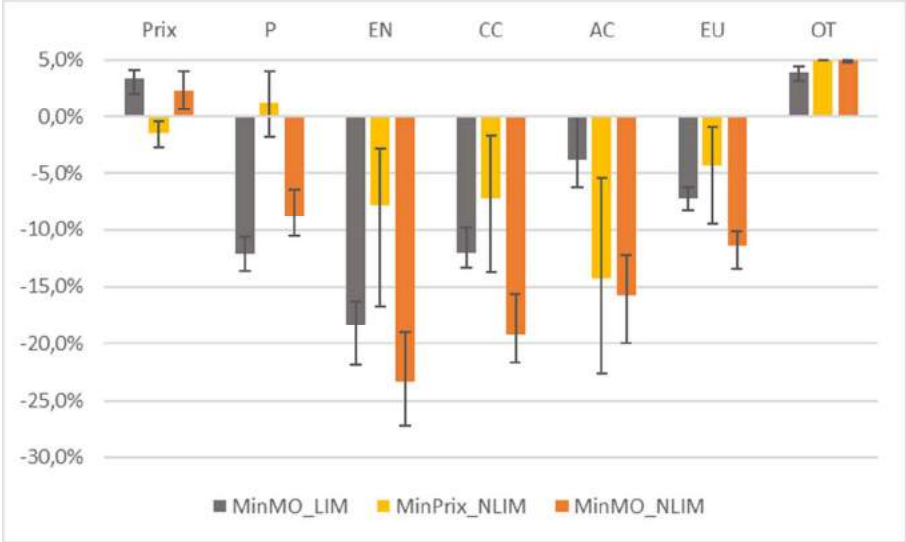


Figure 2. Effets de la formulation multiobjectif (MinMO) (avec $\alpha=\alpha_{opt}$) et/ou du scénario de disponibilité des MP sur le prix et les impacts environnementaux de l'aliment moyen, exprimés en relatif par rapport à un aliment formulé à moindre coût (MinPrix) dans le scénario LIM. Moyenne des résultats obtenus pour les différents contextes économiques. Les barres d'erreur figurent les minimums et maximums observés. P : consommation de phosphore ; EN : utilisation d'énergie non renouvelable ; CC : changement climatique ; AC : acidification ; EU : eutrophisation ; OT : occupation des terres



FORMULATION MULTIOBJECTIF AVEC DES CRITERES ENVIRONNEMENTAUX ET ECONOMIQUES : L'OPTIMUM EST-IL LE MEME AUX ECHELLES DE L'ALIMENT ET DU PRODUIT FINAL ?

Méda Bertrand¹, Dusart Léonie², Ponchant Paul³, Garcia-Launay Florence⁴, Espagnol Sandrine⁵, Wilfart Aurélie⁶, Bouvarel Isabelle²

¹URA, INRA, 37380 NOUZILLY

²ITAVI, 37380 NOUZILLY

³ITAVI, 41 rue de Beaucemaine, 22440 PLOUFRAGAN

⁴PEGASE, Agrocampus Ouest, INRA, 35590 SAINT-GILLES

⁵SIFIP Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35650 LE RHEU

⁶SAS, Agrocampus Ouest, INRA, 35000 RENNES

bertrand.meda@inra.fr

RÉSUMÉ

La formulation multiobjectif (FMO) permet de formuler des aliments en minimisant une fonction objectif incluant le prix de l'aliment et des impacts environnementaux de l'aliment. Ainsi, il devient possible de réduire conjointement plusieurs impacts environnementaux associés à la production d'aliments pour volaille, avec un impact modéré sur le prix de l'aliment. Cependant, pour pouvoir conclure sur les bénéfices finaux de cette approche, les conséquences sur les performances économiques et environnementales du produit final doivent être évaluées. Un total de 120 aliments moyens pour poulet de chair, a ainsi été formulé à l'aide de la FMO. Les conséquences environnementales et économiques de ces aliments ont ensuite été évaluées à l'échelle de la tonne de poulet de chair vif, à l'aide respectivement de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et d'un calculateur du coût de production. Les résultats confirment la contribution majoritaire de la fabrication d'aliment pour la plupart des impacts environnementaux (consommation de phosphore, 97% ; occupation des terres, 87% ; changement climatique, 80% ; consommation d'énergie, 75% ; eutrophisation : 63%) et pour le coût de production du poulet vif (52%). Lorsque les performances des animaux ne sont pas modifiées (*i.e.* pas de modification des caractéristiques nutritionnelles de l'aliment), l'optimum économique et environnemental identifié à l'échelle de l'aliment lors de la FMO est le même à l'échelle du produit final. La réduction des impacts environnementaux à l'échelle du produit est par ailleurs directement proportionnelle à celle permise par la FMO des aliments (le coefficient de proportionnalité étant égal à la contribution de l'aliment à l'impact final). Ainsi, la FMO des aliments est une approche pertinente pour réduire les impacts environnementaux de la production avicole.

ABSTRACT

Multiobjective feed formulation with economic and environmental criteria: Is the optimum the same at feed and product scales?

Multiobjective formulation (MOF) of feed is based on the use of an economic indicator (feed price) and environmental indicators (LCA impacts) simultaneously in a single objective function to minimize. Such a method allows the simultaneous decrease of several environmental impacts associated to the production of poultry feed, with a limited impact on feed cost. In order to conclude on the final benefits of this method, economic and environmental consequences at product scale should be studied. 120 broiler diets were formulated using MOF. Economic and environmental consequences of these diets were then assessed for one ton of live weight at farm gate using a production cost simulator and Life Cycle Analysis, respectively. Results confirm that feed production is the main contributor to several environmental impacts (phosphorus consumption, 97%; land occupation, 87%; climate change, 80%; energy use, 75%; eutrophication, 63%) and production cost of live broiler (52%). When animal performance is not modified by nutritional characteristics of feed, the economic and environmental optimum identified at feed scale during MOF is the same at product scale. Moreover, the decrease of environmental impacts at product scale is directly proportional to the decrease at feed scale using MOF (the proportionality coefficient being the contribution of feed to the total impact). MOF of feed is thus a relevant method to reduce environmental impact of poultry production.

INTRODUCTION

En production de volailles, l'alimentation animale représente une part importante des impacts environnementaux comme par exemple, la consommation d'énergie non-renouvelable, l'eutrophisation, ou la contribution au changement climatique (Pelletier, 2008 ; Leinonen *et al.*, 2012 ; Prudêncio da Silva *et al.*, 2014). En effet, la phase de production des matières premières (MP) utilisées pour composer les aliments est associée à des émissions de polluants (gaz à effet de serre, ammoniac...) et des consommations de ressources (énergie, eau...) (Wilfart *et al.*, 2017).

Afin de réduire les impacts environnementaux des aliments du bétail, Dusart *et al.* (2017) ont proposé une nouvelle approche de la formulation des aliments, basée sur l'optimisation simultanée de critères économiques (prix) et environnementaux (impacts environnementaux). La formulation multiobjectif (FMO) permet également de pondérer l'importance relative accordée au prix de l'aliment ou à ses impacts environnementaux en faisant varier un coefficient α entre 0 et 1 ($\alpha=1$ traduisant un objectif uniquement environnemental). Ainsi, Dusart *et al.* (2017) ont montré qu'une réduction importante des impacts environnementaux des aliments est possible chez le poulet de chair (par ex. une baisse de 19% de l'impact « Changement climatique » pour une hausse du prix de 2%). Toutefois, il convient également d'étudier les conséquences environnementales et économiques de la FMO à l'échelle du produit final (*i.e.* animal en sortie d'élevage) pour juger du véritable potentiel de réduction des impacts environnementaux.

Cette étude présente donc une évaluation environnementale et économique pour une tonne de poulet vif en sortie d'élevage et pour différents « éco-aliments » formulés à l'aide de la méthode décrite par Dusart *et al.* (2017). Les objectifs étaient 1) de comparer l'optimum économique et environnemental identifié à l'échelle de l'aliment ou à l'échelle du produit final, et 2) de quantifier le potentiel de réduction des impacts environnementaux du produit final grâce à la FMO.

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. Caractéristiques du système de production

Cette étude considère un système de production de poulets de chair Ross PM3 abattus à 36 j pour un poids vif de 1,83 kg. Les principales hypothèses et données utilisées pour décrire la phase d'élevage sont issues du cas-type « poulet Standard Pays-de-la-Loire » décrit par Protino *et al.* (2015) et Dusart *et al.* (2015) et sont présentées dans le Tableau 1.

1.2. Scénarii étudiés

A l'aide de la FMO proposée par Dusart *et al.* (2017 ; Figure 1), de la base ECOALIM (Wilfart *et al.*, 2017) et du prix des MP (données issues de la Dépêche et de la veille des instituts ITAVI-IFIP-Arvalis), 96

gammes alimentaires (démarrage, croissance et finition) ont d'abord été formulées et variaient selon différents facteurs :

- le prix des MP avec 4 contextes de prix (2011, 2012, 2013, 2014) ;
- la disponibilité des MP avec une liste classique de MP disponibles (LIM) ou élargie (NLIM ; pois, féverole et sorgho disponibles) ;
- les poids respectifs donnés au prix ($1-\alpha$) et aux impacts environnementaux (α) avec α variant de 0 à 1 par pas de 0,1 ainsi que pour un α optimal au-delà duquel l'augmentation marginale du prix est supérieure à la réduction marginale des impacts.

Pour chacune de ces 96 gammes, les impacts environnementaux et le prix d'un aliment moyen composé de 6% d'aliment démarrage, 20% d'aliment croissance et de 74% d'aliment finition ont été calculés et exprimés par tonne d'aliment. Les impacts environnementaux potentiels considérés étaient le changement climatique (kg CO₂-eq), la consommation d'énergie non-renouvelable (MJ), l'eutrophisation (kg PO₄³⁻-eq), l'acidification (kg molc H⁺-eq), l'occupation des terres (m².an) et la consommation de phosphore, (kg P) issu de l'extraction de phosphates. 24 aliments moyens supplémentaires ont ensuite été produits en considérant, pour chaque contexte de disponibilité (LIM et NLIM) et chaque valeur de α , la moyenne des aliments moyens 2011, 2012, 2013 et 2014.

Au final, dans la suite de l'étude, 120 aliments moyens ont ainsi été étudiés (12 $\alpha \times 5$ contextes économiques $\times 2$ contextes de disponibilité) et possédaient des caractéristiques nutritionnelles quasi-équivalentes (énergie métabolisable : 2980 $\pm$ 0 kcal/kg ; protéines totales : 181 $\pm$ 0,1 g/kg ; lysine digestible : 9,7 $\pm$ 0,0 g/kg). En conséquence, et en s'affranchissant d'un éventuel effet du profil en MP, les performances et les rejets des animaux ont par la suite été considérés identiques dans tous les scénarii.

1.3. Impacts environnementaux liés à la production d'une tonne de poulet vif

Pour chaque scénario (cf. 1.2.), les impacts environnementaux à l'échelle de la tonne de poulet vif en sortie d'élevage ont été évalués à l'aide d'Analyses du Cycle de Vie. La Figure 2 présente les étapes de production prises en compte dans cette approche. Les impacts hors production des aliments ont été calculés en utilisant les hypothèses et données du Tableau 1 ainsi que différentes bases de données ou modèles, puis ajoutés aux impacts des aliments :

- Ecoinvent 3 (Wernet *et al.*, 2016) pour les impacts liés au transport en camion, à la production et/ou l'utilisation d'eau, d'énergie et de litière (paille) ;
- Agribalyse (Koch et Salou, 2014) pour les impacts liés à la production des poussins et des matériaux de construction des bâtiments d'élevage ;
- EMEP-EEA (2013) pour l'estimation des émissions de NH₃, N₂O et CH₄ des effluents.

1.4. Coût de production associé à la production d'une tonne de poulet vif

Pour chaque aliment moyen, les coûts de production associés à la production d'une tonne de poulet vif en sortie d'élevage ont été estimés à l'aide d'un calculateur (Dusart *et al.*, 2016) en utilisant les données et hypothèses présentées dans le Tableau 1 ainsi que le prix des aliments obtenus après formulation. Les autres coûts ont ici été supposés constants, quel que soit le contexte économique.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Au sein de chaque contexte de prix (5 au total), pour l'ensemble des aliments moyens (24 par contexte), les variations d'impacts et de prix à l'échelle de la tonne d'aliment et de poulet vif ont été exprimés par rapport à un scénario de référence, correspondant au scénario le plus « réaliste » (formulation à moindre coût économique $\alpha=0$ + liste limitée de MP disponibles). Ainsi, une valeur positive traduit une hausse d'un impact environnemental ou du prix, tandis qu'une valeur négative traduit une baisse.

2.1. Optimum économique et environnemental à l'échelle de l'aliment et du produit final

La réduction des impacts environnementaux à l'échelle de l'aliment et du produit final, ainsi que l'augmentation de prix de l'aliment ou du coût de production sont présentées dans la Figure 3. Comme attendu la réduction des impacts à l'échelle de l'aliment permet de réduire les impacts à l'échelle du produit. Lorsque les performances des animaux ne sont pas modifiées, le compromis optimal entre économie et environnement représenté par le α optimal identifié lors de la FMO demeure le même à l'échelle du produit, mais les réductions ou augmentations de prix ou d'impacts sont « atténuées » car le poste « Alimentation » n'est pas l'unique contributeur aux impacts à l'échelle du produit ou au coût de production (autres postes : effluent, production des poussins, construction et fonctionnement du bâtiment...). En outre, conformément aux résultats de Dusart *et al.* (2017), le potentiel de réduction des impacts est plus important avec une disponibilité non limitée des MP (NLIM ; Figure 3).

2.2. Relations entre les variations des indicateurs à l'échelle de l'aliment et du produit final

Les relations entre les variations des indicateurs environnementaux et économiques à l'échelle de l'aliment moyen, et celle à l'échelle de la tonne de poulet vif en sortie d'élevage sont toutes linéaires (Tableau 2). La linéarité des relations s'explique par l'absence de variations de performances zootechniques ou de rejets des animaux, en lien avec des caractéristiques nutritionnelles des aliments

identiques dans tous les scénarii. Cependant, les valeurs des pentes ne sont pas identiques pour l'ensemble des indicateurs considérés. Elles correspondent à la contribution moyenne de l'aliment pour chaque indicateur considéré. On notera par ailleurs, que pour l'impact « Acidification », la contribution de l'aliment est plus faible que pour les autres indicateurs car les émissions d'ammoniac des effluents contribuent également de façon importante à l'impact final (40% environ).

2.3. La formulation multiobjectif, un outil efficace pour réduire les impacts environnementaux de la production avicole

Dans le cas d'une utilisation pratique de la FMO, et lorsque les caractéristiques nutritionnelles ne sont pas modifiées (*i.e.* sans conséquences pour les performances des animaux), le potentiel de réduction des impacts environnementaux à l'échelle du produit final est alors facilement accessible au formulateur. De façon réciproque, il devient alors possible de connaître l'objectif de réduction nécessaire à l'échelle de l'aliment pour satisfaire un objectif fixé à l'échelle du produit (par ex. cahier des charges de production). Ainsi, pour obtenir à l'échelle du produit une réduction de 20% de l'impact « Changement climatique », il faudra formuler un « éco-aliment » avec un impact réduit de 25% environ (*i.e.* 20%/0,81).

CONCLUSION

Lorsque les performances des animaux ne sont pas modifiées, l'optimum économique et environnemental à l'échelle de l'aliment formulé par formulation multiobjectif reste le même à l'échelle du produit final (tonne de vif en sortie d'élevage). En d'autres termes, cette approche permet une réduction directe et proportionnelle des impacts environnementaux du produit final, en réduisant ceux liés à la production des aliments. Cette méthode sera d'autant plus efficace pour réduire les impacts du produit que la contribution de l'aliment aux impacts est élevée. Toutefois, la réduction des impacts s'accompagne généralement d'une hausse du coût de l'aliment, et donc du coût de production. Le surcoût économique consenti par les opérateurs, sera donc crucial pour une réduction efficace des impacts environnementaux de la production avicole. En outre, il conviendra de s'assurer expérimentalement que les performances zootechniques ne sont pas dégradées lorsque les animaux sont nourris avec des éco-aliments.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'UMT Biologie Intégrative Recherche et Développement (BIRD 2) et a bénéficié du soutien financier du CAS DAR et de l'ADEME (projet 2013-2016 ECOALIM).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

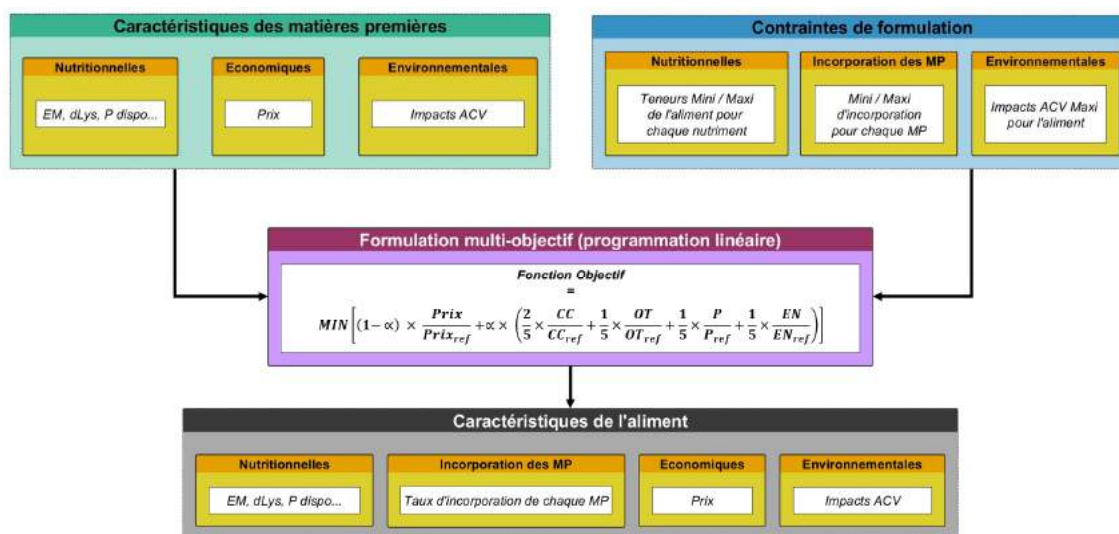
- Dusart L., Chenet R., Dezat E., Henninot E., Chevalier D., Bouvarel I., 2016. *Tema*, (37), 11-18.
- Dusart L., Méda, B., Protino J., Chevalier D., Dezat E., Chenut R., Ponchant P., Lescoat P., Berri C., Bouvarel I., 2015. 11^{èmes} JRAPFG, 881-886.
- Dusart L., Garcia-Launay F., Wilfart A., Méda B., Bouvarel I., Espagnol S., 2017. 12^{èmes} JRAPFG.
- EMEP/EEA 2013. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013 – technical chapter 3.B, 65 p.
- Koch P, Salou T., 2014. Agribalyse® : Rapport méthodologique, 386 p.
- Leinonen I., Williams A.G., Wiseman J., Guy J., Kyriazakis I., 2012. *Poultry Sci.*, (91), 8-25.
- Pelletier N., 2008. *Agr. Syst.*, (98), 67-73.
- Protino J., Magdelaine P., Berri C., Méda B., Ponchant P., Dusart L., Chevalier D., Dezat E., Lescoat P., Bouvarel I., 2015. 11^{èmes} JRAPFG, 1047-1053.
- Prudêncio da Silva V., van der Werf H.M.G., Soares S.R., Corson M.S., 2014. *J. Envir. Manage.*, (133), 222-231.
- Wernet G., Bauer C., Steubing B., Reinhard J., Moreno-Ruiz E., Weidema B., 2016. *Int. J. Life Cycle Assess.*, (21), 1218–1230.
- Wilfart A., Dauguet S., TAILLEUR A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Garcia-Launay F., Gac A., Espagnol S., 2017. 12^{èmes} JRAPFG.

Tableau 1. Principales données et hypothèses utilisées pour le calcul des impacts environnementaux et du coût de production pour la production d'une tonne de poulet vif en sortie d'élevage.

Animaux		Bâtiment		Hypothèses de distances (km)	
<i>Souche</i>	Ross PM3	<i>Surface des bâtiments</i>	2 x 1300m ²	<i>Production des MP – Usine d'aliment</i>	variable selon les MP
<i>Âge à l'abattage (j)</i>	36	<i>Type de bâtiment</i>	Colorado dynamique	<i>Usine d'aliment – Elevage</i>	50 km
<i>Poids à l'abattage (kg)</i>	1,83	<i>Litière (kg/m²/lot)</i>	4,50	<i>Couvoir – Elevage</i>	200 km
<i>Indice de consommation</i>	1,73	<i>Electricité (kWh/m²/lot)</i>	3,80		
<i>Mortalité (%)</i>	4,19	<i>Propane (kWh/m²/lot)</i>	13,10		
<i>Densité (animaux/m²)</i>	23,40				

MP : matières premières

Figure 1. La formulation multiobjectif proposée par Dusart *et al.* (2017) permet, tout en tenant compte des caractéristiques des matières premières (MP), d'intégrer différentes contraintes de formulation. Le coefficient α ($0 \leq \alpha \leq 1$) utilisé dans la fonction objectif permet de pondérer les critères environnementaux (impacts ACV) et économiques (prix), respectivement exprimés par rapport au prix et aux impacts d'un aliment de référence formulé à moindre coût (*ref*).



ACV : Analyse de Cycle de Vie ; CC : Changement Climatique ; OT : Occupation des terres ; P : Consommation de phosphore ; EN : Consommation d'énergie non-renouvelable.

Figure 2. Périmètre d'étude pour le calcul des impacts environnementaux par Analyse du Cycle de Vie de la production d'une tonne de poulet vif en sortie d'élevage.

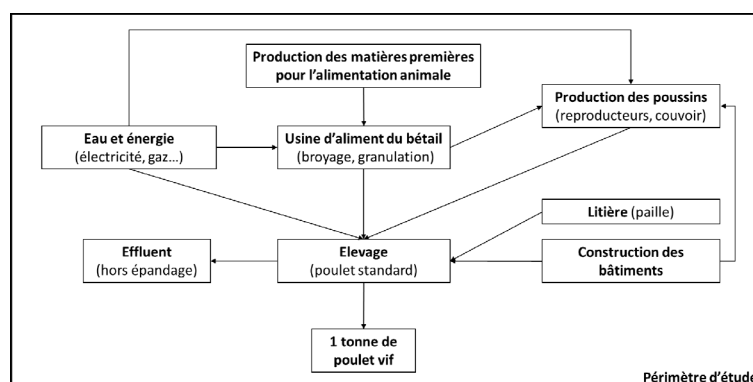


Figure 3. Variations conjointes des impacts environnementaux à l'échelle de l'aliment et du produit (tonne de poulet vif en sortie d'élevage) en fonction de la variation de prix de l'aliment ou du coût de production pour un contexte de disponibilité limitée (LIM) ou non limitée (NLIM) en matières premières. Les barres d'erreur représentent la variabilité observée en fonction des contextes économiques étudiés.

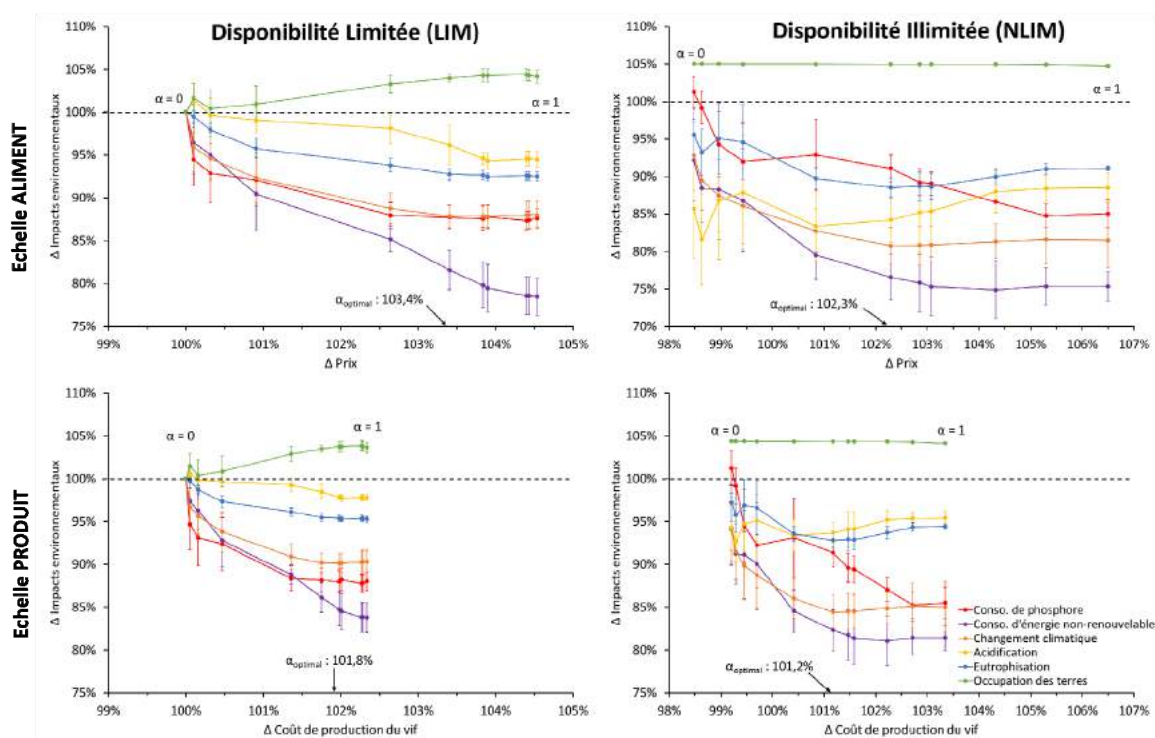


Tableau 2. Relations entre les variations des indicateurs économiques ou environnementaux à l'échelle de l'aliment (ΔX) et du produit (ΔY) (régressions linéaires réalisées avec $N=120$).

Indicateur	Echelle aliment (X)	Echelle produit (Y)	Relation
économique	Prix	Coût de production	$\Delta Y = 0,52 \Delta X$
environnemental	Consommation de phosphore	Occupation des terres	$\Delta Y = 0,97 \Delta X$
		Changement climatique	$\Delta Y = 0,87 \Delta X$
		Acidification	$\Delta Y = 0,81 \Delta X$
		Eutrophisation	$\Delta Y = 0,75 \Delta X$
		Consommation d'énergie non-renouvelable	$\Delta Y = 0,63 \Delta X$
		Acidification	$\Delta Y = 0,40 \Delta X$

EVALUATION DE LA CONTRIBUTION NETTE DES SYSTEMES D'ELEVAGE DE POULETS DE CHAIR ET POULES PONDEUSES FRANÇAIS A LA PRODUCTION ALIMENTAIRE PROTEIQUE POUR L'ETRE HUMAIN

Laisse Sarah¹, Dusart Léonie², Bouvarel Isabelle², Baumont René³

¹IDELE - Monvoisin – 35651 LE RHEU,

²ITAVIURA - Centre INRA de Tours BP1 - 37380 NOUZILLY

³INRA UMR 1213 Herbivores - 63122 SAINT-GENES-CHAMPANELLE

sarah.laisse-redoux@idele.fr

RÉSUMÉ

L'élevage avicole, peut être perçu comme non bénéfique à la sécurité alimentaire compte tenu de la consommation de végétaux nécessaire pour la production de viande ou d'œufs. Dans les élevages avicoles français, les volailles consomment des céréales qui auraient pu être en partie consommées directement en alimentation humaine, mais valorisent également des coproduits d'industries agroalimentaires et de biocarburant souvent non consommables par l'être humain. L'objectif de cette étude est d'évaluer la contribution nette des systèmes d'élevage avicole français à la production alimentaire protéique pour l'être humain. Dans cet objectif, l'indice de consommation (kg d'aliment consommé/kg de viande ou d'œufs produits) ne suffit pas puisqu'il ne différencie pas les ressources végétales qui auraient effectivement pu être consommées par l'homme et celles qui ne sont pas consommables. L'étude s'appuie donc sur un nouvel indicateur : l'Efficiencia de Conversion des Protéines Consommables par l'homme (ECPC). L'ECPC correspond au rapport entre les protéines consommables par l'homme produites par l'élevage (œufs, viande) et les protéines végétales consommables par l'homme consommées par l'élevage. La sensibilité des résultats d'ECPC a été évaluée selon la composition des aliments, les performances zootechniques des élevages ainsi que selon différents scénarios de consommations des aliments par l'homme. Il a ainsi été montré que l'élevage de volailles a la capacité de contribuer positivement à la production nette de protéines pour l'alimentation humaine. L'ECPC doit être utilisé avec précaution étant donné sa sensibilité à la composition de l'aliment et à la façon de définir les fractions « consommables » des matières premières et des produits animaux.

ABSTRACT

Estimating the net contribution of broiler chicken and laying hen systems to the protein supply of humans

Poultry may be perceived as disadvantageous for the human food supply because they must consume plants to produce meat or eggs. On French poultry farms, poultry consume cereals, part of which could have been consumed directly by humans, but poultry also consume by-products of food and biofuel industries that humans often cannot consume. The objective of this study is to estimate the contribution of French poultry farming to the net production of protein for human consumption. For this purpose, the Feed Conversion Ratio (kg feed consumed/kg meat or eggs produced) is not sufficient because it does not differentiate plant resources that humans can and cannot consume. The study is based on an updated efficiency indicator: the human edible protein conversion ratio (hepCR). The hepCR is the ratio of human edible protein produced by livestock (meat, eggs) to the human edible plant protein consumed by livestock. The sensitivity of the hepCR indicator was evaluated as a function of feed composition, livestock performance and different scenarios of food consumption by humans. Results indicate that poultry can contribute positively to net production of protein for human consumption. The hepCR should be used with caution because of its sensitivity to feed composition and to the definition of the fraction of feedstuffs and animal products that is "consumable" by humans.

INTRODUCTION

L'élevage avicole peut être perçu comme non bénéfique à la production et à la sécurité alimentaire puisqu'il consomme, en masse, davantage de végétaux qu'il ne produit d'œufs ou de viande. Les auteurs des articles de presse affirment par exemple qu'il faut 2 à 4 kg de végétaux pour produire 1 kg de viande de poulet. Ces chiffres se basent en général sur le seul indice de consommation (IC) des volailles (kg d'aliment consommé / kg de viande ou d'œufs produits). Cependant, afin d'évaluer la contribution nette de l'élevage avicole à la production alimentaire pour l'être humain, l'IC ne suffit pas puisqu'il ne différencie pas les ressources végétales qui auraient effectivement pu être consommées par l'homme de celles qui ne sont pas consommables comme certains coproduits d'industries agroalimentaires (IAA). De plus, l'intégralité des grains (de blé tendre par exemple) peut être consommée par les volailles alors que l'homme n'en consomme généralement qu'une partie puisque la transformation de ces grains en IAA (en farine par exemple) génère des coproduits (issues de meunerie) qui trouvent peu de débouchés en alimentation humaine. La compétition pour les ressources entre alimentation humaine et alimentation animale doit donc être relativisée.

L'efficacité de conversion par l'élevage des ressources végétales consommables par l'homme en produits animaux consommables est un nouvel indicateur qui paraît plus adapté pour évaluer la contribution réelle de l'élevage à la production alimentaire (Wilkinson, 2011 ; Ertl *et al.*, 2015 ; Laisse *et al.*, 2016). Il peut être calculé sur la base protéique ou énergétique des ressources alimentaires. Une première étude de l'Efficacité de Conversion des Protéines Consommables [par l'homme] (ECPC) sur des systèmes d'élevages bovins laitiers français a montré des résultats plutôt positifs puisque les ruminants valorisent de nombreuses matières premières végétales (MP) non consommables par l'homme (fourrages, coproduits) pour produire d'importantes quantités de lait (Laisse *et al.*, 2016). L'élevage de volailles recycle également des coproduits non consommables par l'homme. En France, il est en effet estimé que les volailles valorisent annuellement plus de 2,7 millions de tonnes de coproduits d'IAA et de biocarburants (dont tourteaux) (chiffres des statistiques Agreste entre 2007-2009 issus de Viguier, 2013). Par ailleurs, les élevages avicoles producteurs d'œufs et/ou de viande présentent des IC relativement faibles par rapport aux autres filières animales dont l'objectif est la production de viande. Il est donc intéressant d'estimer l'ECPC pour des systèmes d'élevage avicole français. Le calcul de l'ECPC est réalisé selon différents scénarios de consommations des aliments par l'homme. Wilkinson (2011), Ertl *et al.* (2015) et Laisse *et al.* (2016) ont proposé des définitions différentes de la proportion de protéines consommables (PPC) d'une MP végétale. Dans

l'approche de Laisse *et al.* (2016), la PPC représente la part des protéines contenues dans la MP initiale qui est conservée dans les produits alimentaires pour l'homme après première transformation. Il s'agit d'une estimation qui prend en compte ce qui est valorisable, selon les débouchés et les processus de transformations actuels utilisés en IAA en France. Selon ce scénario appelé « actuel », la PPC du blé tendre par exemple a été estimée à 66 %, ce qui signifie qu'en France, 66 % des protéines du blé transformé aujourd'hui pour l'alimentation humaine se retrouvent réellement dans les aliments destinés à l'alimentation humaine après première transformation (farine, gluten et autres) (Tableau 3).

Concernant la production de l'élevage avicole, la fraction « consommable par l'homme » des carcasses de volailles a également été définie.

Par ailleurs, au sein d'un même système de production, l'ECPC peut varier selon les élevages puisqu'elle dépend de l'IC et de la composition des aliments. La nature des MP qui composent ces aliments dépend à la fois du contexte économique, des caractéristiques nutritionnelles escomptées, de la disponibilité des MP sur le marché et des cahiers des charges des aliments.

L'objectif de l'étude présentée est l'évaluation de la contribution nette de systèmes avicoles à la production de protéines pour l'être humain. L'étude porte sur les deux principaux systèmes avicoles français : élevages conventionnels de poulets de chair (PCh) et poules pondeuses (PP). Elle est basée sur l'indicateur d'ECPC avec le scénario « actuel » de PPC proposé par Laisse *et al.* (2016). Afin d'estimer la variabilité possible inter-élevages et d'apprécier l'effet que peuvent avoir les spécificités méthodologiques citées ci-avant sur le résultat d'ECPC, une étude de sensibilité à ces variables a été réalisée. Elle permet aussi de rendre compte de l'importance relative des variables zootechniques et méthodologiques sur l'ECPC, ainsi que d'entrevoir de premiers leviers d'amélioration de l'ECPC.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Systèmes volailles étudiés et périmètre d'étude

Pour les deux filières, le périmètre d'étude inclut à la fois la consommation alimentaire des élevages de poulets de chair (standard, abattu à poids vif moyen de 1,8 kg) ou de poules pondeuses (cage) mais aussi celle relative aux élevages associés des parentaux et des poulettes. L'étude s'appuie sur les données des performances zootechniques des élevages français issues d'enquêtes durant l'année 2014 et des hypothèses de composition d'aliments types distribués aux volailles (CA Grand Ouest, 2014; ITAVI, 2015 ; dires d'experts) (Tableau 1).

1.2. Calcul de l'efficacité de conversion des protéines

L'efficacité de conversion des protéines d'un élevage

correspond au rapport entre sa production de protéines animales (viande, œufs) et sa consommation de protéines végétales (alimentation des animaux). Ce ratio est appelé ECPT si la totalité des protéines sont considérées. L'efficacité de conversion des protéines consommables (ECPC) est calculée par ce même rapport mais en ne prenant en compte que les protéines qui sont consommables par l'homme. La part totale consommable des produits animaux est présentée dans le tableau 2. Dans les aliments distribués aux volailles, seules les protéines consommables par l'homme des MP_i , ($i \in \llbracket 1; n \rrbracket$) qui composent l'aliment sont prises en compte (protéines consommables = $\sum_{i=1}^n (\text{kg de } MP_i \text{ consommés} \times MAT_i \times PPC_i)$). Les valeurs de MAT et PPC des MP végétales sont issues des tables d'INRA-AFZ (2004) et de Laisse *et al.* (2016). Le scénario « actuel » des PPC a été choisi car il reflète la valorisation actuelle de la MP en IAA en France pour l'alimentation humaine (Tableau 3).

1.3. Etude de sensibilité de l'ECPC aux variables zootechniques observables en élevage

L'ECPC « témoin » est calculée avec les performances zootechniques moyennes des élevages et avec un aliment « moyen ». La sensibilité de l'ECPC aux variations de performances zootechniques (IC des PCh et des PP, % d'œufs déclassés) (Tableau 1), puis à la composition des aliments ont été étudiés. Pour cela, l'ECPC a été étudiée selon 4 compositions moyennes d'aliments dans les deux principaux ateliers des systèmes avicoles (engraissement des PCh et atelier ponte des PP) (Tableau 1). Elles sont issues de formulations réalisées dans des contextes économiques et de disponibilité des MP différents. Pour chaque production, les caractéristiques nutritionnelles des formules sont similaires, ne modifiant donc pas les performances zootechniques.

1.4. Etude de sensibilité de l'ECPC aux spécificités méthodologiques

Plusieurs spécificités méthodologiques ont été envisagées pour le calcul de l'ECPC :

- Pour l'animal abattu : les protéines consommables peuvent correspondre aux protéines de la viande maigre ou aux protéines totales consommables de l'animal (viande, abats, graisse et peau) (Tableau 2).
- Pour les MP végétales consommées par les animaux : deux scénarios de PPC complémentaires au scénario « actuel » ont été étudiés : ils sont issus de la bibliographie et font référence aux protéines de la MP potentiellement valorisables, et ce pour des contextes différents (pays, avec des changements d'habitudes alimentaires et des technologies utilisées) (Tableau 3).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Efficacité de conversion des protéines des systèmes avicoles

Les valeurs d'ECPT indiquent l'efficacité protéique totale des systèmes d'élevages PCh et PP : il faut respectivement environ 2 kg et 3 kg de protéines végétales pour produire 1 kg de protéines animales (Tableau 4). Les valeurs moyennes d'ECPC obtenues indiquent cependant qu'en considérant la valorisation actuelle des MP végétales en IAA en France, et une composition classique de l'aliment, l'élevage de PCh contribue positivement à la production en protéines pour l'homme (ECPC moyenne > 1 avec scénario « actuel ») (Tableau 4). Quant à la production d'œufs par l'élevage de PP, dont l'IC est plus élevé que la production de PCh standard, elle apparaît à l'équilibre entre production et consommation de protéines consommables par l'homme (ECPC moyenne = 1 avec le scénario « actuel »).

2.2. Sensibilité à la composition des formules et aux performances zootechniques

Pour la production de PCh, et selon les plages de variabilités testées, l'ECPC varie davantage selon la composition de l'aliment (- 30 % à + 65 % /ECPC témoin) que selon l'IC des poulets en engraissement (- 8 % à + 5 % /ECPC témoin) (Figure 1). C'est également le cas pour le système PP. Les aliments qui incorporent plus de tourteaux de colza et tournesol, de coproduits céréaliers et/ou de maïs présentent des PPC moyennes relativement faibles (inférieures à 30 %), qui permettent des résultats d'ECPC proche ou supérieurs à 1, indiquant que l'élevage produit autant ou plus de protéines consommables par l'homme qu'il en a consommé selon le scénario « actuel » (aliments moyens 2, 3, 4, B et D) (Tableau 4). Les aliments moyens 1, A et C incorporent davantage de MP dont une grande part des protéines est consommable par l'homme : le blé (farines) et le tourteau de soja (isolats de protéines). Ces compositions fournissent à l'élevage davantage de protéines consommables par l'homme que l'élevage n'en produit par ces œufs et sa carcasse.

2.3. Sensibilité à la définition du « consommable » des produits animaux et des MP végétales

En PCh, il y a une différence non négligeable entre l'ECPC calculée en considérant seulement la viande maigre comme consommable (1,09) et celle calculée en considérant également certains abats, peau et graisses comme consommables (1,28) (Tableau 5 ; Figure 1). La définition du « consommable » de la carcasse doit donc être précisée et correspondre à la valorisation effective des carcasses.

L'ECPC présente aussi des valeurs très variables selon le scénario de PPC des MP choisi. Les 2 scénarios complémentaires étudiés supposent, pour toutes les MP, une meilleure valorisation des protéines végétales par les humains qu'actuellement en IAA et attribuent donc aux aliments des PPC plus élevées avec en conséquence une diminution de l'ECPC (Tableau 5, Figure 1). Le scénario de PPC à

utiliser doit être adapté au contexte et à l'objectif de l'étude (recherche appliquée et liée à la réalité, étude prospective ou recherche fondamentale).

2.4. Pistes d'améliorations méthodologiques pour l'étude de la contribution de l'élevage à la production alimentaire pour l'homme

Le calcul de l'ECPC peut être affiné en prenant en compte le profil en acides aminés indispensables des protéines produites et consommées. Les protéines animales présentent un meilleur équilibre en acides aminés indispensables que les protéines végétales en général (score DIAAS in Rémond, 2014). Ertl *et al.* (2016) ont donc estimé un ratio de qualité des protéines (PQR) qui comptabilise cette différence de qualité entre les protéines végétales consommées et les protéines animales produites. Ils montrent ainsi que la production d'œufs peut être d'autant plus favorable en termes de production de protéines pour l'homme *via* la correction de l'ECPC par le PQR.

Par ailleurs, il serait intéressant de poursuivre l'étude sur ces systèmes d'élevage en exprimant l'efficacité de conversion des ressources consommables en termes d'apports énergétiques puis d'étudier en parallèle l'efficacité de conversion des surfaces

mobilisées pour produire des aliments pour l'homme. Enfin, certains sous-produits animaux de type C3 ne sont pas consommables mais rendent d'autres services à la société qui pourraient être comptabilisés (petfood, fertilisants, compost...).

CONCLUSION

Cette étude a permis de décrire pour la première fois la contribution nette de systèmes d'élevages avicoles français à la production de protéines pour l'homme. Le résultat de l'ECPC moyen est positif pour l'élevage de poulets de chair standard dont l'aliment distribué est en partie composé de coproduits non valorisés en alimentation humaine actuellement. L'incorporation de matières premières non consommables par l'homme dans les aliments pour volaille apparaît comme un levier intéressant pour l'amélioration de l'ECPC des élevages tandis que la marge de manœuvre liée à l'amélioration de l'IC est relativement moins élevée. Une étude complémentaire sera à réaliser afin de caractériser l'efficacité des autres systèmes d'élevage avicoles existants en France, notamment ceux sous signe de qualité (Label Rouge, plein air, biologique).

Tableau 1. Performances zootechniques et compositions moyennes des aliments types des ateliers PCh et PP

Filière	IC (écarts inter-élevages)	Œufs déclassés (écarts inter-élevages)	Indication sur les aliments moyens des 2 principaux ateliers	Composition moyenne des aliments (%)					
				Blé tendre	Maïs	Tourteau de soja	Autres tourteaux	Coproduits de céréales	Autres : graines de soja/colza, huiles, additifs...
PCh	1,69 (1,61 à 1,86) ⁽¹⁾	-	Aliment moyen 1	15	51	23	0	6	5
			Aliment moyen 2	15	47	13	11	8	7
			Aliment moyen 3	22	37	11	12	9	8
			Aliment moyen 4	15	43	2	11	9	19
			Moyenne de 1, 2, 3 et 4⁽³⁾	17	44	12	9	8	10
PP	2,17 (2,06 à 2,30) ⁽²⁾	5,40% (0,03% à 8,90%) ⁽²⁾	Aliment moyen A	5	54	18	10	2	12
			Aliment moyen B	1	58	13	14	3	12
			Aliment moyen C	32	28	9	15	4	13
			Aliment moyen D	1	59	9	18	3	11
			Moyenne de A, B, C et D⁽³⁾	9	50	12	14	3	12

⁽¹⁾ Variation de l'IC moyen de 95% à 110% (dire d'experts); ⁽²⁾ Variabilité en 2014 (ITAVI, 2015); ⁽³⁾ Utilisé comme « témoin »

Tableau 2 : Composition moyenne des œufs et carcasses (en % de poids vif) et teneurs en protéines associées (Adapté d'après Nys *et al.*, 2004; FAO, 2007; Murawska *et al.*, 2011.; ANSES, 2013; Coudurier, 2015)

	Poulet de chair (% du PV)	Poule pondeuse de réforme (% du PV)	Œuf (avec coquille)	Teneur en protéines (g/100g)
Total consommable animal ⁽¹⁾	62%	50%	-	20,2
Viande maigre	47%	32%	-	22,8
Abats consommables ⁽²⁾ , peau et gras	15%	17%	-	12,4
Total consommable œuf	-	-	91%	12,3
Sous-produits C1/C2 et C3 ⁽³⁾ , pertes, os, coquilles	38%	50%	9%	-

⁽¹⁾ abats, viande, peau et gras de la carcasse; ⁽²⁾ cou, gésier, foie et cœur; ⁽³⁾ intestins, viscère, tête, pattes, plumes, sang...

Tableau 3. Proportions de protéines consommables (PPC) des principales matières premières selon 3 scénarios

Scénarios PPC (Source)	Actuel ⁽¹⁾ (Laisse <i>et al.</i> , 2016)	Potentiel ⁽²⁾ (Laisse <i>et al.</i> , 2016)	Maximum ⁽³⁾ (Ertl <i>et al.</i> , 2016)
Blé tendre grain	66%	74%	100%
Maïs grain	15%	32%	90%
Tourteau de soja	60%	90%	92%
Tourteau de tournesol hp ⁽⁴⁾	0%	50%	46%
Coproduits de céréales	0% à 98%	0% à 98%	0% à 80%

⁽¹⁾ Scénario Actuel : cf introduction; ⁽²⁾ Scénario Potentiel : Contexte français, la PPC est calculée selon ce qui serait réalisable avec une demande croissante en protéines végétales (hypothèses de meilleure valorisation des protéines à moyen

terme, par des changements d'habitudes alimentaires et de technologies) ; ⁽³⁾ **Scénario Maximum** : Contexte autrichien, la PPC est calculée selon ce qui est réalisable avec de hauts progrès technologies et de relativement grands changements d'habitudes alimentaires. ⁽⁴⁾hp = high pro (obtenu avec un taux de décorticage de 40 à 50%, plus riche en protéines).

Tableau 4. Résultats d'ECPT, des PPC (%) des compositions d'aliments testées et résultats d'ECPC associées selon le scénario « actuel » (Laisse *et al.*, 2016) en poulets de chair et poules pondeuses

Filière	Indications sur les aliments des ateliers PCh et PP	ECPT	PPC de l'aliment	ECPC
PCh	Aliment moyen 1	0,49 (soit environ 2kg de protéines végétales pour produire 1 kg de protéines animales)	45%	0,88
	Aliment moyen 2		29%	1,33
	Aliment moyen 3		29%	1,32
	Aliment moyen 4		17%	2,14
	Moyenne de 1, 2, 3 et 4		30%	1,28
PP	Aliment moyen A	0,32 (soit environ 3kg de protéines végétales pour 1 kg de protéines animales)	35%	0,82
	Aliment moyen B		26%	1,05
	Aliment moyen C		31%	0,94
	Aliment moyen D		21%	1,33
	Moyenne de A, B, C et D		28%	1,00

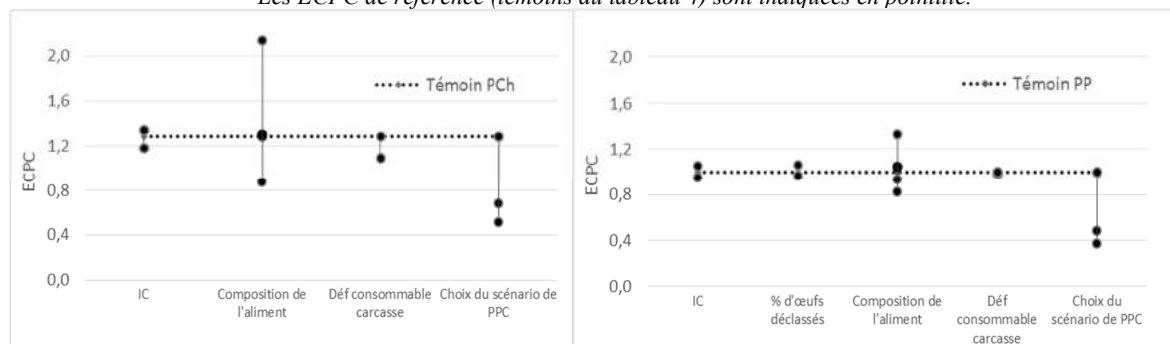
Tableau 5. Résultats de l'ECPC et de la PPC de l'aliment moyen selon le scénario de PPC des matières premières végétales et selon la définition de la fraction consommable des produits animaux

Filière	Fraction consommable	Scénario de PPC des matières premières végétales					
		Actuel (Laisse <i>et al.</i> , 2016)		Potentiel (Laisse <i>et al.</i> , 2016)		Maximum (Ertl <i>et al.</i> , 2016)	
		PPC Alim.	ECPC	PPC Alim.	ECPC	PPC Alim.	ECPC
PCh	Total consommable ⁽¹⁾	30%	1,28⁽²⁾	55%	0,68	73%	0,51
	Viande maigre		1,09		-		-
PP	Total consommable ⁽¹⁾	28%	1,00⁽²⁾	59%	0,48	77%	0,37
	Œufs +viande maigre		0,99		-		-

⁽¹⁾ La fraction totale consommable de l'animal comprend les abats, la viande, la peau et le gras de la carcasse ; ⁽²⁾ « témoin »

Figure 1. Variation de l'ECPC (flèches verticales) des systèmes PCh (à gauche) et PP (à droite) selon les performances zootechniques (IC et % d'œufs déclassés), la composition des aliments, puis selon la définition du consommable des carcasses (total consommable ou viande maigre) et le choix du scénario de PPC.

Les ECPC de référence (témoins du tableau 4) sont indiquées en pointillé.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANSES, 2013. Tables CIQUAL
 Chambres d'agricultures du Grand Ouest, 2014. Résultats de l'enquête avicole.
 Coudurier B., 2015. Innov. Agron., 48, pp177-200
 Viguier A., 2013. Agreste conjuncture, n° 2013/208
 Ertl P., Klocker H., Hörtenhuber S., Knaus W., Zollitsch W., 2015. Agric. Systems, 137, pp199-125.
 Ertl P., Schönauer M., Krimberger K., Knaus W., Zollitsch W., 2016. Die Bodenkultur: Journ. of Land Manag., Food and Env., 67(2), pp91-103
 FAO, 2007. ISBN: 978-974-7946-99-4
 INRA-AFZ, 2004. ISBN : 2-7380-1158-6
 ITAVI, 2015. Performances techniques et coûts de production – Poulettes, poules pondeuses Résultats2014, 21p.
 Laisse S., Rouillé B., Baumont R. et Peyraud J-L., 2016. Renc. Rech. Ruminants, n°23.
 Murawska D., Kleczek K., Wawro K. and Michalik D., 2011. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 24(4), pp532-539
 Nys Y., Sauveur B., 2004. Prod. Anim. 17, pp385-393
 Rémond D., 2014. Journées Franc. Nutrition 2014.
 Wilkinson J. M. 2011. Animal, 5 :7, pp1014-1022

ALIMENTATIONS HUMAINE ET ANIMALE : EVALUER LA COMPETITION SUR LES RESSOURCES ET L'ESPACE

Pothin Amandine¹, Méda Bertrand², Fortun-Lamothe Laurence¹

¹INRA, GenPhySe, Université de Toulouse, INRA, INPT, ENVT, 31326 Castanet Tolosan,
France

²INRA, URA, 37380 Nouzilly, France
laurence.lamothe@inra.fr

RÉSUMÉ

Il existe aujourd'hui une compétition pour l'usage des terres agricoles, notamment depuis l'essor des cultures à vocation énergétique. Par ailleurs, les systèmes de production animale sont la cible de critiques, d'une part pour leurs effets sur l'environnement, mais aussi pour leur occupation des surfaces agricoles. En effet, les surfaces et les ressources agricoles peuvent être utilisées pour l'alimentation humaine ou servir d'abord pour l'alimentation animale. Dans ce contexte, il est important de pouvoir évaluer la compétition entre alimentations humaine et animale. Nous proposons ici deux indicateurs complémentaires permettant d'évaluer cette compétition : SAPAA (Surface nécessaire pour Produire l'Alimentation des Animaux ; m².an/kg d'aliment) et PAACoH (Part dans l'Alimentation Animale des ressources qui entrent en Compétition avec l'alimentation Humaine ; %). Un calculateur, COMPETALIM, a été développé pour automatiser le calcul de ces indicateurs à partir de la composition des aliments composés des animaux monogastriques. Le premier indicateur est basé sur la méthode d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et correspond à l'impact « Occupation des terres » pour fabriquer un kg d'aliment du berceau jusqu'à l'entrée de la ferme. Le second indicateur fait appel à une liste de matières premières entrant dans la composition des aliments pour animaux et qui sont classées comme pouvant entrer en compétition (céréales, huiles principalement) ou non (coproduits, fourrages) avec l'alimentation humaine. La sensibilité des deux indicateurs a été testée à partir de données de la bibliographie (n=27) concernant des aliments destinés à des poules pondeuses, des poulets de chair, des canards, des oies ainsi que des porcs, truies ou des lapins en reproduction ou en croissance. Nos résultats montrent que SAPAA et PAACoH sont très variables selon l'espèce considérée (de 1,09 et 1,83 m².an/kg d'aliment pour SAPAA et de 19,4 % à 85,4 % pour PAACoH). PAACoH est plus variable en fonction de l'espèce et des besoins nutritionnels de chaque espèce, qu'entre les stades physiologiques, alors que SAPAA varie de manière importante selon l'aliment considéré pour une espèce donnée. Pour conclure, le calculateur développé et les deux indicateurs proposés permettent de façon simple d'évaluer la compétition entre alimentations humaine et animale.

ABSTRACT

Human food and animal feed: evaluating competition for agricultural resources and land

There is currently competition for the use of agricultural land, particularly since the development of energy crops. In addition, livestock production systems are the target of criticism for their effects on the environment and their agricultural land use. This is because agricultural surface area and resources can be used to produce human food or, first, animal feed. In this context, it is important to estimate the degree of competition between human food and animal feed. We developed two complementary indicators that do so: SAPAA (Surface area required to produce animal feed; m².yr/kg of feed) and PAACoH (Percentage on animal feed of resources competitive with human food; %). A calculator called COMPETALIM was developed to automate calculation of these indicators based on composition of compound feed for monogastric animals. The first indicator is based on the Life Cycle Assessment method (LCA) and corresponds to the impact "land occupation" to produce one kg of feed from the "cradle to farm entrance". The second indicator is based on a list of agricultural raw materials that are used for animal feed and classified as competing (mainly cereals and oils) or not (coproducts, fodders) with human food. Sensitivity of the indicators was tested using data from the literature for 27 animal feeds for laying hens, broiler chickens, ducks, geese, pigs, sows, and rabbits in reproduction or growing. Results show that SAPAA and PAACoH vary according to the species considered (SAPAA = 1.09-1.83 m².yr/kg of feed and PAACoH = 19.4-85.4%). The species considered and its nutritional needs influence PAACoH more than its physiological stage, while the feed considered for a given species influences SAPAA the most. In conclusion, the calculator and the two indicators we developed assess competition between human food and animal feed simply.

INTRODUCTION

Depuis quelques années, les systèmes d'élevages sont la cible de critiques, d'une part à cause de leurs impacts sur l'environnement puisque le secteur de l'élevage est, par exemple, responsable d'environ 14,5 % des émissions de GES d'origine anthropique (FAO, 2013) dont 2,5 % pour les monogastriques mais également pour leur importante utilisation de surfaces agricoles. En effet, selon la FAO (2006), l'élevage occupe 26 % de la surface mondiale émergée et libre de glace à travers les prairies et parcours et l'utilisation des terres arables pour l'alimentation des animaux. Il existe donc aujourd'hui une compétition pour l'usage des terres agricoles, notamment depuis l'essor des cultures à vocation énergétique (Dronne *et al.*, 2011). Les surfaces et les matières premières agricoles peuvent en effet être utilisées directement pour l'alimentation humaine ou servir d'abord pour l'alimentation animale. Il semble donc nécessaire de pouvoir évaluer la compétition entre l'alimentation humaine et animale concernant l'utilisation des ressources et de l'espace.

L'objectif du travail réalisé est de proposer deux indicateurs SAPAA (Surface Agricole nécessaire pour Produire l'Alimentation des Animaux) et PAACoH (Part dans l'Alimentation Animale des ressources qui entrent en Compétition avec l'alimentation Humaine), qui permettent d'évaluer cette compétition ainsi que le calculateur COMPETALIM dont le but est de les calculer de manière simple et rapide pour n'importe quel aliment composé destiné aux animaux monogastriques. Ces deux indicateurs permettent respectivement d'évaluer la compétition sur l'espace pour SAPAA et sur les ressources pour PAACoH.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Construction du calculateur COMPETALIM et des indicateurs SAPAA et PAACoH

Le calculateur COMPETALIM a été développé avec le logiciel Excel pour calculer des indicateurs SAPAA ($\text{m}^2.\text{an}/\text{kg}$ d'aliment) et PAACoH (%). Ce calculateur est constitué d'une base de données, d'une feuille permettant de décrire la composition des aliments utilisés et d'une feuille de résultats. Les deux indicateurs sont calculés à partir de la composition des aliments, *i.e.* de leurs ingrédients. Les matières premières potentiellement utilisables pour l'alimentation des animaux monogastriques (MP) disponibles dans la base de données comprennent les graines (céréales, protéagineux et oléagineux) et leurs coproduits (remoulages, sons, drêches, pailles, tourteaux, huiles, ...), les autres coproduits d'origine végétale (pulpes, mélasses), les fourrages déshydratés et les additifs (minéraux, acides aminés de synthèse, prémix, ...).

Le calcul de SAPAA est basé sur la méthode de l'Analyse du Cycle de Vie (ISO 14040, 2006) et correspond à l'impact « occupation des terres »

appliqué à la fabrication d'un kg d'aliment du berceau jusqu'à l'entrée de la ferme (unité fonctionnelle). Pour cet indicateur, la base de données comprend la valeur de l'impact pour chacune des MP ($\text{m}^2.\text{an}/\text{kg}$ de MP) telle que définie dans le projet ECOALIM (<http://www6.inra.fr/ecoalim>) et calculé avec la méthode de caractérisation CML-IA (Wilfart *et al.* 2017). SAPAA est l'agrégation des impacts relatifs de chacune des MP, il permet d'exprimer la surface occupée sur une année pour produire un kilo d'aliment.

PAACoH correspond au pourcentage de MP dites « compétitives » dans un kg d'aliment. Le calcul repose sur une base de données comprenant la liste des MP qui ont chacune été affectées d'une valeur 1 ou 0 selon si elles peuvent être utilisées en alimentation humaine (graines et huiles principalement, MP dites « compétitives ») ou non (coproduits, fourrages, additifs, ... ; MP dites « non compétitives »). 17 MP sur les 75 MP présentes dans la base de données ont ainsi été définies comme utilisables en alimentation humaine. Cette classification a été réalisée à dire d'experts.

Pour calculer SAPAA et PAACoH, l'utilisateur doit renseigner la composition de l'aliment, c'est à dire le pourcentage de chaque MP utilisée comme ingrédient, et COMPETALIM calcule les valeurs des deux indicateurs.

1.2. Validation des indicateurs et évaluation de leur sensibilité

Afin d'évaluer le domaine de variation des indicateurs, SAPAA et PAACoH ont été calculés pour 27 aliments différents, décrits dans la bibliographie et destinés à divers animaux monogastriques : porcs, truies, poules pondeuses, poulets de chair, canards, oies, dindes et lapins en reproduction ou en croissance. La composition de ces aliments est décrite dans le Tableau 1. Ceci a permis d'évaluer la variabilité des indicateurs entre les espèces et entre les stades physiologiques au sein d'une même espèce.

Pour être fiable, un indicateur doit notamment être sensible (Bockstaller et Girardin, 2003). Afin d'évaluer la sensibilité de SAPAA et PAACoH, nous avons comparé pour différentes espèces (oie, poule, poulet) les valeurs des indicateurs pour des aliments composés d'ingrédients différents mais présentant une composition nutritionnelle similaire, notamment une énergie métabolisable équivalente (Tableau 2). Chez l'oie en période de finition, nous avons comparé des aliments contenant soit du maïs soit du sorgho (Arroyo *et al.*, 2012), tandis que chez le poulet et la poule, nous avons comparé l'effet de l'incorporation de drêches de blé en substitution d'une partie des céréales (Cazannet *et al.*, 2010). Nous avons également évalué l'effet de la substitution du tourteau de soja par d'autres tourteaux d'oléagineux (colza et tournesol) et des protéagineux dans un aliment destiné à des poulets en croissance (Lessire *et al.*, 2015).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

1.1. Variabilité des indicateurs entre les espèces et les stades physiologiques

Avec les 27 aliments utilisés dans notre étude, SAPAA varie entre 1,09 et 1,83 m².an/kg d'aliment (Figure 1). Ces valeurs extrêmes correspondent respectivement aux aliments pour poule pondeuse et pour dinde en finition. SAPAA est plus variable entre les stades physiologiques pour une même espèce qu'entre espèces. Ainsi, la valeur moyenne de SAPAA est de 1,35 et 1,30 m².an/kg d'aliment pour les aliments destinés respectivement aux porcs et aux poulets. Mais, si l'on considère les différents stades physiologiques du porc et de la truie (croissance/finition et gestation/lactation) SAPAA varie entre 1,27 et 1,47 m².an/kg d'aliment, tandis que chez les poulets (démarrage/ croissance / finition) SAPAA varie entre 1,23 et 1,45 m².an/kg d'aliment.

Dans notre étude, PAACoH varie entre 19,4 %, valeur obtenue pour un aliment destiné aux lapines reproductrices, et 85,4 %, valeur obtenue pour un aliment destiné à des truies en gestation (Figure 1). Contrairement aux valeurs de SAPAA, celles de PAACoH semblent plus spécifiques et en lien avec les besoins nutritionnels de chaque espèce. Ainsi, le lapin a un besoin important de fibres alimentaires indigestibles (dont NDF et lignine) pour assurer sa santé digestive. Celles-ci sont les plus souvent apportées dans l'aliment par des coproduits riches en fibres (pulpes, mélasses, son, marc, ...) qui correspondent à des ressources dites « non compétitives ». A l'inverse, les besoins en énergie chez le porc et les volailles sont généralement couverts par l'utilisation de céréales qui sont des ressources dites « compétitives » car pouvant être utilisées directement pour l'alimentation humaine. Les valeurs moyennes de PAACoH sont plus élevées chez les porcs que chez les volailles (76,9 % vs. 63,7 %), en relation avec les taux d'incorporation des céréales dans les aliments différents pour ces deux catégories d'animaux (Céréopa, 2008). On remarque aussi que la valeur de PAACoH est d'autant plus faible que la proportion en MP appartenant à la catégorie « sources de protéines » est élevée ($R^2=0,77$), ce qui s'explique par le fait que les protéines dans l'alimentation des animaux monogastriques sont le plus souvent apportées par des MP « non compétitives » (coproduits) tels que les tourteaux produits après extraction de l'huile destinée à l'alimentation humaine.

Les variations de PAACoH entre les aliments destinés à différents stades physiologiques au sein d'une même espèce (<15 points d'écart) ou entre aliments d'une même espèce pour un stade physiologique équivalent (<10 points d'écart) sont modérées.

1.2. Sensibilité des indicateurs

Lorsque le maïs est substitué par du sorgho dans un aliment destiné à des oies en finition (Arroyo *et al.*,

2012), on observe une faible variation de PAACoH (66,3 % vs. 69,3 %) qui n'est pas liée à cette substitution mais à un ajustement en céréales (+3 % de blé) de la formule de l'aliment « sorgho » pour garder une composition nutritionnelle constante. La substitution du maïs par le sorgho n'a pas d'effet sur PAACoH car il s'agit de deux céréales correspondant à des MP de même catégorie, dites « compétitives ».

En revanche, SAPAA varie de 1,14 m².an/kg d'aliment pour l'aliment à base de maïs à 1,58 m².an/kg d'aliment pour celui à base de sorgho. Ceci s'explique par un impact « occupation des terres » plus élevé pour le sorgho (2,11 m².an/kg de sorgho) que pour le maïs (1,23 m².an/kg de maïs ; Wilfart *et al.*, 2017) en lien avec le plus faible rendement à l'hectare du sorgho (Agreste, 2016).

Dans l'alimentation des volailles (poulets, coqs, dindes et poules pondeuses), si l'on substitue une partie des céréales (maïs et blé) par des drêches de blé (Cozannet *et al.*, 2010), on constate que PAACoH diminue (63,2 % vs. 46,2 % chez la poule par exemple), ce qui s'explique par l'incorporation des drêches de blé qui correspondent à une MP « non compétitive », contrairement aux céréales. De plus, SAPAA varie de 1,42 à 1,29 m².an/kg d'aliment, ce qui est lié au faible impact « occupation des terres » des coproduits de céréales (0,98 m².an/kg de MP pour les drêches de blé) par rapport à celui des céréales (1,33 m².an/kg de MP pour le blé).

Dans le cas où le tourteau de soja est substitué par d'autres tourteaux d'oléagineux associés à de la féverole dans un aliment destiné à des poulets en croissance (Lessire *et al.*, 2015), on observe une faible variation de PAACoH (74,3 % vs. 77,0 %). En revanche, SAPAA varie de 1,37 à 1,55 m².an/kg d'aliment. Cela s'explique par l'itinéraire technique du tourteau de soja importé d'Amérique du Sud, où les conditions permettent deux récoltes par hectare chaque année, l'impact « occupation des terres » de cette MP est donc plus faible que pour les MP, comme le tournesol, où l'on n'a qu'une seule récolte par hectare et par an.

Ces différents exemples montrent que les deux indicateurs sont sensibles à des variations de la composition des aliments pour un même stade physiologique au sein d'une espèce donnée et peuvent servir pour guider l'évolution des pratiques.

1.3. Complémentarité des indicateurs

La relation entre les indicateurs SAPAA et PAACoH est très faible ($R^2=0,027$) (Figure 2). Cela montre que ces deux indicateurs permettent d'exprimer des choses différentes et sont donc complémentaires. En effet, SAPAA permet la prise en compte des rendements des MP cultivées et de manière plus générale de leur itinéraire technique (rendement, nombre de récoltes annuelles), alors que PAACoH permet de tenir compte de leur devenir.

CONCLUSION

Les deux indicateurs proposés, SAPAA et PAACoH, calculés par COMPETALIM à partir de la composition des aliments permettent de façon simple d'évaluer la compétition pour les ressources en MP ainsi que pour l'espace entre l'alimentation humaine et animale. La prise en compte de ces informations pour la formulation des aliments composés destinés aux animaux monogastriques peut contribuer à limiter

l'utilisation de matières premières compétitives avec l'alimentation de l'Homme ou pouvant occuper une surface agricole importante au détriment de cultures destinées aux humains et ainsi faire évoluer les systèmes d'élevage vers un meilleur compromis entre les performances économiques, environnementales et sociales.

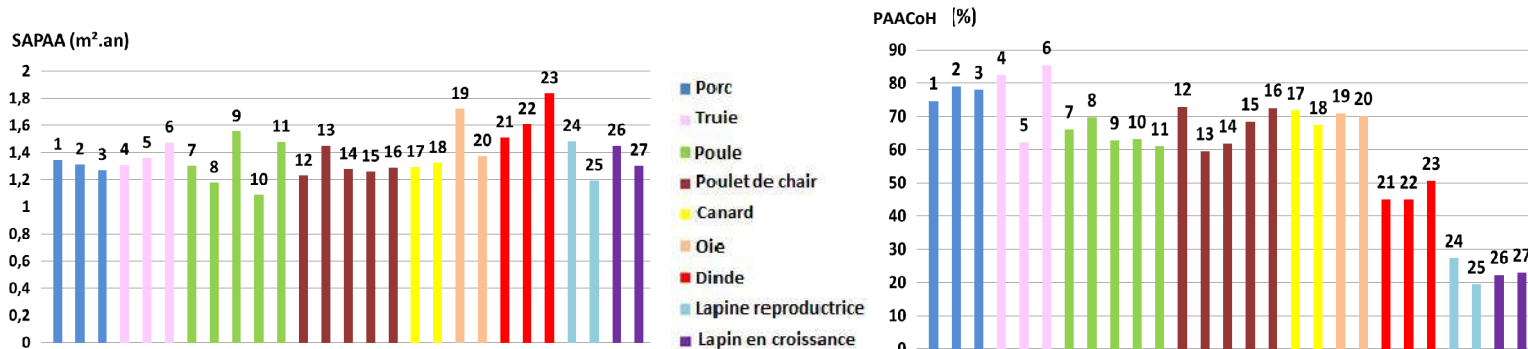
Tableau 1. Compositions des aliments utilisés pour la validation des indicateurs

Aliment	Référence*	Type d'aliment	Composition (%)					
			Céréales	Co-produits de céréales	Sources de protéines	Huiles	Vitamines et minéraux	Autres ^y
1	Vautier (2013) ^a	Porc croissance	73,2	4,0	16,3	1,5	3,0	2,0
2	Vautier (2013) ^a	Porc finition	78,2	4,0	12,5	0,8	2,6	2,0
3	Andretta <i>et al.</i> (2014) ^b	Porc croissance	78,0	0,0	18,9	0,0	2,6	0,5
4	Guillemet <i>et al.</i> (2006) ^c	Truie gestation	82,4	0,0	11,3	0,0	3,4	3,0
5	Guillemet <i>et al.</i> (2006) ^c	Truie lactation	60,2	10,0	21,0	2,0	3,8	3,0
6	Loisel <i>et al.</i> (2014) ^d	Truie gestation	83,4	0,0	11,5	2,0	3,1	0,1
7	Van Hamme <i>et al.</i> (2013) ^e	Poule pondeuse >18 s. d'âge	65,6	0,0	21,9	1,3	10,5	0,1
8	Umar Faruk <i>et al.</i> (2010) ^f	Poule pondeuse >18 s. d'âge	69,7	10,0	16,5	0,0	3,8	0,0
9	Denev <i>et al.</i> (2013) ^g	Poule pondeuse >20 s. d'âge	59,7	1,5	25,3	3,0	10,3	0,2
10	Helmbrecht <i>et al.</i> (2015) ^h	Poule pondeuse >20 s. d'âge	62,2	8,5	15,3	1,0	12,6	0,4
11	Bourin <i>et al.</i> (2015) ⁱ	Poule pondeuse >18 s. d'âge	59,0	0,0	18,8	2,0	10,3	0,0
12	Rousseau <i>et al.</i> (2012) ^j	Poulet croissance	69,5	0,0	21,6	1,0	5,5	2,4
13	Mallet <i>et al.</i> (2015) ^k	Poulet démarrage	55,9	0,0	36,1	3,6	4,2	0,2
14	Bodin et Boudry (2015) ^l	Poulet démarrage	61,4	3,0	29,4	0,4	5,8	0,0
15	Bodin et Boudry (2015) ^l	Poulet croissance	68,0	3,0	23,3	0,4	5,3	0,0
16	Bodin et Boudry (2015) ^l	Poulet finition	71,0	4,0	18,7	1,6	4,7	0,0
17	Bernadet <i>et al.</i> (2013) ^m	Canard croissance-finition	70,2	5,0	20,5	1,5	2,6	0,2
18	Arroyo <i>et al.</i> (2014a) ⁿ	Canard finition	67,4	8,0	19,8	0,0	2,5	2,3
19	Arroyo <i>et al.</i> (2012) ^o	Oie croissance-finition	70,9	6,8	19,8	0,0	3,1	0,4
20	Arroyo <i>et al.</i> (2014b) ^p	Oie finition	70,1	3,0	21,4	0,0	5,5	0,0
21	Petra <i>et al.</i> (2013) ^q	Dinde démarrage	45,0	0,0	48,0	1,7	5,3	0,0
22	Petra <i>et al.</i> (2013) ^q	Dinde croissance	44,9	0,0	46,8	3,9	4,4	0,0
23	Petra <i>et al.</i> (2013) ^q	Dinde finition	50,6	0,0	41,3	4,6	3,5	0,0
24	Zened <i>et al.</i> (2013) ^r	Lapine reproductrice	20,1	5,0	50,5	1,5	1,4	21,6
25	Read <i>et al.</i> (2016) ^s	Lapine reproductrice	18,9	28,0	35,4	0,5	0,4	16,9
26	Zened <i>et al.</i> (2013) ^r	Lapin croissance	16,6	10,0	50,8	0,0	1,1	21,6
27	Gidenne <i>et al.</i> (2014) ^t	Lapin croissance	23,0	19,0	45,8	0,0	2,2	10,0

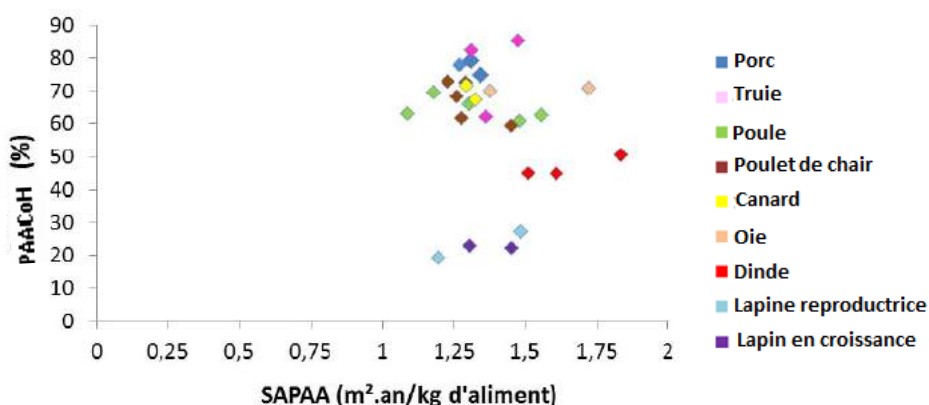
* Pour plus de détails voir Pothin (2015): ^aThèse de doctorat. ; ^bJRP, 107-112. ; ^cJRP, 453-460. ; ^dJRP, 177-182. ; ^eJRA-JRFG, 793-797. ; ^fPoultry Science, 89, 785-796. ; ^gJRA-JRFG, 943-946. ; ^hJRA-JRFG, 590-594. ; ⁱJRA-JRFG, 738-743. ; ^jPoultry Science 91, 2829-2837. ; ^kJRA. ; ^lJRA-JRFG, 580-584. ; ^mJRA-JRFG, 877-880. ; ⁿPoultry Science 93, 1-7. ; ^oPoultry Science 91, 2063-2071. ; ^pAnimal 9, 553-560. ; ^qJRA-JRFG, 683-687. ; ^rJRC, 141-144. ; ^s65th Annual meeting of the EAAP.

^y Autres : Pulpes (betterave, fruits), mélasses (betterave, canne), amidon, acides aminés de synthèse.

Figure 1: Les indicateurs PAACoH et SAPAA pour différents aliments destinés aux animaux monogastriques*



*Les numéros correspondent aux numéros des aliments décrits dans le Tableau 1

Figure 2. : Relation entre les indicateurs SAPAA et PAACoH**Tableau 2** : Composition des aliments utilisés pour tester la sensibilité des indicateurs SAPAA et PAACoH.

	Ingrédients (%)						Composition nutritionnelle		Indicateurs de compétition	
	Maïs	Sorgho	Autres céréales	Co-produits de céréales	Sources de protéines	Autres	EM* (kcal/kg)	MAT* (g/kg)	SAPAA (m².an/kg)	PAACoH (%)
Cas 1 (Arroyo <i>et al.</i>, 2012)										
Aliment « maïs »	50,0	0	16,3	12,0	17,5	4,2	2699	164	1,14	66,3
Aliment « sorgho »	0	50,0	19,3	12,0	14,8	3,9	2699	167	1,58	69,3
Cas 2 (Cozannet <i>et al.</i>, 2010)										
	Maïs	Blé	Drêches de blé	Tourteau de soja	Huile de soja	Autres	EM (kcal/kg)	MAT (g/kg)	SAPAA (m².an/kg)	PAACoH (%)
Aliment « sans drêches »	34,4	23,3	0,0	29,8	5,6	6,9	4550	217	1,42	63,2
Aliment « avec drêches »	25,2	17,0	25,0	21,8	4,1	7,2	4557	253	1,29	46,2
Cas 3 (Lessire <i>et al.</i>, 2015)										
	Céréales	Tourteau de soja	Tourteaux (tournesol + colza)	Féverole	Huile de colza	Autres	EM (kcal/kg)	MAT (g/kg)	SAPAA (m².an/kg)	PAACoH (%)
Aliment « soja »	72,5	22,3	0,0	0,0	1,8	3,4	2950	172	1,37	74,3
Aliment « 0 % soja »	66,0	0,0	15,5	8,0	3,0	7,5	2950	168	1,55	77,0

*EM : Energie Métabolisable

*MAT : Matière Azotée Totale

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agreste, 2016. Infos Rapides, Grandes cultures et fourrages – août 2016.
- Arroyo, J., Auvergne, A., Dubois, J.P., Lavinge, F., Bijja, M., Bannelier, C., Fortun-Lamothe, L., 2012. Poultry Science, 91(8), 2063-2071.
- Bockstaller, C., Girardin, P., 2003. Agricultural Systems, 76, 639-653.
- Cozannet, P., Lessire, M., Gady, C., Métayer, J.P., Primot, Y., Skiba, F., Noblet, J., 2010. Poultry Science, 89 (10), 2230-2241.
- CÉRÉOPA, 2008. Modèle Prospective Aliment. <http://www.cereopa.com/fr/actions/prospective-aliment.html>
- Dronne, Y., Forslund, A., Guyomard, H., 2011. Oléagineux Corps gras Lipides, 18(1), 1-9.
- FAO, 2006. Livestock's Long Shadow. Environmental Issues and Options. Rome. 390p.
- FAO, 2013. Tackling climate change through livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome. 139p.
- ISO, 2006. ISO 14040 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre.
- Lessire, M., Méda, B., Dusart, L., Hallouis, J.-M., Bordeau, T., Souchet, C., Mercierand, F., Hatte, C., Bouvarel, I., Berri, C., 2015. 11èmes Journées de la Recherche Avicole et des Palmipèdes à Foie Gras, p. 893-898.
- Pothin, A., 2015. Développement d'une méthode d'évaluation multicritère pour le pilotage d'une expérimentation système en élevage cunicole. Mémoire de fin d'études. VetAgro Sup Clermont. 63p.
- Wilfart, A., Dauguet, S., Tailleur, A., Willmann, S., Laustriat, M., Magnin, M., Garcia-Launay, F., Gac, A., Dusart, L., Espagnol, S., 2017. 12èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras.

UNE BASE DE DONNEES POUR CARACTERISER LES EMISSIONS GAZEUSES

Vigan Aurore¹, Ponchant Paul², Guingand Nadine¹, Espagnol Sandrine¹, Hassouna Mélynda³, Lorinquer Elise⁴, Lagadec Solène⁵, Brame Coline⁵, Edouard Nadège⁶, Genermont Sophie⁷, Loyon Laurence⁸, Eugène Maguy⁹, Klumpp Katja¹⁰, Fiorelli Jean-Louis¹¹, Mathias Etienne¹², Legall Cécile¹³, Cohan Jean-Pierre¹⁴, Eglin Thomas¹⁵, Robin Paul³

¹IFIP Institut du Porc, La motte au Vicomte 35651 Le Rheu Cedex, ²ITAVI, 41 rue de Beaucemaine 22440 Ploufragan, ³INRA UMR SAS, 65 rue de St Brieuc 35000 Rennes, ⁴IDELE, Monvoisin BP 67 35652 Le Rheu Cedex, ⁵CRAB, Rue Maurice le Lannou 35042 Rennes, ⁶INRA UMR PEGASE, Domaine de la Prise 35590 St Gilles, ⁷INRA UMR ECOSYS, Route de la Ferme 78850 Thiverval-Grignon, ⁸IRSTEA, Avenue de Cucillé 35000 Rennes, ⁹INRA UMRH, 63122 St Genès Champagnelle, ¹⁰INRA UREP, 63039 Clermont Ferrand, ¹¹INRA SAD-ASTER, 662 Avenue Louis Buffet 88500 Mirecourt, ¹²CITEPA, 42 Rue de Paradis 75010 Paris, ¹³TERRES INOVIA, 1 rue des Coulots 21110 Bretenière, ¹⁴ARVALIS, 44370 La Chappelle St Sauveur, ¹⁵ADEME, 20 Avenue du Grésillé 49000 Angers

aurore.vigan@ifip.asso.fr

RÉSUMÉ

L'amélioration des connaissances relatives aux émissions d'ammoniac et de GES du secteur de l'élevage est indispensable afin de réduire son impact environnemental et ainsi répondre aux exigences sociétales et réglementaires au niveau national et Européen. Un consortium regroupant des acteurs de la recherche (Inra, Irstea) et du développement (Ifip, Itavi, Idele, CRAB, Terres Inovia, Arvalis) s'est créé pour mutualiser les références relatives aux émissions gazeuses des élevages de volailles, d'herbivores et de porcs dans une base de données intitulée ELFE (ELevages et Facteurs d'Emission). Son objectif principal est de produire des facteurs d'émissions (FE) NH₃, GES, odeurs et particules par itinéraire technique en intégrant les différents postes d'émissions (bâtiment, stockage, traitement, épandage et pâturage). La première étape du projet a été d'établir la structure de la base pour intégrer les données d'émissions publiées et les métadonnées associées pouvant expliquer leur variabilité. La seconde étape est l'alimentation de cette base à partir des références disponibles dans la littérature internationale. L'étape suivante concerne leurs analyses en vue de calculer des FE moyens par itinéraire technique, mais aussi d'étudier l'influence des métadonnées sur leurs variabilités. La diffusion des résultats sera réalisée sous forme de publications scientifiques mais aussi sous forme d'un guide qui sera largement diffusé auprès des acteurs des filières animales.

ABSTRACT

A database to determine gaseous emission

Improving the knowledge on the magnitude and origin of gaseous emissions from livestock sector is essential to reduce emissions, to meet the societal requirement and to setup regulations at national and European levels. A consortium involving research (Inra, Irstea) and technical development (Ifip, Itavi, Idele, CRAB, Terres Inovia, Arvalis) was created to setup a robust database (ELFE) on (inter)national literature references on gaseous emissions of poultry, herbivore, pork productions and related indicators. With help of the database ELFE, we aim to determine emission factors (EF) for NH₃, GHG, odors and particles per technical itinerary, in order to integrate different steps of animal and manure management (i.e. building, manure storage and treatment, spreading and pastures) in the estimations of livestock emissions. Building the structure of the database was the first step of this project. Further on, national and international literature data has been integrated in the database. The next steps concentrate on data analysis to determine average EF's per itinerary and EF-variability due to metadata (i.e. animal type, climate, diet, duration, storage type...). Outcomes will be published in scientific journals but also made available for stakeholders as guidance document (i.e. fact sheets, technical reports).

INTRODUCTION

En France, le secteur de l'élevage est responsable de 70% des émissions d'ammoniac et de 17,8% des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES – Citepa, 2012). La caractérisation de ces émissions apparaît comme un enjeu incontournable du développement de ce secteur en France mais aussi en Europe. La diversité de l'élevage français résulte de différentes combinaisons d'espèces animales, stades physiologiques, modes de logement, types d'effluents mais aussi pratiques des éleveurs. Cette diversité conduit à des niveaux d'émissions gazeuses variables et dont les facteurs de variation sont souvent mal connus. De plus, le manque d'information sur les conditions d'acquisition tant sur les données techniques que météorologiques rend complexe la comparaison des facteurs d'émission publiés dans la littérature. Ainsi, la mise en œuvre d'une base de données regroupant uniquement les facteurs d'émission publiés dans la littérature ou acquis au cours de projets menés par les différents acteurs du RMT Elevages et Environnement serait insuffisante pour répondre à cet enjeu. C'est pourquoi la base de données ELFE (ELevages et Facteurs d'Emission) a été créée. Le premier objectif visé par cette base est d'élaborer des facteurs d'émission moyens en fonction de différents itinéraires techniques. Elle permettra également d'étudier ces facteurs d'émissions sur la base de critères spécifiques liés aux objectifs finaux et aux métadonnées disponibles concernant les valeurs d'émissions intégrées dans la base. Enfin, la base ELFE permettra d'identifier des facteurs de variation susceptibles de contribuer à réduire l'impact de l'élevage sur l'environnement.

1. MATERIELS ET METHODES

Les instituts de recherche (Inra, Irstea) et du développement (Ifip, Itavi, Idele, CRAB, Terres Inovia, Arvalis) avec l'appui financier de l'ADEME, se sont rassemblés afin de mener un projet consistant à élaborer une base de données des facteurs d'émissions gazeuses, d'odeurs et de particules liés à l'élevage.

1.1. Périmètre de la base de données

En accord avec les thématiques et missions du RMT Elevages et Environnement, la base de données ELFE couvre les productions avicole, herbivore (bovine, ovine, caprine et équine) et porcine.

Ces productions sont étudiées à travers les différentes étapes des conduites animales et de gestion des effluents. Les postes bâtiments, ouvrages de stockage extérieur des effluents, pâturage, traitement et épandage des effluents sont donc intégrés dans la base ELFE. Les émissions gazeuses considérées dans cette base concernent l'ammoniac (NH_3), le protoxyde d'azote (N_2O), le méthane (CH_4), le méthane

entérique (CH_4 entérique), le dioxyde de carbone (CO_2), le sulfure d'hydrogène (H_2S), les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatiles (COV) et également les odeurs et particules.

1.2. Création de la base de données

Structure commune aux différents postes d'émission

La base de données ELFE a été créée sous Excel®. Elle est structurée par poste d'émission et par production animale pour le poste « bâtiment ». Ce poste regroupe donc l'ensemble des données relatives aux émissions des bâtiments pour une production donnée alors que les postes « stockage » et « épandage » regroupent l'ensemble des données relatives aux émissions des ouvrages de stockage et de l'épandage toutes productions confondues.

La base est ensuite organisée en blocs thématiques pour les paramètres à renseigner. Les cinq premiers et les trois derniers blocs sont communs à tous les postes d'émission.

Les cinq premiers blocs communs représentent une quarantaine de paramètres à renseigner.

Le premier bloc concerne les identifiants liés à la ligne de saisie et à la publication ainsi que l'objet traité dans la publication (production animale et poste d'émission).

Le deuxième bloc est constitué uniquement du composé considéré (NH_3 , N_2O , CH_4 , CO_2 , H_2S , NO_x , COV, odeurs, particules) sachant que chaque ligne de la base correspond à un seul composé ; une publication couvrant par exemple NH_3 , N_2O , CH_4 et CO_2 sera représentée par quatre lignes dans la base. Le troisième bloc concerne la localisation géographique de l'expérimentation alors que le quatrième est dédié aux paramètres climatiques lors de l'acquisition des données (température, hygrométrie, vitesse du vent, ...).

Dans le cinquième bloc, les facteurs d'émissions, tels qu'ils sont communiqués dans la publication, sont à renseigner (valeur, écart-type, min, max et unité associée).

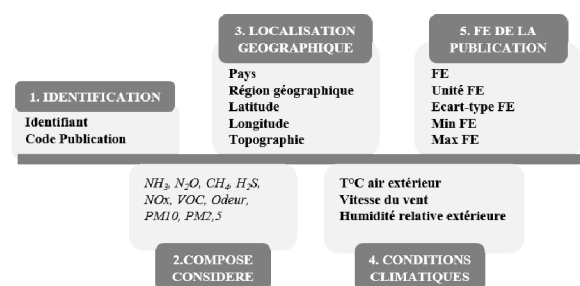


Figure 1 : Structure des blocs communs à tous les postes

Parmi les trois derniers blocs communs, celui dédié à la métrologie permet de regrouper l'ensemble des paramètres liés à l'échantillonnage (méthode de prélèvement, fréquence, localisation, ...) et aux mesures (méthode d'analyse, équipement, ...). Ensuite, un bloc permet de renseigner s'il y a un bilan de masse et le cas échéant, les résultats de ce bilan. Enfin, le dernier bloc de la base offre la possibilité d'indiquer des critères de pertinence en lien aux objectifs du projet ainsi que des remarques complémentaires.

Structure du poste « bâtiment »

Cinq blocs thématiques supplémentaires constituent la base pour le poste « bâtiment ». Ils sont listés ci-dessous avec quelques exemples des colonnes qui les constituent et de leurs variables :



Figure 2 : Structure des blocs pour le poste bâtiment

Structure du poste « stockage »

Trois blocs supplémentaires constituent la base pour le poste « stockage » :

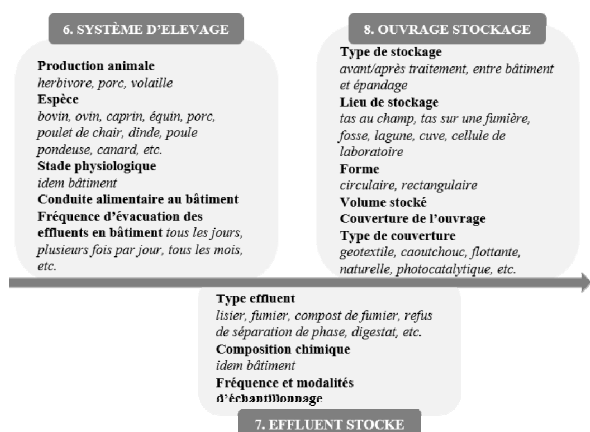


Figure 3 : Structure des blocs pour le poste stockage

Structure du poste « épandage »

Six blocs supplémentaires constituent la base pour le poste « épandage » :



Figure 4 : Structure des blocs pour le poste épandage

A ce jour, l'ossature de la base pour les postes traitement et pâturage est en cours de validation. Pour les postes bâtiment, stockage et épandage respectivement, environ 500, 150 et 200 paramètres peuvent être potentiellement renseignés.

Enfin, dans une optique de valorisation des résultats à l'échelle internationale, la base de données a été créée en anglais.

1.3. Références utilisées dans la base de données

Dans un premier temps, les acteurs du RMT Elevages et Environnement ont mutualisé l'ensemble de leurs références.

Elles ont ensuite été complétées en utilisant d'une part, le travail de synthèse bibliographique de Gac et al., 2006 et de Griffing et al., 2007 pour les périodes de 1991 à 2004 et de 1981 à 2005 respectivement. D'autre part, un travail d'actualisation sur la période 2005 à 2016 a été effectué sur Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com/>) en utilisant des séquences de mots-clés spécifiques pour chacune des productions et des postes d'émission.

Différentes catégories de références bibliographiques traitant des différentes productions et postes d'émissions ont été collectées : des articles de revues scientifiques à comité de lecture (Biosystems Engineering, Atmospheric Environment, ...), des actes de colloque (ASAE, CIGR, JRP, 3R, JRA, ...), des articles techniques ou d'ouvrages (TechniPorc, Terra, ...) mais aussi des rapports d'études. A ce jour, plus des deux tiers des références collectées concernent des articles de revues scientifiques.

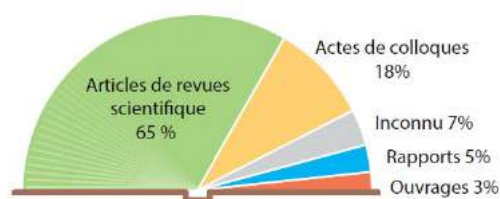


Figure 5 : Proportion des références collectées par type de source

Au total, environ 1 000 références ont été regroupées : près de la moitié concerne les émissions liées aux bâtiments d'élevage ; un quart de ces références concerne le stockage extérieur ; le quart restant regroupe le traitement, l'épandage et le pâturage. Les productions porcine, herbivore et avicole concernent respectivement 47, 30, et 23% de ces références.

2. UTILISATION DE LA BASE DE DONNEES

2.1. Analyse des données acquises

A partir du large panel de données compilées au sein de la base ELFE, différentes utilisations peuvent être envisagées. Néanmoins, les données et métadonnées intégrées à cette base devront dans un premier temps être homogénéisées afin de procéder à leur analyse et à des comparaisons. En effet, les données saisies dans la base correspondent aux données brutes communiquées dans les publications.

L'homogénéisation des unités d'expression des différents paramètres est donc indispensable pour permettre (1) le calcul de facteurs d'émission par itinéraire et (2) l'analyse des valeurs en fonction de différents facteurs de variation.

Par ailleurs, l'identification de ces facteurs de variations constitue également un des objectifs de ce projet. Des paramètres techniques liés à la conduite de l'élevage (stade physiologique, gestion des effluents, ...) ainsi que des paramètres métrologiques liés à l'échantillonnage et à l'analyse (méthode et équipement, fréquence et durée des mesures, ...) seront ainsi analysés dans ce sens.

2.2. Evaluation des données acquises

Une réflexion commune sur l'évaluation de la qualité des données intégrées dans la base est également engagée dans le cadre de ce projet. En effet, les références bibliographiques collectées seront de qualité variable du fait du manque d'informations plus ou moins conséquent sur les conditions d'acquisition des données. La définition de plusieurs niveaux de qualité permettra donc d'attribuer chacun de ces niveaux à une perspective d'utilisation précise des données de la base.

A partir de la réflexion autour de cette notion de qualité des données, deux familles ont été identifiées : une première famille qui doit permettre de juger le

niveau d'information sur la base d'une liste de paramètres indispensables déterminés préalablement ; une deuxième famille sur la métrologie qui doit également permettre de juger le niveau de description de la méthode mais également la pertinence et la représentativité des méthodes de mesure.

2.3. Diffusion scientifique et technique

A partir des acquis développés par la base de données ELFE, différentes perspectives de diffusion et de valorisation sont envisagées. Cette action s'effectuera donc sous différents types de supports, de la publication d'articles scientifiques et d'actes de colloques à la création d'une brochure regroupant l'ensemble des facteurs d'émission. L'objectif de cette brochure est de fournir un outil afin d'accompagner au mieux les agriculteurs dans leurs choix techniques visant à améliorer la qualité de l'air de leurs élevages.

Des synthèses sur les leviers d'actions visant à réduire l'impact environnemental de l'élevage qui auront été identifiés grâce à ce projet seront également rédigées. Enfin, les résultats du projet seront aussi utilisés dans le cadre d'articles techniques et de formations dispensées par les participants du projet auprès des différents acteurs des filières animales.

CONCLUSION

La base ELFE a pour objectif de mobiliser et mutualiser les acquis sur les données relatives aux émissions de NH_3 , CO_2 , CH_4 , N_2O , H_2S , odeurs et particules des productions avicole, herbivore et porcine au niveau des postes bâtiment, stockage, traitement, épandage et pâturage. Cette mutualisation permettra de formaliser le niveau de connaissance des facteurs d'émissions gazeuses des élevages et ainsi, d'identifier de nouvelles pistes de recherche dans ce domaine. L'intégration des métadonnées associées aux facteurs d'émission doit permettre de comparer les données acquises par les différentes équipes de recherche au niveau international tout en prenant en compte les différentes configurations et spécificités des systèmes d'élevage. Ainsi, cela devra permettre d'identifier des leviers d'actions en vue de réduire l'impact environnemental de l'élevage par rapport aux émissions gazeuses. La finalité technique de ce projet est de fournir aux éleveurs, techniciens, scientifiques mais aussi aux structures décisionnelles, des valeurs moyennes de facteurs d'émission de NH_3 , CO_2 , CH_4 , N_2O , H_2S , odeurs et particules en fonction des différents itinéraires techniques des productions avicole, herbivore et porcine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CITEPA, 2012. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – format SECTEN

Gac A., Béline F., Bioteau T., 2006. Flux de gaz à effet de serre (CH_4 , N_2O) et d'ammoniac (NH_3) liés à la gestion des déjections animales: Synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données – Rapport final, 79pp.

Griffing E.M., Overcash M., Westerman P., 2007. A review of gaseous ammonia emissions from slurry pits in pig production systems. Biosyst. Eng., (97), 295-312

MODELISATION THERMIQUE DES BATIMENTS D'ELEVAGE DE POULETS DE CHAIR EN VUE D'OPTIMISER LE CHOIX DES EQUIPEMENTS ET LES PARAMETRES DE REGULATION

**Robin Paul¹, Amand Gérard², Nicolas Christian³, Chevalier Dylan⁴,
Gallot Sylvain², Pigache Elodie⁴, Keïta Alassane⁵**

¹*INRA, UMR SAS – F-35000 Rennes, France*

²*ITAVI – Antenne Ouest - F-22440 Ploufragan, France*

³*Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne - 29270 Carhaix, France*

⁴*Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire - 49105 Angers, France*

⁵*Anses UEB – Service SELEAC – F-22440 Ploufragan, France*

paul.robins@inra.fr

RÉSUMÉ

Les progrès dans la génétique et l'alimentation des poulets de chair, associés à des besoins plus pointus des secteurs de la transformation et de la distribution ont conduit à une amélioration de la technicité des éleveurs et de leurs conseillers. La maîtrise de l'ambiance autour des animaux (température, hygrométrie, vitesse d'air, éclairage) permet aux animaux d'exprimer leur potentiel génétique. Le bâtiment et ses équipements apportent les moyens d'obtenir les conditions d'ambiance optimales durant tout un lot. Toutefois, la maîtrise est complexe du fait de la configuration du bâtiment (dimensions, isolation, type de sol), du nombre d'équipements concernés (ventilation, chauffage, échangeurs de chaleur, éclairage), du nombre de paramètres de réglage de ces équipements, des interactions avec les flux biologiques ainsi qu'avec le climat. La modélisation présentée ici intègre les processus associés d'une part aux équipements du bâtiment, d'autre part aux régulations biologiques. Elle calcule les résultats d'ambiance (température et hygrométrie) à un pas de temps horaire (détection des périodes à risque) ainsi que les résultats économiques associés à un calendrier de production, des charges fixes et des charges variables. Les scénarios choisis évaluent les conséquences sur la concentration intérieure en CO₂, la consommation de gaz, de différents choix de chauffage, débit de ventilation minimum, pour différentes situations d'isolation et de climat. Ces résultats sont discutés sous l'angle de la faisabilité économique d'un investissement, l'acceptabilité sociétale de l'élevage ou son impact environnemental.

ABSTRACT

Thermal modeling of broiler houses to optimize the choice of equipment and regulation parameters

Advances in the genetics and feeding of broiler chickens, coupled with more specific needs in the food chain, have led to improvements in the technicity of farmers and technicians. Environment control (temperature, hygrometry, air speed, lighting) allows animals to express their genetic potential. The house with its equipment provide the means to maintain optimal conditions during a whole batch whatever the outside climate is. However, choosing optimal practices is complex because of the configuration of the building (dimensions, insulation, type of floor), the number of equipment (ventilation, heating, heat exchangers, lighting), the number of regulation parameters, interactions with biological flows and with the climate. The model presented here integrates the processes associated on the one hand with the building and on the other hand with the biological regulations. It calculates the inside climate (temperature and humidity) at an hourly time step (detection of critical periods) as well as the economical results associated with a production schedule and fixed/variable costs. The chosen scenarios evaluate the consequences on the CO₂ indoor concentration, the gas consumption of different heating choices, minimum ventilation rate, for various house insulation and climate. The results are discussed in terms of the economic feasibility of an investment, the societal acceptability of livestock or its environmental impact.

INTRODUCTION

Les progrès dans la génétique et l'alimentation des poulets de chair, associés à des besoins plus pointus des secteurs de la transformation et de la distribution ont conduit à une amélioration de la technicité des éleveurs et de leurs conseillers. La maîtrise de l'ambiance autour des animaux (température, hygrométrie, qualité de l'air, vitesse d'air, éclairage) fait partie des paramètres techniques qui permettent aux animaux d'exprimer leur potentiel génétique (Cobb, 2008). Le bâtiment et ses équipements apportent les moyens d'obtenir des conditions d'ambiance optimales durant tout un lot (CIGR, 1984, 2002). Toutefois, la maîtrise est complexe du fait de la configuration du bâtiment (dimensions, isolation, type de sol, ...), du nombre d'équipements concernés (ventilation, chauffage, échangeurs de chaleur, éclairage), du nombre de paramètres de réglage de ces équipements, des interactions avec les flux biologiques ainsi qu'avec le climat. A cette complexité d'usage s'ajoute la complexité des enjeux d'optimisation : demandes des filières aval, changement climatique, incertitude réglementaire en regard des évolutions possibles associées aux enjeux de bien-être animal et d'environnement. Cette complexité rend les arbitrages délicats au moment d'investir dans de nouveaux matériels.

Ce travail se focalise sur le choix du débit minimum de ventilation d'un bâtiment d'élevage de poulets de chair. Dans les bâtiments où la concentration en CO_2 peut dépasser le seuil réglementaire de 3000 ppm (CCE, 2007), ce choix renvoie simultanément aux enjeux de durabilité économique (limitation des charges variables), sociale (directive « bien-être animal ») et environnementale (réduction de la consommation d'énergie). Différents scénarios de fonctionnement thermique du bâtiment sont comparés en utilisant un modèle thermique de bâtiment (Marcon et al., 2017). Les scénarios diffèrent par la nature du système de chauffage, l'isolation du bâtiment, la température extérieure et le débit minimum. La discussion des résultats de consommation d'énergie et de teneur en CO_2 dans l'ambiance met en perspective la durabilité des choix d'investissements ou de paramètres de régulation.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Présentation du modèle

Un modèle de simulation thermique a été développé en partenariat entre l'ITAVI, l'INRA, les Chambres d'Agriculture de Bretagne et des Pays de la Loire et l'ANSES, dans le cadre du projet CASDAR MEDIBATE (Marcon et al., 2017). Ce modèle (Figure 1) :

- intègre le rôle des équipements dans la régulation d'ambiance afin de tester leur effet

spécifique ainsi que leur réponse à des paramètres de réglage différents ;

- intègre les régulations biologiques connues pour les animaux et la litière (chaleur totale, sensible, émission d' H_2O et de CO_2) ;
- calcule les résultats d'ambiance (température, hygrométrie, CO_2) en fonction du bâtiment (isolation), des équipements (ventilation, chauffage), des animaux (courbe de croissance, indice de consommation) et du climat (température, hygrométrie) à un pas de temps horaire (détection des périodes à risque) ; les équations utilisées sont celles validées pour le dimensionnement des bâtiments (CIGR, 1984, 2002)
- calcule les résultats économiques associés à un calendrier de production, des charges fixes (bâtiment) et des charges variables (aliment, énergie).

1.2. Scénarios choisis

Le scénario de référence correspond à un cas moyen (bâtiment de 1500 m^2 , avec un coefficient de pertes parois de $1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, équipé d'un chauffage intérieur par aérothermes au gaz ; ITAVI-CNEVA, 1998). Des poulets standard sont élevés de 0,04 à 2 kg en 33 jours, à une densité de 21 animaux m^{-2} . La température de consigne diminue de 32°C à 22°C , le débit de $0,5 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{kg}^{-1} \text{ PV}$ au minimum. La série climatique choisie comme exemple avait une température comprise entre 5 et 15°C en début de lot et descendait à -4°C en fin de lot (Figure 2). Les scénarii alternatifs combinent l'isolation renforcée du bâtiment (diminution par 2 des pertes parois), la combustion indirecte (c'est-à-dire absence de rejet de gaz de combustion dans l'ambiance et donc de CO_2), un débit minimum jusqu'à $2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{kg}^{-1} \text{ PV}$, une température extérieure abaissée de 5°C . Les consommations de gaz sont intégrées sur un lot. La puissance maximale de chauffage est recherchée sur l'ensemble du scénario.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Résultats

Les flux de chaleur présentés sur la Figure 2 (cas du débit minimum de $1 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{kg}^{-1} \text{ PV}$) montrent qu'en début de lot l'essentiel de la puissance produite par le chauffage est perdue par les parois. En fin de lot en revanche, la chaleur produite par les animaux est évacuée par la ventilation. En conséquence, si leur production de chaleur sensible ne permet pas de réchauffer l'air entre la température extérieure et la température de consigne, la consommation de gaz pour le chauffage de l'air peut devenir élevée.

Les Figures 3 et 4 montrent, au 5^{ème} et au 33^{ème} jour d'élevage, que l'augmentation du débit minimum permet de réduire la teneur en CO_2 dans l'ambiance des élevages. La combustion indirecte a deux

conséquences : la teneur en CO_2 est plus faible qu'avec une combustion directe ; la baisse de température extérieure n'entraîne pas une hausse de la concentration intérieure en CO_2 . En début de lot, le débit minimum de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ PV}$ permet d'obtenir une concentration de 3000 ppm dans le cas de la combustion indirecte. En cas de combustion directe, une meilleure isolation du bâtiment (ou des températures extérieures plus douces) permet de s'approcher de ce seuil. En fin de lot, pour une consigne voisine de 22°C , le débit minimum de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ PV}$ permet d'obtenir une teneur en CO_2 voisine de 3000 ppm malgré le besoin de chauffage.

La Figure 5 montre que la consommation de gaz augmente de $2 \text{ kg gaz m}^{-2} \text{ lot}^{-1}$ (1 à 3) lorsque le débit minimum de ventilation augmente de $0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ PV}$ et qu'elle augmente de 100% (60 à 140%) lorsque la température extérieure diminue de 5°C . Lorsque l'augmentation est associée à la ventilation en fin de lot, elle est peu affectée par une meilleure isolation du bâtiment.

La Figure 6 présente les puissances de chauffage nécessaires pour assurer les températures optimales pour les différents scénarios. Les puissances habituellement installées varient de 90 à $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ bâtiment. La Figure 6 montre que cette puissance risque d'être insuffisante pour apporter aux animaux leur température de confort si la température extérieure devient inférieure ou égale à 0°C alors que le débit minimum a été fixé à $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ PV}$ ou plus.

2.2. Durabilité des choix d'investissements

L'investissement dans un bâtiment d'élevage engage la durabilité de l'élevage sur le long terme. Les Figures 3 à 6 montrent que dans certaines situations de bâtiments, le respect du seuil de 3000 ppm n'est possible qu'à condition que les conditions climatiques soient favorables. En effet, lorsque les températures sont froides, le bâtiment moyennement isolé, la combustion à l'intérieur du bâtiment, l'augmentation du débit minimum pour atteindre ce seuil (0.5 à $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ PV}$) fait passer la consommation de gaz de 0.4 à $3 \text{ kg gaz m}^{-2} \text{ lot}^{-1}$ soit une augmentation d'environ 15% des charges variables. Cette situation n'est durable ni sur le plan environnemental (consommation de ressources non renouvelables, émission de gaz à effet de serre) ni sur le plan économique (charges variables excessives).

Dans le cas d'un investissement dans un bâtiment neuf ou dans une rénovation, le modèle que nous avons développé permet de simuler les performances de l'installation et d'évaluer, pour le climat prévu sur les prochaines décennies, si les matériels sont compatibles avec les besoins d'ambiance et avec la limitation des consommations d'énergie. Dans le cas où une consommation de chauffage excessive en fin de lot est détectée, le modèle permet de dimensionner un échangeur-récupérateur de chaleur (débit total, coefficient de récupération).

Les simulations ont été faites pour une courbe de consigne. Une diminution de la température de consigne réduirait le dimensionnement du chauffage.

2.3 Durabilité du choix des paramètres de régulation

Le débit total de ventilation est minimum durant la première semaine d'élevage. A ce moment, les pertes de chaleur par la ventilation sont faibles en regard des pertes par les parois. L'augmentation du débit minimum de 0.5 à $1.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ PV}$ a pour conséquence d'augmenter la dépense de chauffage mais l'effet sur l'amélioration de l'ambiance (CO_2 , hygrométrie, particules, conséquences sur l'évolution de la litière) peut améliorer les performances animales. Dans cette hypothèse, ce choix de régulation améliore la durabilité économique et sociétale (amélioration du bien-être animal) au détriment d'une dégradation modérée de l'impact environnemental (consommation de combustible).

En fin de lot, l'augmentation du débit minimum est envisageable si une baisse de la température de consigne est compatible avec le bien-être thermique des animaux.

CONCLUSION

L'augmentation du débit minimum de ventilation permet techniquement d'obtenir une concentration maximale de 3000 ppm de CO_2 dans les élevages de poulets. Dans certaines situations de bâtiments ou de climats, la mise en œuvre de cette augmentation est en contradiction avec la durabilité économique ou environnementale de l'élevage en raison des consommations excessives d'énergie qu'elle induit. Les situations les plus critiques sont celles de la combustion directe et des bâtiments de conception ancienne, dont l'isolation est moyenne ou dégradée.

En cas de combustion indirecte et de bâtiment bien isolé la mise en œuvre est possible en début de lot. Pour éviter le risque d'une surconsommation d'énergie en fin de lot, il convient de prévoir des récupérateurs de chaleur.

Ces résultats obtenus dans le cas des poulets à croissance rapide doivent être confirmés dans le cas de souches à croissance plus lente.

Les perspectives sont de diffuser une version de ce modèle aux conseillers et éleveurs et d'étendre la modélisation à d'autres productions afin de faciliter l'optimisation des choix d'investissements ou de paramètres de régulation. Certains résultats de simulation peuvent générer une polémique sur le plan économique, sociétal ou environnemental. Dans ce cas, une validation en conditions commerciales est nécessaire avant d'envisager des simulations.

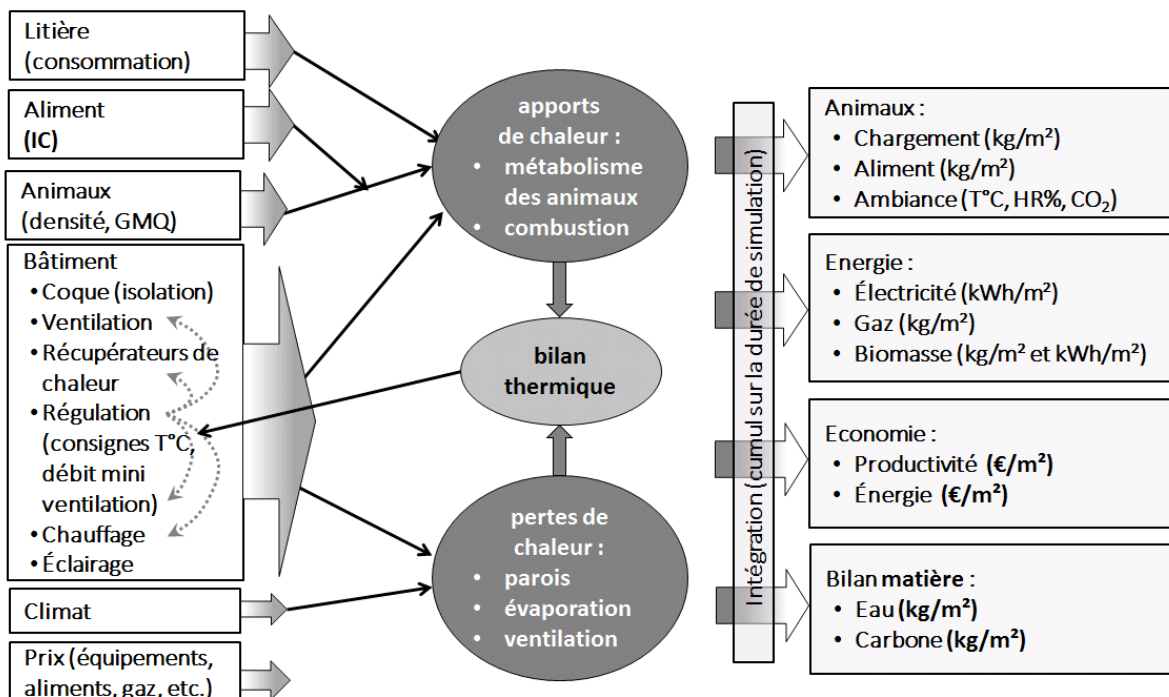
REMERCIEMENTS

Projet financé par le CASDAR (2010-2014 N°1172)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CCE, 2007. Directive du Conseil 2007/43/EC fixant des règles minimales de protection des poulets destinés à la production de viande. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007L0043>
- CIGR, 1984. Report of working group on Climatization of Animal Houses. Editors: Scottish Farm Building Investigation Unit. Craibstone, Aberdeen, Scotland. ISBN 0 902433 33 4. 80p. <http://www.cigr.org/documents/CIGR-Workinggroupreport1984.pdf>
- CIGR, 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. Heat and moisture production at animal and house levels. Editors: Pedersen, S. & Sällvik, K. ISBN 87-88976-60-2. http://www.cigr.org/documents/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf, 46p.
- Cobb, 2008. Guide d'élevage. 70p.
- ITAVI-CNEVA, 1998. La gestion technique des bâtiments avicoles. Sciences et Techniques Avicoles 1998, hors série, 64 p.
- Marcon M., Massabie P., Amand G., Robin P., Chevalier D., Kergourlay F., Nicolas C., Keita A., 2017. Modélisation des flux d'énergie directe et indirecte pour les bâtiments des filières porcine et avicole. Innovations Agronomiques (*en cours*).

Figure 1. Schéma conceptuel du modèle MEDIBATE développé par Marcon *et al.* (2017).



IC : indice de consommation ; GMQ : gain moyen quotidien, T°C : température, HR% : humidité relative, CO₂ : dioxyde de carbone)

Figure 2. Évolution des productions et apports de chaleur du bâtiment ; évolution du climat (scénario températures « normales », combustion directe, débit minimum $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ PV}$)

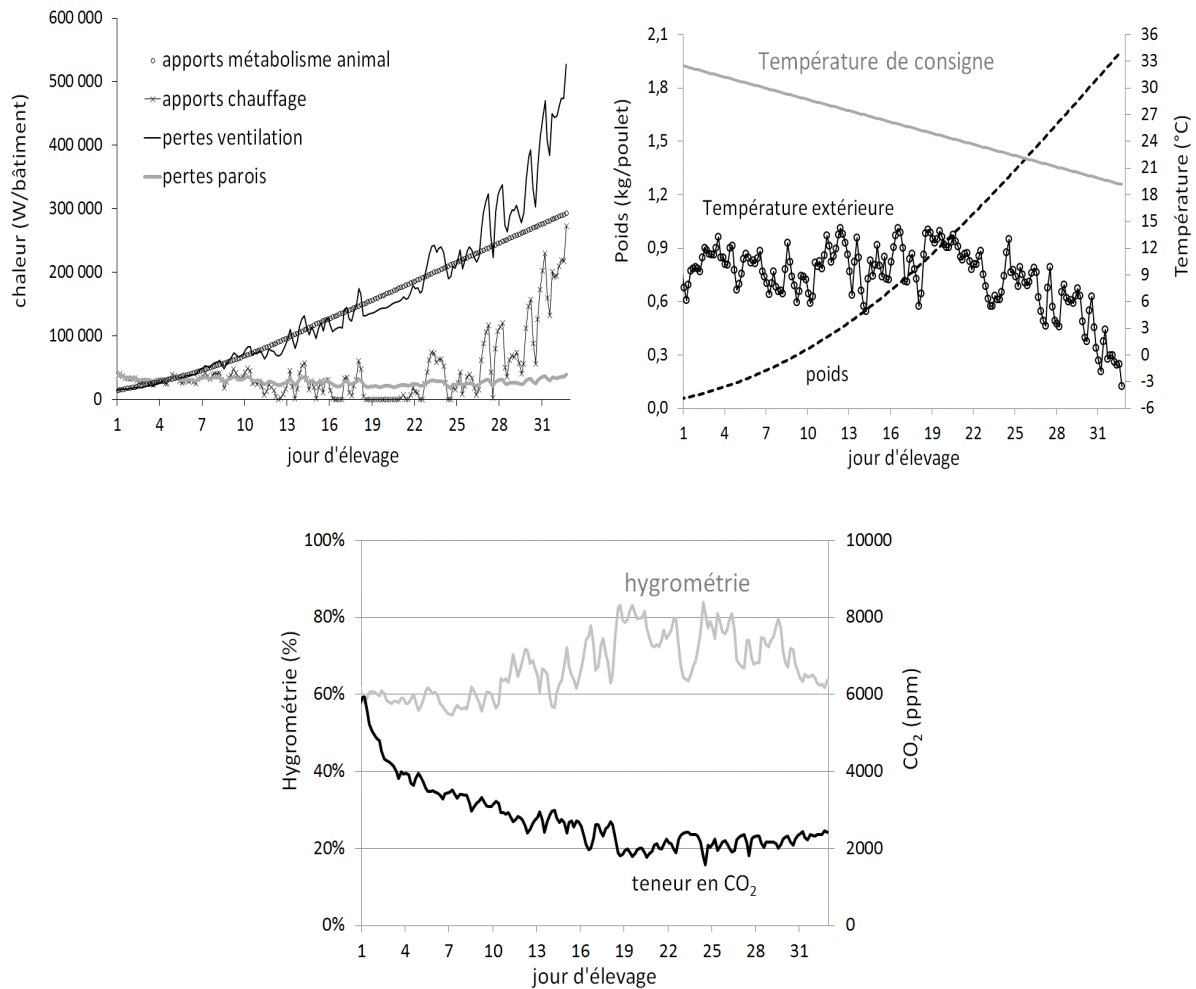


Figure 3. Concentrations en CO_2 en fonction du débit minimum au jour 5 (isolation «normale» [coefficient de transmission thermique $1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$] : lignes noires ; isolation renforcée [$0,5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$] : lignes grises ; températures «normales» : croix ; températures « faibles » (température normale $- 5^\circ\text{C}$) : carrés ; chauffage direct : trait plein ; chauffage indirect : tirets)

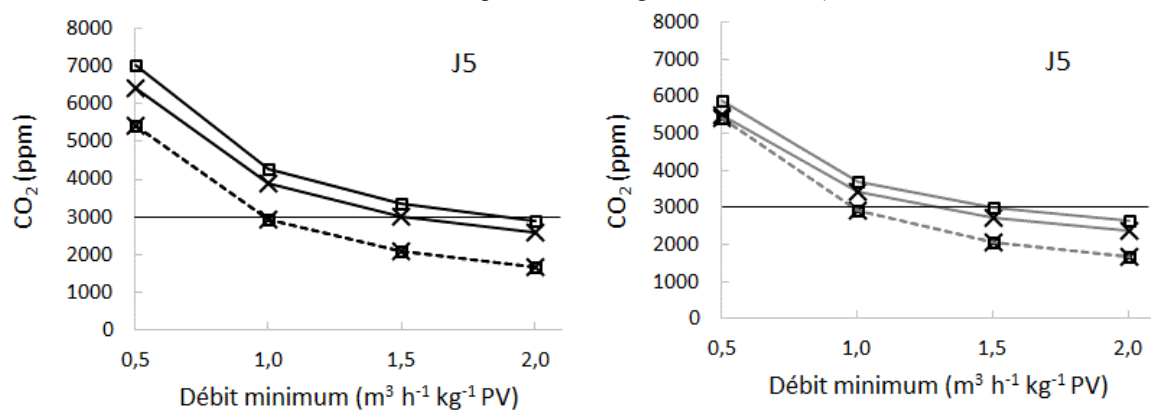


Figure 4. Concentrations en CO₂ en fonction du débit minimum au jour 33 (isolation «normale» [coefficient de transmission thermique 1 W.m⁻².K⁻¹] : lignes noires ; isolation renforcée [0,5 W.m⁻².K⁻¹] : lignes grises ; températures «normales» : croix ; températures « faibles » (température normale – 5°C) : carrés ; chauffage direct : trait plein ; chauffage indirect : tirets)

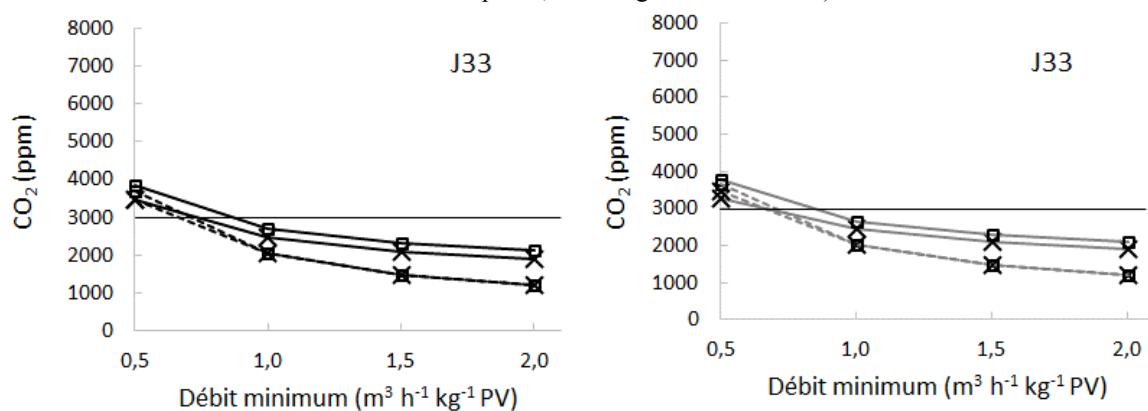


Figure 5. Consommation de gaz totale (isolation «normale» [coefficient de transmission thermique 1 W.m⁻².K⁻¹] : lignes noires ; isolation renforcée [0,5 W.m⁻².K⁻¹] : lignes grises ; températures «normales» : croix ; températures « faibles » (température normale – 5°C) : carrés ; chauffage direct : trait plein ; chauffage indirect : tirets)

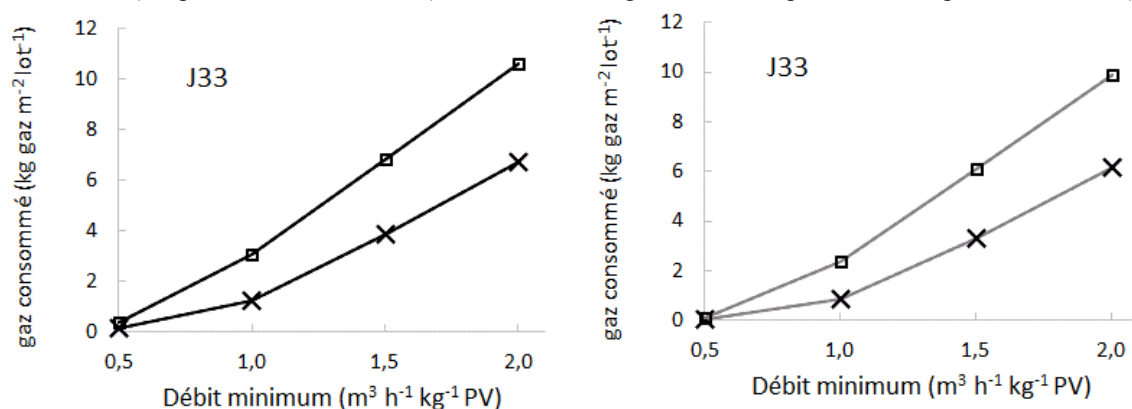
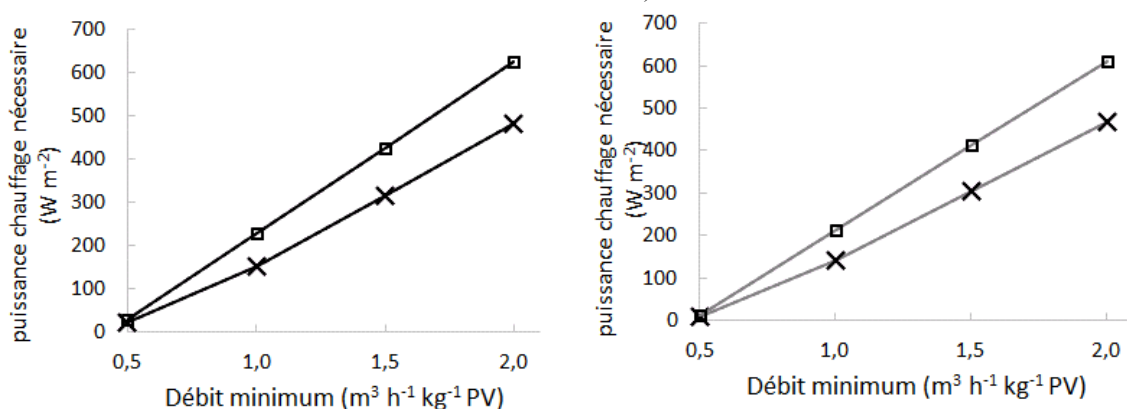


Figure 6. Puissance de chauffage nécessaire (isolation «normale» [coefficient de transmission thermique 1 W.m⁻².K⁻¹] : lignes noires ; isolation renforcée [0,5 W.m⁻².K⁻¹] : lignes grises ; températures «normales» : croix ; températures « faibles » (température normale – 5°C) : carrés ; chauffage direct : trait plein ; chauffage indirect : tirets)



SESSION
DURABILITE - ENVIRONNEMENT

Posters

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE TROIS SYSTEMES CONTRASTES DE PRODUCTION DE FOIE GRAS DE CANARD

**Chloé Deneufbourg¹, Julien Arroyo², Aurélie Wilfart³, Laura Farrant⁴, Joanna Litt⁵,
Laurence Fortun-Lamothe¹**

¹*GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, ENVT, 31326 Castanet-Tolosan, France*

²*ASSELDOR, La Tour de Glane, 24420 Coulaures, France*

³*INRA, UMR 1069 SAS, 35000 Rennes, France*

⁴*CTCPA, 2 allée Dominique Serres, 32000 Auch, France*

⁵*ITAVI-Palmipôle, Maison de l'Agriculture, Cité Galliane BP 279, 40005 Mont-de-Marsan
Laurence.Lamothe@inra.fr*

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'évaluer les impacts environnementaux potentiels de la production de foie gras de canard issus des systèmes de production standard (STD), Indication Géographique Protégée (IGP) et Label Rouge (LR). Des analyses de cycle de vie ont été réalisées à partir de cas-types pour les 3 systèmes de production (bibliographie, données expérimentales ou issues d'enquêtes pour les données primaires, bases de données INRA et Ecoinvent v2.2 pour les données secondaires) en utilisant la méthode de caractérisation CML2 v2.04 (logiciel SimaPro 8.1.0.60) selon une approche d'allocation économique pour 1 tonne de foie gras. Les résultats montrent que la production d'une tonne de foie gras de canard génère des impacts similaires (variations <10%) entre les trois systèmes de production pour le potentiel d'acidification (393 kg SO₂-ék. en moyenne), le potentiel d'eutrophisation (181 kg PO₄³⁻-ék.), le potentiel de changement climatique (20 893 kg CO₂-ék.), le potentiel d'écotoxicité terrestre (1 805 kg 1,4 DB-ék.), l'occupation de surfaces (32 993 m².an), la consommation d'énergie primaire (252 704, MJ) et la consommation de la ressource en eau (1 699 m³). Les étapes d'élevage et de gavage contribuent très majoritairement aux impacts environnementaux (entre 36 et 65% et entre 25 et 56%, respectivement) et l'alimentation est le poste d'émission majoritaire pour toutes les catégories d'impacts (> 50%) à l'exception du potentiel d'acidification où les déjections y contribuent à plus de 74%. Ce travail suggère que l'amélioration de l'efficacité alimentaire et la réduction du taux de mortalité durant les périodes d'élevage et de gavage ainsi que l'optimisation de la gestion des effluents sont des leviers d'actions notables pour réduire les impacts environnementaux de la production de foie gras de canard.

ABSTRACT

Environmental impacts of duck *foie gras* production in 3 contrasting systems

The aim of this work was to evaluate the potential environmental impacts of duck *foie gras* production from 3 contrasting systems: standard (STD), Protected Geographical Indication (IGP) and Label Rouge (LR). Life cycle assessment were performed for the 3 systems (bibliography, experimentation and survey for primary data, INRA and Ecoinvent v2.2 data bases for secondary data) thanks to CML2 v2.04 method (software SimaPro 8.1.0.60) and using an economic allocation method for 1 ton of *foie gras*. Results showed that the environmental impacts of duck *foie gras* production are similar (variations <10%) for the 3 production systems for potential acidification (393 kg SO₂-ék. on average), eutrophication (181 kg PO₄³⁻-ék.), climate change (20 893 kg CO₂-ék.), terrestrial ecotoxicity (1 805 kg 1,4 DB-ék.), land occupation (32 993 m².an), primary energy use (252 704, MJ.) and water consumption (1 699 m³). Rearing and overfeeding are the two periods which contributed mostly to the environmental impacts (from 36 to 65% and from 25 and 56%, respectively) and feeding is the input category that contributed the most to all impacts (> 50%) excepted for potential acidification where dejection contribute to more than 74%. This work shows that improvement of animal feed efficiency, reduction of animal mortality and optimization of manure management are interesting ways to reduce environmental impacts of duck *foie gras* production.

INTRODUCTION

Les productions animales sont questionnées sur leurs impacts environnementaux. En effet, plusieurs rapports ont montré la forte contribution de l'élevage aux problématiques environnementales telles que l'usage des terres, les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation de la ressource en eau et les pollutions de l'eau et des sols (Steinfeld *et al* 2006 ; FAO, 2013). Pour lutter contre ce problème, certains auteurs suggèrent des changements d'habitudes alimentaires afin de réduire les impacts environnementaux liés à la consommation, tel qu'acheter des produits locaux et/ou de saison, manger végétarien, ou réduire le gaspillage (Jungbluth *et al* 2012). La suppression des produits de luxe tels que le café ou l'alcool, en opposition avec les produits de première nécessité, est également une stratégie proposée (Jungbluth *et al* 2012). Le foie gras appartient à cette catégorie des produits de luxe. Il est donc important que la filière dispose d'éléments quantitatifs sur les voies de réduction des impacts environnementaux liés à la fabrication du produit. En effet, ce positionnement haut de gamme ne doit pas l'exempter de contribuer aux efforts qui sont demandés à toutes les filières de productions animales en matière de respect de l'environnement.

L'analyse des impacts environnementaux a été réalisée pour plusieurs filières d'élevage (de Vries et De Boer, 2010) dont celle du foie gras d'oie (Arroyo *et al.*, 2013). Toutefois, la production de foie gras d'oie est aujourd'hui devenue confidentielle au regard de la production de foie gras de canard (97% des palmipèdes gavés en France). Il est donc intéressant d'évaluer les impacts environnementaux de cette dernière.

En France, on distingue aujourd'hui 3 systèmes d'élevages qui se différencient par leur localisation, leur stratégie d'alimentation, leur mode et durée d'élevage ainsi que leurs performances techniques pendant la phase d'élevage et de gavage. Les systèmes de production standard sont majoritairement situés dans l'ouest de la France, tandis que les systèmes qui répondent aux cahiers des charges (LR et IGP) sont situés principalement dans le sud-ouest de la France.

Cette étude a pour objectifs i) d'évaluer les impacts environnementaux de la production de foie gras de canard, dans les 3 systèmes d'élevages représentatifs des systèmes dominants en France, à l'aide de l'outil d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) et ii) d'identifier les marges de progrès dans cette filière de production.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Définition des systèmes de production et données d'inventaire

Le système considéré concerne la production de 1 tonne de foie gras de canard mulard (unité fonctionnelle) depuis l'élevage des canes futures reproductrices jusqu'à l'obtention du foie gras cru à la sortie de l'abattoir, en incluant les phases de reproduction, d'accoupage, d'élevage, de gavage et d'abattage des animaux.

Les données d'inventaire proviennent de la bibliographie, de résultats expérimentaux ou d'enquêtes (données primaires, spécifiques à l'étude), ainsi que des bases de données Ecoinvent et INRA v2.2 (données secondaires ou génériques). Les données d'inventaire sont similaires dans les 3 systèmes pour les étapes de reproduction, accoupage et abattage. Les 3 systèmes se différencient par les pratiques et les performances zootechniques pendant les phases d'élevage et de gavage comme décrit dans le Tableau 1. Les émissions gazeuses liées aux déjections ont été calculées d'après Gac *et al.* (2006), IPCC (2006), IPCC (2007), en considérant 3 phases : les émissions par les animaux, le stockage et l'épandage aux champs. Les différences entre fumier (élevage) et lisier (gavage), et également la localisation des déjections pendant la phase d'élevage (bâtiment ou parcours) ont été prises en compte (Méda *et al.*, 2011).

1.2. Calcul des impacts environnementaux

Sept impacts environnementaux potentiels ont été calculés grâce à la réalisation d'une ACV attributionnelle: le potentiel d'acidification (PA, kg SO₂-éq.), le potentiel d'eutrophisation (PE, kg PO₄-éq.), le potentiel de changement climatique (PCC, kg CO₂-éq.), le potentiel d'écotoxicité terrestre (PET, kg 1,4 DB-éq.), l'occupation des surfaces (OS, m².an), la consommation d'énergie primaire (CEP, MJ.) et la consommation de la ressource en eau (CRE, m³). Les valeurs de ces catégories d'impacts ont été calculées à l'aide de la méthode de caractérisation CML2 v2.04 (Hishier et Weidema, 2009) grâce au logiciel SimaPro (version 8.1.0.60) en utilisant l'allocation économique pour la répartition des impacts entre les divers co-produits.

1.3. Analyse de sensibilité

Nous avons évalué la sensibilité des résultats en changeant pour le système IGP i) la méthode d'allocation (économique ou massique), ii) la répartition des déjections entre le bâtiment d'élevage et le parcours (50%-50% ; 20%-80% ; 100%-0%), iii) le taux de mortalité des animaux pendant les phases d'élevage et de gavage (2,5%-2,5% ; 5%-5% ; 12,5%-12,5%), iv) la consommation d'aliment pendant les phases d'élevage et de gavage (-10 % ; -5 % ; +5 % ; +10 %), la quantité d'eau de boisson ayant été ajustée en conséquence, pour un même poids de foie.

1.4. Identification des marges de progrès

Afin d'identifier les marges de progrès, nous avons évalué l'influence relative i) des différentes étapes du processus de production (élevage des reproducteurs, accoupage, ateliers d'élevage et de gavage et abattoir) et ii) de 5 postes d'émissions (alimentation, consommation directe d'eau, utilisation directe d'énergie, bâtiments, gestion des effluents) dans l'origine des impacts environnementaux.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

1.1. Les impacts environnementaux potentiels

Les impacts environnementaux potentiels de la production de foie gras de canard dans les 3 systèmes de production sont décrits dans le Tableau 2. Il ressort que les impacts environnementaux sont similaires dans les 3 systèmes de production (< 10 % d'écart) pour le potentiel d'acidification (PA, 393 kg SO₂-eq. en moyenne pour les 3 systèmes), le potentiel d'eutrophisation (PE, 181 kg PO₄³⁻-eq.), le potentiel de changement climatique (PCC, 20 893 kg CO₂-eq.), le potentiel d'écotoxicité terrestre (PET, 1 805 kg 1,4 DB-eq.), l'occupation des surfaces (OS, 32 993 m².an), la consommation d'énergie primaire (CEP, 252 704, MJ-eq.) et la consommation de la ressource en eau (CRE, 1 699 m³). Toutefois, le système LR génère des impacts légèrement plus élevés que les systèmes STD et IGP pour le PET (+9 et +8%, respectivement), l'OS (+9 et +8%) et la CRE (+7 et +7%) et légèrement plus faibles pour le PA (-6 et -7%). Ces différences, de faible amplitude, s'expliquent par des durées de production plus longues et des émissions gazeuses plus faibles en lien avec un temps de présence sur le parcours plus important dans le système LR.

Ces résultats sont plus faibles que ceux observés par Arroyo *et al.* (2013) pour la production de foie gras d'oie. Cela s'explique par le fait que les canards sont élevés moins longtemps (89-105 j vs 120-130 j) et présentent une meilleure efficacité alimentaire pendant les phases d'élevage et de gavage que celle des oies (+4% ; Guy *et al.*, 1995). D'autre part, deux coproduits principaux sont disponibles à l'issue du gavage : le foie gras et le magret de canard, qui ont chacun une bonne valorisation économique (14,5 et 8,5 €/kg de produit cru à la sortie de l'abattoir, respectivement, en système IGP). Cela n'est pas le cas chez l'oie pour laquelle la carcasse a une faible valeur économique. En conséquence, chez l'oie, les ressources nécessaires et donc les impacts sont essentiellement affectés au foie gras (80%, Arroyo *et al.*, 2013). Au contraire, chez le canard, ceux-ci sont répartis entre différents coproduits et le foie gras porte ainsi en moyenne 48% des impacts dans le cadre de l'allocation économique considérée.

1.2. La sensibilité des résultats

Méthode d'allocation. Le foie gras de canard est le produit ayant la plus forte valeur ajoutée dans un canard gras. Avec l'allocation économique, sa part relative est de 48% dans le système IGP. Par contre, avec l'allocation massique, sa part relative tombe à 10%. Par conséquent, en utilisant la méthode d'allocation massique, les impacts environnementaux générés par la production d'une tonne de foie gras de canard en système IGP sont divisés par 5 par rapport à la méthode de l'allocation économique.

Répartition des déjections. Le potentiel d'acidification est réduit de -14% lorsque le temps de présence des animaux dans le bâtiment est réduit à 20% alors qu'à l'inverse il augmente de +17% lorsque les animaux passent 100% de leur temps dans le bâtiment (vs 50%). Ceci est lié au facteur d'émission d'ammoniac en bâtiment et au fait que les déjections émises sur le parcours ne sont ni stockées, ni épandues. Les effets sur le PE sont plus modérés (-7 et +8%, respectivement) et nulle sur le PCC (-1 et -1%).

Taux de mortalité des animaux. Lorsque les taux de mortalité en élevage et en gavage sont multipliés par deux, les impacts environnementaux subissent une augmentation de 3% pour tous les impacts. Lorsqu'ils sont multipliés par cinq, l'augmentation varie entre 11% et 15%.

Consommation d'aliment. Les impacts environnementaux varient à l'image de la consommation des animaux pendant les phases d'élevage et de gavage : -2 à -9%, -1 à -4%, +1 à +4% et +2 à +9% pour une consommation qui varie de -10, -5, +5 ou +10%, respectivement. Les variations les plus notables sont observées pour PET, OS et CRE (ex : +9% d'impact pour +10% de consommation), et les variations les plus faibles pour PA, PE et CEP (ex : +2, +5 et +5% d'impacts pour +10% de consommation, respectivement).

1.3. Les marges de progrès

L'alimentation est le poste d'émission majoritaire pour toutes les catégories d'impacts (>50%) à l'exception du potentiel d'acidification (PA) où les déjections y contribuent pour 75% (Figure 1A). Celles-ci participent également à 35% du potentiel d'eutrophisation (PE) et, à une moindre échelle, au potentiel de changement climatique (PCC; 17%). De façon logique, c'est à la consommation d'énergie primaire (CEP) et la consommation de la ressource en eau (CRE) que les postes énergie et eau contribuent le plus, respectivement.

Les étapes d'élevage et de gavage contribuent très majoritairement aux impacts environnementaux. L'élevage représente 1/3 (CRE) à 2/3 (PA) des impacts et le gavage entre 1/4 (PA) à 1/2 (CRE ; Figure 1B) des impacts. Ainsi, ces deux étapes représentent moins de 20% de la durée du cycle de production mais sont à l'origine de 80% à 95% des

impacts environnementaux. Notons que pour l'ensemble des catégories d'impacts, les étapes de reproduction, d'accoupage et d'abattage contribuent, chacune, à moins de 10% des impacts. En conséquence, une réduction des impacts environnementaux de la production de foie gras de canard passe avant tout par i) l'efficacité du système via les stratégies d'alimentation (amélioration de l'efficacité alimentaire, choix des matières premières utilisées) et la réduction de la mortalité pendant les phases d'élevage et de gavage et ii) une meilleure gestion des déjections afin de limiter les émissions gazeuses. Par exemple, Arroyo *et al.* (2016, 2017) ont montré que l'utilisation du sorgho permet d'améliorer l'efficacité du système et réduire les impacts environnementaux de la production de foie gras de canard (-11% pour PCC et CEP et -56% pour CRE). Ces résultats sont expliqués par des besoins en eau plus faibles pour le sorgho que pour le maïs, mais également par des poids de foie plus élevés lors d'un gavage avec du sorgho.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arroyo J., Fortun-Lamothe L., Auvergne A., Dubois J.P., Lavigne F., Aubin J., 2013. J. Clean. Prod., (59), 51-62
- Arroyo, J. Dubois J.P., Lavigne, F., Brachet M., Fortun-Lamothe, L. 2016 Poultry Sci., (95), 1304-1311
- Arroyo, J. Dubois J.P., Lavigne, F., Brachet M., Fortun-Lamothe, 2017. JRA.
- FAO, 2013. retrieved from. <http://www.fao.org/3/i3437e.pdf>
- Gac, A., Béline, F., Bioteau, T., 2006. retrieved from. ftp://195.6.33.4/pub/dce/piaheco/NOPOLU-CR-2008-29%20octobre/Etude_ADEME_BDgaz2006.pdf.
- Guy G., Rousselot-Pailley D., Gourichon D., 1995. Ann. Zootech. (44), 297-305.
- Hischier, R., Weidema, B.P., 2009. Ecoinvent Report n3, St. Gallen, May
- Jolliet, O., Saadé, M., Crettaz, P., Shaked, S. 2010. Vol. 23. PPUR presses polytechniques, 2010.
- IPCC, 2006. In: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (edit.), Chapter 10, p. 87.
- IPCC, 2007. In: IPCC Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 52.
- Jungbluth N., Itten R., Schori, S. 2012. In : Corson, M.S., van der Werf, H.M.G (edit), 8th Int. Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 1-4 October 2012, Saint-Malo, France, 104-115.
- Meda, B., Hassouna, M., Aubert, C., Robin, P., Dourmad, J.Y., 2011. World's Poultry Sci. J. (67), 441-455.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C., 2006. In: Livestock's Long Shadow, FAO (edit), Rome, 408 pp.
- de Vries M., de Boer I.J.M., 2010. Livestock Sci., (128), 1-11.

CONCLUSION

Ce travail d'évaluation environnementale des 3 systèmes de production de foie gras de canards dominants en France donne des éléments quantitatifs à la filière pour s'engager, comme les autres secteurs de l'élevage, dans une démarche de progrès. Il convient maintenant de proposer et évaluer des innovations techniques qui permettront de conjuguer les performances économiques, environnementales et sociales de ce système de production singulier dans le paysage des productions animales.

REMERCIEMENTS

Ce travail a reçu le soutien du fond CASDAR n°5328 ECOFOG (2014-2016). Les données concernant l'étape d'abattage ont été obtenues dans le cadre du projet ANR ACYDU.

Tableau 1. Principales caractéristiques des 3 systèmes de production de foie gras de canard étudiés

	Système de production ^a		
	STD	IGP	LR
Durée de la phase d'élevage (j)	80	83	92
Densité en bâtiment (anim./m ²) et [sur parcours (m ² /anim.)]	5 [1]	7,5 [3]	7,5 [5]
Conso. d'aliment pendant la phase d'élevage (kg/animal)	15,5	16,1	19,3
Mortalité pendant la phase d'élevage (%)	2,1	2,5	3,0
Répartition des déjections dans et hors bâtiment (%)	50-50	50-50	20-80
Durée de la phase de gavage (j) [et densité (anim./m ²)]	9 [0,12]	10,5 [0,12]	13 [0,13]
Conso. d'aliment sec pendant le gavage (kg/animal)	8,7	9,0	9,5
Mortalité pendant la phase de gavage (%)	3,2	2,5	1,5
Age à l'abattage (j)	89	93,5	105
Poids vif à l'abattage (kg)	5,5	5,7	5,9
Poids du foie gras (g)	538	546	548
Prix du foie gras (€/kg)	12,9	14,5	16,2

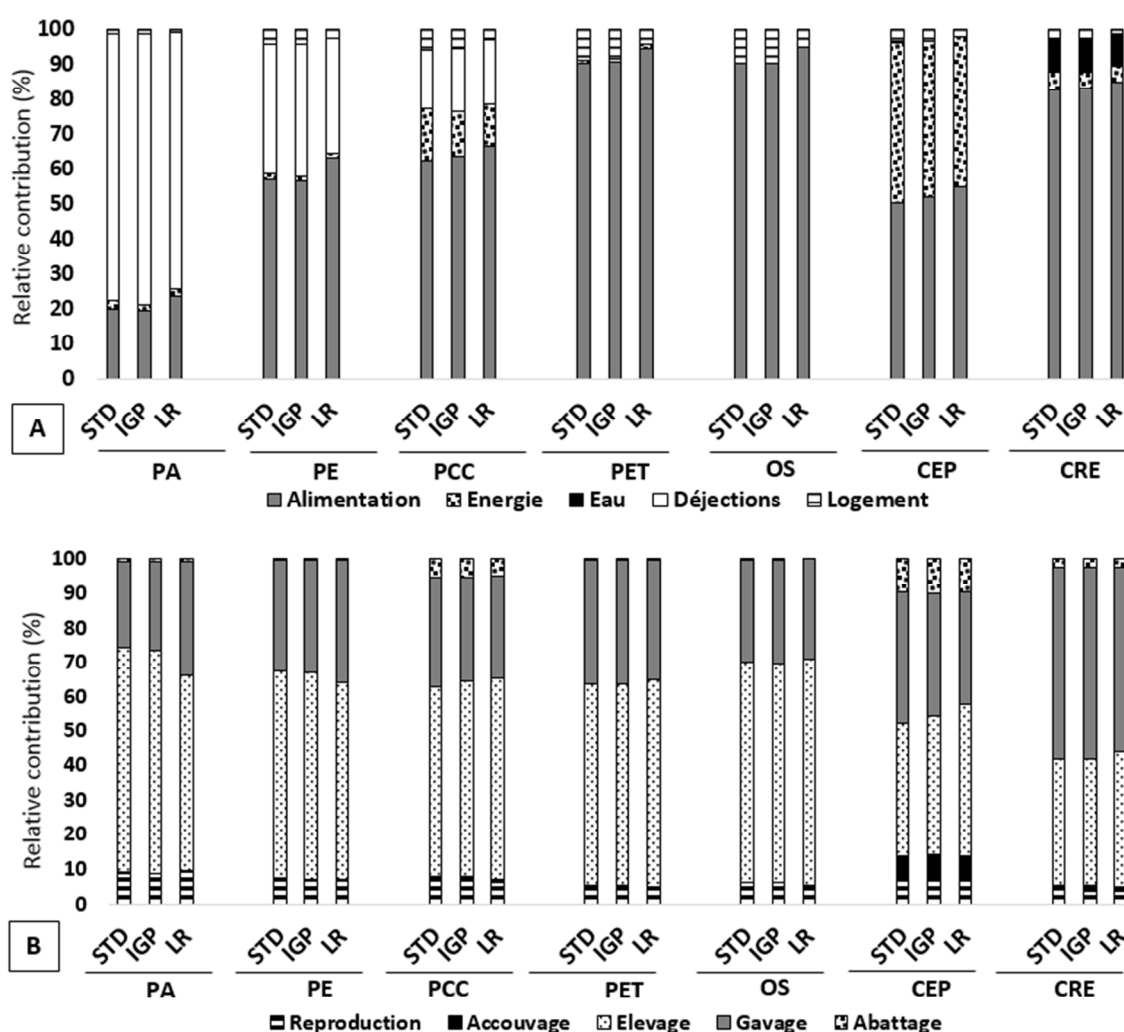
^aSTD : système de production standard, IGP : système de production répondant au cahier des charges Indication géographique protégée ; LR : système de production répondant au cahier des charges Label rouge

Tableau 2. Impacts environnementaux potentiels pour la production de 1t de foie gras de canard issus de 3 systèmes de production

	Système de production		
	STD	IGP	LR
Potentiel d'acidification (kg SO ₂ -eq.)	398	405	376
Potentiel d'eutrophication (kg PO ₄ ³⁻ -eq.)	179	181	182
Potentiel de changement climatique (kg CO ₂ -eq.)	20 736	20 264	21 679
Potentielle d'écotoxicité terrestre (kg 1,4-DB-eq)	1 751	1 764	1 901
Occupation des surfaces (m ² .an)	31 958	32 220	34 800
Consommation d'énergie primaire (MJ)	258 802	246 115	253 195
Consommation de la ressource en eau (m ³)	1 655	1 663	1 779

^aSTD : système de production standard, IGP : système de production répondant au cahier des charges Indication géographique protégée ; LR : système de production répondant au cahier des charges Label rouge

Figure 1. Contribution (%) des différentes catégories d'intrants pour l'ensemble du système étudié (A) et des différentes étapes de productions (B) aux impacts environnementaux de la production d'1 t de foie gras de canard issu des systèmes de production standard (STD), IGP ou Label Rouge (LR).



PA : potentiel d'acidification, PE : potentiel d'eutrophication, PCC : potentiel de changement climatique, PET : potentiel d'écotoxicité terrestre, OS : occupation des surfaces, CEP : consommation d'énergie primaire, CRE : consommation de la ressource en eau

INFLUENCE DES PALMIPÈDES SUR LA CROISSANCE DES CHÊNES TRUFFIERS : BILAN APRES 5 ANNEES D'IMPLANTATION DES ARBRES SUR PARCOURS

Bijja Mohamed¹, Lavigne Franck¹, Rejou Patrick², Arroyo Julien¹

¹ASSELDOR, La Tour de Glane, 24420 COULAURES

²URTA, La Tour de Glane, 24420 COULAURES

m.bijja@gmail.com

RÉSUMÉ

L'agroforesterie renvoie une image positive en matière de bien-être des animaux en association avec le terroir et ses produits. En effet, le système associant les palmipèdes à la production de noix AOC Périgord a montré son intérêt aussi bien sur l'apport d'ombre en été pour les oies, qu'avec l'amélioration de la vitesse de pousse et de production en fruits des arbres liées à la valorisation des déjections des oies par les noyers. Ce nouvel essai avait pour intérêt d'étendre les essais à une production peu étudiée dans cette configuration : la production de truffes noires. En effet, le sud de la France possède de nombreuses truffières (2 000 ha plantées ces 20 dernières années en Dordogne, Lot, Lot et Garonne et autres départements d'Aquitaine et de Midi Pyrénées) qui, dans un système agroforestier, pourraient permettre d'utiliser au maximum l'espace disponible par les palmipèdes tout en apportant aux arbres les éléments nutritifs permettant un meilleur développement racinaire précoce qui est l'élément clef de la production de champignons. L'essai a porté sur la réalisation en 2011 de 2 parcours de 0,48 ha possédant 83 chênes truffiers (chênes verts et pubescents mycorhizés INRA) chacun. Le dispositif expérimental est composé d'un parcours témoin sans palmipèdes et d'un avec palmipèdes. Il a été mesuré l'impact que peut générer cette association " palmipèdes - chênes truffiers " en termes de croissance des arbres et de production de truffes à moyen-long terme. Des mesures de la composition du sol sur parcours ont été réalisées afin de voir l'effet de la présence de palmipèdes sur un tel parcours. Entre la première et la cinquième année, la croissance des chênes truffiers était supérieure (respectivement + 16% et + 39%, $P < 0,001$) sur le parcours avec animaux par rapport à un témoin sans animaux. La composition chimique du sol présentait une certaine stabilité entre le parcours témoin et le parcours avec animaux avec des rapports C/N compris entre 12 et 9. A ce stade de l'étude, aucun champignon n'a été trouvé ce qui est normal vu l'âge de production moyen de 7 ans. Cependant à la vue des résultats, on peut supposer que la croissance des arbres favorisée par la présence des palmipèdes, sans déséquilibre agronomique du sol, entraînera très rapidement une production de truffes grâce à l'optimisation précoce du développement racinaire des chênes.

ABSTRACT

Influence of palmipeds on the growth of truffle oaks: assessment after 5 years of tree plantations on courses

Agroforestry refers to a positive image of animal welfare in association with the terroir and its products. Indeed, the system associating the palmipeds with the production of walnuts AOC Périgord showed its interest both on the shade in the summer for the geese, and with the improvement of the speed of shoot and fruit production of the trees linked to the valorization of geese droppings by walnut trees. This new experiment had the advantage of extending the tests to a little studied production in this configuration: the production of black truffles. Indeed, in the south of France, there are many truffles (2 000 ha planted in the Dordogne, Lot, Lot et Garonne and other departments of Aquitaine and Midi Pyrenees in the past 20 years) which, in an agroforestry system, could allow the use as much as possible the space available by palmipeds while providing the trees with the nutrients allowing a better early root development which is the key element of the production of mushrooms. The trial involved the realization in 2011 of 2 courses of 0.48 ha with 83 truffle oaks (holm oaks and mycorrhizal INRA) each. The experimental setup consists of a control course without palmipeds and one with palmipeds. The impact of this association "palmipeds - truffle oaks" in terms of tree growth and truffle production in the medium to long term has been measured. Measurements of the composition of the soil have been made in order to see the effect of the presence of palmipeds on such a course. Between the first and fifth years, truffle oak growth was higher (+ 16% and + 39%, $P < 0.001$) on the animal courses compared to a non-animal control. The chemical composition of the soil showed some stability between the control route and the animal route with C / N ratios between 12 and 9. At this stage of the study, no mushroom was found which is normal because the average production age is 7 years. However, in view of the results, it can be assumed that the growth of trees favored by the presence of the palmipeds, without agronomic imbalance of the soil, will lead very quickly to a production of truffles thanks to the early optimization of the root development of the oaks.

INTRODUCTION

L'agroforesterie renvoie une image positive en matière de bien-être des animaux en association avec le terroir et ses produits. En effet, le système associant les palmipèdes à la production de noix AOC Périgord a montré son intérêt aussi bien sur l'apport d'ombre en été pour les oies, qu'avec l'amélioration de la vitesse de pousse et de production en fruits des arbres liées à la valorisation des déjections des oies par les noyers (Bijja et al., 2010). Ceci est en accord avec d'autres observations montrant également que l'enracinement des noyers agroforestiers est plus profond (Liagre, 2008). En outre, du point de vue du bien-être des animaux, des mesures comportementales réalisées sur les oies en période estivale ont permis de quantifier l'attrait des animaux pour l'ombrage en période de pleine chaleur. Cela sera possible à terme ici et mesurable, lorsque les arbres seront en capacité de fournir de l'ombre (dans environ 4-5 ans). Ces pratiques correspondent à l'agroforesterie comme elle a été définie selon le Centre National de Recherche en Agroforesterie l'ICRAF (International Center for Research in Agroforestry, Kenya).

Ce nouvel essai avait pour intérêt d'étendre les études à une production peu étudiée dans cette configuration : la production de truffes noires. En effet, le sud de la France possède de nombreuses truffières (2 000 ha plantées ces 20 dernières années en Dordogne, Lot, Lot et Garonne et autres départements d'Aquitaine et de Midi Pyrénées) qui, dans un système agroforestier, pourraient permettre d'utiliser au maximum l'espace disponible par les palmipèdes tout en apportant aux arbres les éléments nutritifs permettant un meilleur développement racinaire précoce qui est l'élément clef de la production de champignons.

1. MATERIELS ET METHODES

L'essai a porté sur la réalisation en 2011 de 2 parcours de 0,48 ha possédant 83 chênes truffiers (chênes verts et pubescents mycorhizés INRA) chacun. Le dispositif expérimental est composé d'un parcours témoin sans palmipèdes et d'un avec palmipèdes (300 canards). La répartition est de 36 chênes pubescents, de 14 chênes verts sur la zone témoin sans animaux et de 16 chênes pubescents et de 17 chênes verts sur la zone avec animaux.

Performances de la truffière

→ Circonférences des arbres

Ces mesures ont été réalisées sur tous les arbres dès la réception des plants en 2011. Le contrôle de la circonférence des noyers a été fait à l'aide d'un pied à

coulisse digital en un point de mesure : au niveau de collets de chaque arbre en prenant soin de bien dégager la base en évitant les rejets.

→ Analyses de sol

Les carottages (8 carottages par prélèvement) de terre (14 zones de prélèvement) ont été réalisés entre les arbres d'une même rangée et à égale distance aussi bien pour la zone avec animaux que pour la zone témoin sans animaux. Les prélèvements sont réalisés aux mêmes endroits et à la même époque chaque année (Novembre/Décembre).

→ Récolte des truffes

Le passage d'un chien truffier a été fait durant l'hiver de la 4^{ème} et 5^{ème} année.

→ Analyses statistiques

Les données expérimentales ont été analysées à l'aide du logiciel IBM SPSS®. L'analyse de variance (Procédure GLM) a été complétée par une comparaison multiple des moyennes au moyen du test de Bonferroni (seuil $p=0,05$).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

→ Circonférence des arbres

Au moment de la plantation en avril 2011, les arbres de la zone parcours témoin et du parcours avec animaux possèdent les mêmes caractéristiques initiales (Tableau 1). Au bout de 9 mois de mis en terre, on commence à observer des différences significatives entre la zone témoin et la zone avec animaux. Les 2 essences testées de la zone avec animaux commencent à montrer des croissances supérieures à celles de la zone témoin. De décembre 2013 à décembre 2015 la croissance des arbres de la zone avec animaux est accrue par rapport aux arbres de la zone témoin. Les chênes verts de la zone avec animaux ont des croissances soutenues et supérieures aux chênes verts de la zone témoin. On note également les mêmes cas de figure concernant les chênes pubescents. Ces résultats, montrant que des arbres plantés dans des parcours fréquentés par des palmipèdes ont de meilleures croissances que des arbres conduits conventionnellement, sont en accord avec les observations réalisées en essai sur noyers (Bijja et al., 2010). Les seuls apports en amendements issus des déjections animales suffisent à générer des gains de croissance sur les chênes truffiers.

→ Analyses de sol

- Etat humique du sol
- Matière organique

La présence des animaux génère des quantités supplémentaires et croissantes de matières organiques comparativement à la zone témoin qui présente des quantités de matières organiques disponibles constantes sur 5 ans (Tableau 2). La matière organique du témoin reste stable dans le temps (75,9 g.kg⁻¹ en 2011 vs 72 g.kg⁻¹) comparativement à celle du témoin qui augmente constamment (76,6 g.kg⁻¹ en 2011 vs 90 g.kg⁻¹ en 2015). Les cinétiques observées sont proches des seuils observés sur des parcours en palmipèdes sous noyer (Bijja et al., 2010).

- Azote total

Les quantités d'azote observées sur la partie témoin sont légèrement inférieures au parcours avec animaux (Tableau 3). Ces concentrations élevées sont principalement liées aux déjections des animaux. On observe une certaine stabilité des taux d'azote dans le temps pour les deux zones. Les taux pour la zone témoin passent de 3,3 g.kg⁻¹ en 2011 pour atteindre 3,1 g.kg⁻¹ en 2015 vs 3,5 g.kg⁻¹ en 2011 pour finir à 3,8 g.kg⁻¹ en 2015 pour la zone avec animaux. Cette stabilité est en partie liée aux exportations. Ces exportations se font d'une part par les chênes (feuilles, bois) et d'autre part par le couvert végétal associé (couvert herbeux de graminées). A ce stade des observations et d'après les niveaux d'azote observés on peut émettre l'hypothèse que la constitution physico-chimique de ce sol argilo-calcaire évite un certain lessivage de la fraction azotée. L'azote total ne fournit cependant aucun renseignement sur l'azote minéral disponible pour le végétal. Il s'interprète essentiellement au travers du rapport C/N (carbone organique/azote total).

- C/N

Les rapports C/N des différentes zones du parcours s'échelonnent sur 5 ans de 12 à 13,5 au maximum (Tableau 4), sans différence notable entre les zones. Ils traduisent un bon degré d'évolution de la matière organique, une bonne activité biologique et une bonne minéralisation des éléments. Des valeurs de C/N comprises entre 9 et 13 sont optimales (Prunet, 2008). Par conséquent le sol présente une bonne biodisponibilité des éléments pour les végétaux, expliquant en partie les bonnes performances de la truffière.

- Eléments majeurs assimilables

- P₂O₅

Les quantités de phosphore mesurées sous forme d'acide phosphorique sont élevées sur le parcours avec animaux et se situent au-dessus des seuils d'exigence culturaux normalement observés (Tableau

5). Les concentrations observées sur la période sont croissantes jusqu'en 2014 pour la zone fréquentée par les palmipèdes. Le témoin présente des taux constants et faibles. Les seuils agronomiques du phosphore en sol argilo-calcaire (méthode Joret-Hébert) sont de 0,055–0,060 g.kg⁻¹ de sol pour de faibles teneurs et de 0,110–0,130 g.kg⁻¹ pour de fortes teneurs (Antoni, 2009). Les taux de phosphore sur le parcours avec animaux ne diminuent pas car le chêne possède une faible capacité d'exportation du phosphore (Loussert *et al.*, 1977). Ces tendances à la hausse des taux de phosphore peuvent être également corrélées avec la nature du sol argilo-calcaire peu sensible au lessivage.

- K₂O

Les concentrations en potassium sont supérieures pour le parcours avec animaux qui voit ses taux augmenter avec une tendance à la stabilisation (Tableau 6), alors que le témoin présente des quantités moyennes globalement stables dans le temps (0,36 g.kg⁻¹ pour le témoin vs 0,56 g.kg⁻¹ pour le parcours avec animaux). Ces résultats tendent à montrer que les zones possédant un couvert végétal maintiennent une concentration stable en potasse liée aux exportations et à la nature du sol très faiblement lessivable. Les sols des deux zones présentent des seuils élevés de potassium pour ne nécessiter aucun apport.

- MgO

Les concentrations en magnésium de chaque zone varient peu. Ces légères variations sont liées au fait que les exportations en magnésium sont faibles. Les teneurs stables sont aussi liées à la nature peu lessivable du sol. Avec des seuils moyens de magnésium sur la période compris entre 0,14 g.kg⁻¹ et 0,18 g.kg⁻¹ de terre, le sol ne présente pas de carence.

- Statut acido-basique

Le pH moyen mesuré sur 5 ans sur les deux parcours est de 7,9 ce qui est caractéristique des sols bruns calcaires argilo-limoneux (Grosjean *et al.*, 1982). Les mesures de la C.E.C. (capacité d'échange en cations, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺) sont globalement élevées et supérieures à 19 cmol+.kg⁻¹. La C.E.C mesurée se situe entre 15 et 25 cmol+.kg⁻¹ ce qui est une caractéristique des sols à dominante limono-argileuse qui traduit par conséquent des échanges de cations peu faciles. Ces valeurs traduisent un fort potentiel de fixation des éléments échangeables sur le complexe argilo-humique du sol et une forte réserve en éléments liée à la quantité importante de la matière organique (Le Clech, 2000).

CONCLUSION

A ce stade de l'étude, aucun champignon n'a été trouvé ce qui est normal vu l'âge de production moyen de 7 ans. Cependant à la vue des résultats, on peut supposer que la croissance des arbres favorisée par la présence des palmipèdes, sans déséquilibre agronomique du sol, entrainera très rapidement une production de truffes grâce à l'optimisation précoce du développement racinaire des chênes.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des financeurs (fonds CASDAR, FEDER, FEADER, CIFOG, Conseil Régional d'Aquitaine et Conseil départemental de la Dordogne) ayant soutenu cette étude issue du programme de recherche appliquée et de démonstration sur les palmipèdes et leur environnement du G.I.S. PALMIPOLE (INRA-ITAVI-CEPSO-ASSELDOR) ainsi que l'ensemble du personnel de la Ferme de l'oie et du canard pour la réalisation de cette étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Antoni V., 2009. Le phosphore dans les sols : nécessité agronomique, préoccupation environnementale. Le Point sur (Commissariat Général au Développement Durable) N°14, 4p. Juin 2014
<http://prodinra.inra.fr/record/26376>
2. Belsky AJ, Mwonga SM, Amundson RG, Duxbury JM, Riha SJ, Ali AR, Ali AR. 1993 "Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high and low-rainfall savannas". Journal of Applied Ecology, vol 30, p143- 155.
3. Bijja M., Dubois J.P., Guérin J. L., Lavigne F., Auvergne A., Arroyo J., Fernandez X., 2010. Palmipèdes et agroforesterie : performances du verger et évolution de la teneur du sol en éléments fertilisants après 4 années de pratique, 9èmes Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, Bordeaux, France. Octobre 2010
4. Le Clech B., 2000. Environnement et agriculture (2° Ed.), Ed. Synthèse Agricole.
5. Liagre F., Dupraz C. 2008. "Agroforesterie : Des arbres et des cultures", Edition France Agricole, 2008.
6. Loussert R., Brousse G. 1977. "L'olivier", Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, 24^e année, bulletin n°4, Octobre-décembre 1977. p. 347.
7. Ministère de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Pêche, 2010. "Agroforesterie : ensemble des règles actuelles qui concernent l'agroforesterie pour faciliter la mise en œuvre de tels systèmes- présentation de la nouvelle mesure 222 du PDRH et modalités de mise en œuvre" (circulaire GGPAAT/SDBE/SDBF/C2010-3035 du 6 avril 2010).
8. Nair R., 1993. "An Introduction to Agroforestry", University of Florida, Kluwer Academic Publishers (in cooperation with ICRAF), 496 p., 0-7923 – 2135-9x.
9. Prunet JP., 2008. Fiche technique noix n°16, Amendement & Fertilisation du noyer. Station expérimentale de Creysse BP18 46600 Creysse. Avril 2008.

Tableau 1. Evolution de la circonférence moyenne des essences de chênes truffiers en fonction des parcours

Circonférences moyennes (cm)	Témoin		Parcours		P-value		
	Chêne Pubescent	Chêne Vert	Chêne Pubescent	Chêne Vert	Parcours	Espèce	Parcours x Espèce
Avril 2011	4,6 a	5,2 a	4,9 a	5,0 a	NS	NS	NS
Décembre 2011	7,1 b	7,6 b	8,22 a	9,15 a	**	*	NS
Décembre 2012	8,56 d	11,8 c	13,0 b	15,5 a	***	***	NS
Décembre 2013	10,9 d	16,6 c	18,4 b	22 a	***	***	NS
Décembre 2014	11,4 d	25,6 b	22,1 c	33,4 a	***	***	NS
Décembre 2015	20,1 d	37,8 b	34,6 c	47,38 a	***	***	NS

Niveau de signification : ***, P<0,001 ; **, P<0,01 ; *, P< 0,05 ; NS, p>0,05. Sur une même ligne les moyennes affectées du même indice ne diffèrent pas entre elles.

Tableau 2. Matières organiques du sol

Matière organique moyennes (g.kg ⁻¹ de terre)	2011	2012	2013	2014	2015
Témoin	75,9	72,9	77,2	75	72
Parcours	76,6	82,7	85	97	90

Tableau 3. Azote total présent dans le sol

Azote total moyen (g.kg ⁻¹ de terre)	2011	2012	2013	2014	2015
Témoin	3,3	3,1	3,4	2,4	3,1
Parcours	3,5	4	3,4	4,8	3,8

Tableau 4. Minéralisation de la matière organique

C/N moyen	2011	2012	2013	2014	2015
Témoin	13,4	12,0	13,2	13,5	12,8
Parcours	12,7	12,1	13,5	11,8	12,1

Tableau 5. Le phosphore disponible

P ₂ O ₅ (g.kg ⁻¹ de terre)	2011	2012	2013	2014	2015
Témoin	0,02	0,08	0,05	0,11	0,09
Parcours	0,05	0,17	0,31	0,50	0,47

Tableau 6. Concentrations potassiques

K ₂ O (g.kg ⁻¹ de terre)	2011	2012	2013	2014	2015
Témoin	0,39	0,3	0,40	0,3	0,4
Parcours	0,46	0,6	0,70	0,42	0,65

Tableau 7. Concentrations en magnésium

MgO (g.kg ⁻¹ de terre)	2011	2012	2013	2014	2015
Témoin	0,10	0,11	0,15	0,17	0,16
Parcours	0,12	0,18	0,19	0,22	0,21

INFLUENCE DU MODE DE CONDUITE D'ELEVAGE DES CANARDS MULARDS SUR LA FERTILITE DES SOLS ET DES POPULATIONS DE LOMBRICIENS

Bijja Mohamed, Lavigne Franck, Mondoux Cédric, Arroyo Julien

ASSELDOR, La Tour de Glane, 24420 COULAURES

m.bijja@gmail.com

RÉSUMÉ

Les palmipèdes en élevage rejettent entre 60 et 87 g d'azote et entre 26 et 41 g de phosphore total sur les parcours. L'effet protecteur du couvert végétal est important en période hivernale car, bien que la minéralisation de la matière organique et le développement de la végétation soient ralentis, il permet de favoriser les mobilisations des éléments minéraux au printemps en fin de période végétative, limitant lessivage et ruissellement des particules. En pratique, un couvert herbacé présente des limites liées à la pression exercée par les palmipèdes. Pour évaluer les rejets et l'impact environnemental, une comparaison des pratiques d'élevage courantes semble être intéressante. Pour cela, en hiver, 800 canetons mulards ont été répartis en 2 modalités (4 répétitions/modalité) : soit les animaux étaient dans le bâtiment la nuit et avaient accès au parcours la journée avec l'abreuvement et l'alimentation à l'intérieur du bâtiment (modalité INT) ; soit les animaux n'avaient plus accès au bâtiment dès 28 jours et avaient l'alimentation et l'abreuvement à l'extérieur (modalité EXT). Chaque groupe d'animaux a eu accès à un parcours herbeux de 0.3 ha. Des prélèvements de sol en fonction des zones de fréquentation (forte fréquentation à proximité du bâtiment et faible fréquentation en fond de parcours) ont été effectués dès le début d'accès des animaux au parcours, à la fin de la période d'élevage et deux mois après celle-ci ainsi que sur les litières. Les lombriciens ont fait l'objet de comptages en fin de bande en fonction des zones de fréquentation. Les premiers résultats montrent une forte présence de lombriciens à proximité immédiate des bâtiments (85/m² à proximité du bâtiment, 64/m² en milieu de parcours et 44/m² en fond de parcours) liée à une quantité de déjection plus importante sur cette zone. Les rapports C/N entre 9,6 et 12,1 indiquent une bonne minéralisation des éléments du sol. Les taux de phosphore des deux conduites sont en moyenne supérieures au témoin (0,94 g/kg vs 0,61 g/kg). Ces tendances à la hausse des taux de phosphore sont corrélées avec la nature du sol argilo-calcaire peu sensible au lessivage. Concernant les litières, la conduite extérieure montre des taux de phosphore inférieurs à la conduite intérieure (0,24 % vs 0,73 %) en lien avec le mode d'élevage. Les deux conduites ne génèrent pas de grandes différences en matière d'impacts sur l'environnement.

ABSTRACT

Influence of the mode of rearing conduct of mule ducks on the fertility of lands and lombrican populations

Reared palmipeds release between 60 and 87 g of nitrogen and between 26 and 41 g of total phosphorus on the courses. The protective effect of vegetation cover is important in winter because, although the mineralization of organic matter and the development of vegetation are slowed down, it facilitates the mobilization of mineral elements in spring at the end of the vegetative period, limiting leaching and runoff of the particles. In practice, an herbaceous cover has limits related to the pressure exerted by the palmipeds. To assess discards and environmental impact, a comparison of current livestock practices appears to be of interest. For this purpose, in winter, 800 mule ducklings were divided into 2 modalities (4 repetitions / modality): Either the animals were closed in the building at night and had access to the course during the day with watering and feeding inside the building (INT); Or the animals no longer had access to the building at 28 days of age and had food and water access outside (EXT modality). Each group of animals had access to a grassy course of 0.3 ha. Soil sampling according to the areas of use (high frequentation near the building and low frequentation at the bottom of the course) were carried out from the beginning of the course access of the animals, at the end of the rearing period and two months after.. Litter samplings were also carried out. Earthworms were counted at the end of the band according to the frequentation degree areas. The first results show a strong presence of lumbermen in the immediate vicinity of the buildings (85 / m² near the building, 64 / m² in the middle and 44 / m² at the bottom of the course) linked to a greater amount of dejection on this area. C / N ratios between 9.6 and 12.1 indicate good mineralization of soil elements. The phosphorus levels of the two lines are on average higher than the control (0.94 g / kg vs 0.61 g / kg). These upward trends in phosphorus levels are correlated with the clayey-limestone soil nature, which is not sensitive to leaching. Regarding litter, external rearing shows phosphorus levels lower than the interior one (0.24% vs. 0.73%). The two mangement systems do not generate significant differences in environmental impacts.

INTRODUCTION

Les palmipèdes à foie gras rejettent au cours de leur vie entre 60 et 87 g d'azote et entre 26 et 41 g de phosphore total sur les parcours (perte d'azote par volatilisation déduite), selon le mode de conduite (alimentation intérieure vs extérieure). Ce sont donc 300 à 450 kg/ha d'azote et 130 à 210 kg/ha de phosphore qui sont potentiellement émis chaque année sur les parcours par les animaux (ITAVI, 2013).

L'effet protecteur du couvert végétal est important en période hivernale car, bien que la minéralisation de la matière organique et le développement de la végétation soient ralentis, il permet de favoriser les mobilisations des éléments minéraux au printemps en fin de période végétative, limitant lessivage et ruissellement des particules. En pratique, un couvert herbacé présente des limites liées à la pression exercée par les palmipèdes (Litt, 2010).

Pour évaluer les rejets et l'impact environnemental, une comparaison des pratiques d'élevage courantes semble être intéressante.

1. MATERIELS ET METHODES

• Dispositif expérimental

A l'hiver 2015, 800 canetons mulards ont été répartis en 2 modalités (4 répétitions/modalité) :

- animaux dans un bâtiment expérimental de 300 m² et accès au parcours la journée avec l'abreuvement et l'alimentation à l'intérieur du bâtiment (modalité INT) ;
- animaux sans accès au bâtiment à partir de 28 jours et l'alimentation et l'abreuvement à l'extérieur (modalité EXT).

Chaque groupe d'animaux a eu accès à un parcours herbeux de 0.3 ha.

- Une zone témoin sur parcours sans animaux.

• Mesures expérimentales

→ Comptage des lombrics

Les lombriciens ont fait l'objet de prélèvements et de comptages en fin de bande, en fonction des zones de fréquentation, selon le protocole défini par l'UMR EcoBio Université de Rennes 1 / Station Biologique de Paimpont.

→ Prélèvement de sol

Des prélèvements de sol en fonction des zones de fréquentation (forte fréquentation à 30 m à proximité du bâtiment et faible fréquentation en fond de parcours) ont été effectués dès le début d'accès des animaux au parcours (01/01/15), à la fin de la période d'élevage et 2 mois après celle-ci, ainsi que sur les litières. Les prélèvements de sol ont été réalisés à l'aide d'une tarière simple.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

→ Analyse des lombriciens

Le comptage des lombriciens révèle la présence essentiellement des anéciques qui forment 87% pour la conduite intérieure et 91% pour la conduite extérieure des populations de vers totales (Tableau 1). Les épigés forment 4% des populations pour la conduite extérieure et 2% pour la conduite intérieure. Les endogées forment 9% des populations de la conduite intérieure et 7% de la conduite extérieure. On notera la forte présence de 48% et 49 % des anéciques à proximité du bâtiment puis 34% et 35% en zone intermédiaires et 18% et 16% en fond de parcours. Ces données montrent la forte activité en sous-sol qui règne à proximité immédiate des bâtiments, que l'on peut corréliser avec les bons taux de minéralisation observés de manière remarquable, à proximité des bâtiments ou les animaux exercent une forte pression (Cf. paragraphe analyses de sol ci-dessous). Ces éléments montrent que la biodiversité du sous-sol n'est pas bouleversée comme on aurait pu l'imaginer. Ces résultats concernant la biodiversité sont en accord avec les mesures de biodiversités, réalisées sur les insectes émergents des parcours à palmipèdes (Bijja *et al.*, 2015).

→ Analyses de sol

• Etat humique du sol

- Matière organique

Le taux de matière organique pour les deux modalités testées à l'entrée sur parcours, est globalement moins important pour les parcours conduits avec des animaux rentrés tous les jours (conduite intérieure) (Tableau 2). Les taux de matière organique des zones de faibles fréquentations sont similaires de la zone témoin et pour les conduites intérieures. Les mesures des taux de matières organiques deux mois après sortie de bande ont diminué de manière significative de 16% en moyenne sur la totalité des modalités testées. Cette diminution est à mettre en lien avec la minéralisation en cours et qui se traduira par de bons rapports C/N (Tableau 2).

- Azote total

Les quantités d'azote sur les parcours sont légèrement élevées pour les conduites intégrales que ce soit pour les zones de fortes ou de faibles fréquentations (Tableau 2). On peut émettre l'hypothèse qu'une partie de la fraction azotée des déjections est rejetée dans le bâtiment au cours de la journée, ou de la nuit, lorsque les canards y sont. Deux mois après la sortie de bande, les taux d'azote ont diminué pour la zone de forte fréquentation pour la conduite extérieure intégrale (- 42 %). La zone de faible fréquentation de la conduite extérieure est similaire aux zones de forte et de faible de la conduite intérieure.

- C/N

Les rapports C/N des différentes conduites et zones de parcours s'échelonnent de 9,4 à 12,6 au maximum (Tableau 2). Ils traduisent un bon degré d'évolution de la matière organique, une bonne activité biologique du sol et d'une bonne minéralisation des éléments. Des valeurs de C/N comprises entre 9 et 13 sont optimales (Prunet, 2008). Par conséquent le sol présente une bonne biodisponibilité des éléments pour les végétaux.

• Eléments majeurs assimilables

- P₂O₅

Les quantités de phosphore mesurées sous forme d'acide phosphorique sont élevées et se situent au-dessus des seuils d'exigence culturaux normalement observés (Tableau 2). Elles sont élevées sur les zones de fortes fréquentations pour la conduite extérieure intégrale parcours avec animaux (+109%). Le témoin présente des taux faibles sauf sur le dernier prélèvement. Les seuils agronomiques du phosphore en sol argilo-calcaire (méthode Joret-Hébert) sont de 0,055–0,060 g.kg⁻¹ de sol pour de faibles teneurs et de 0,110–0,130 g.kg⁻¹ pour de fortes teneurs (Antoni, 2009). Dans tous les cas de figure pour les deux conduites, les taux de phosphore sont supérieurs et par conséquent aucune des conduites n'est en deçà des seuils. Ces tendances à la hausse des taux de phosphore peuvent être également corrélées avec la nature du sol argilocalcaire peu sensible au lessivage.

- K₂O

Les concentrations en potassium sont supérieures pour le parcours en conduite extérieure au niveau de la zone de forte fréquentation en sortie de bande par rapport à conduite intérieure (Tableau 2). Les résultats en sortie de bande indiquent des seuils élevés par rapport aux seuils des sols culturaux normaux (0,14 g.kg⁻¹ / 0,24 g.kg⁻¹). De tels résultats indiqueraient en culture conventionnelle une impasse sur l'épandage de fumure potassique. Les seuils après deux mois de sortie des animaux ont tous diminué ; mais sont encore élevés par rapport aux seuils minimum et maximum. Ces résultats tendent à montrer que les zones possédant un couvert végétal maintiennent une concentration stable en potasse lié aux exportations et à la nature du sol très faiblement lessivable. Le sol du témoin et du parcours présentent des seuils élevés de potassium pour ne nécessiter aucun apport.

- MgO

Les concentrations en magnésium présentent des taux supérieurs et proches sur les zones de fortes fréquentations pour la conduite extérieure et intérieur, respectivement de 0,73 g.kg⁻¹ et 0,51 g.kg⁻¹ de terre (Tableau 2). Les taux sont faibles et proches pour les zones de faibles fréquentations pour la conduite extérieure et intérieur,

respectivement de 0,22 g.kg⁻¹ et 0,44 g.kg⁻¹. Les résultats en sortie de bande indiquent des seuils élevés par rapport aux seuils des sols culturaux normaux (0,13 g.kg⁻¹ / 0,24 g.kg⁻¹). Ces légères variations sont liées au fait que les exportations en magnésium sont faibles. Les teneurs stables sont aussi liées à la nature peu lessivable du sol.

- Mesure des reliquats azotés

À l'entrée sur parcours les mesures d'azote total minéral disponible sont supérieures pour les zones des fortes fréquentations des conduites extérieures et intérieures respectivement 169 kg.ha⁻¹ et 113 kg.ha⁻¹ vs 56 kg.ha⁻¹ et 79 kg.ha⁻¹ pour les zones de faible fréquentation (Tableau 2). En sortie de bande les taux d'azote total minéral ont baissé de manière significative pour toutes les conduites. Elles sont respectivement pour les conduites extérieures et intérieures pour les zones de fortes fréquentations de 17 kg.ha⁻¹ et 26 kg.ha⁻¹. Pour les zones de faibles fréquentations les mesures sont de 14 kg.ha⁻¹ et 17 kg.ha⁻¹. Ces diminutions montrent la part de reliquat restant en sortie d'hiver avec un taux de réduction important en azote minéral du sol directement utilisable pas le couvert végétal. Le reliquat azoté accessible correspond à la proportion du reliquat mesuré, accessible par une culture en fonction de son potentiel de développement racinaire et de la profondeur du sol. En général la profondeur prise en compte pour l'azote nitrique (NO₃) et l'azote ammoniacal (NH₄) est de 30 cm. Dans ces conditions la part d'azote ammoniacal dans le reliquat accessible est limitée à 11,25 kg.ha⁻¹. La cinétique observée montre qu'une grande partie d'azote minéral est utilisée par le couvert végétal. Ces données montrent l'importance de maintenir un couvert végétal permanent pour limiter les pertes d'azote dans le sol.

• Analyse des effluents

- Matières organiques

L'analyse des litières des deux conduites montre des similitudes sur des éléments tels que les matières organiques, le carbone organique et les matières sèches (Tableau 3). La grande différence se situe au niveau de l'azote total qui est plus élevé sur les conduites intérieures que sur les conduites extérieures et sont respectivement de 1,29 % vs 0,51 %. Sur le rapport carbone sur azote (C/N) celles-ci sont respectivement de 9,35 et 21,75 pour la conduite intérieure et la conduite extérieure. Ces données présentent une certaine logique dans la mesure où les animaux de la conduite extérieure ne sont restés que 28 jours en claustration. Le rapport C/N très élevé de la conduite extérieur, ce qui est en rapport avec le faible taux d'azote et en lien avec une faible activité biologique. Ce faible taux d'activité biologique ramène les éléments constitutifs de la litière à une décomposition lente. Comparativement, la litière de la conduite

extérieure présente un bon de degré de minéralisation.

- Matières Minérales

Les matières minérales sont toutes quasiment le double pour la conduite intérieure par rapport à la conduite extérieure (Tableau 3). Les données observées sont normales vu la durée de présence supérieure des animaux de la conduite intérieure en bâtiment qui est de 12 semaines vs 4 semaines.

CONCLUSION

Cette première étude comparative des deux modes de conduite d'élevage que l'on retrouve couramment en en palmipède, montre qu'elles ne génèrent pas de différences en matière d'impacts sur les teneurs du sols en azote et en matière

organique. Les teneurs en phosphore et potassium évoluent en fonction de la conduite. Par ailleurs, ces deux modes d'élevage de palmipèdes montrent que l'élevage de palmipèdes ne porte pas atteinte à l'intégrité aux populations de lombric des sols des parcours.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des financeurs ayant soutenu cette étude issue du programme de recherche appliquée et de démonstration sur les palmipèdes et leur environnement du G.I.S. PALMIPOLE (INRA-ITAVI-CEPSO-ASSELDOR) ainsi que l'ensemble du personnel de la Ferme de l'oie et du canard pour la réalisation de cette étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Antoni V., 2009. Le phosphore dans les sols : nécessité agronomique, préoccupation environnementale. Le Point sur (Commissariat Général au Développement Durable) N°14, 4p. Juin 2014 <http://prodinra.inra.fr/record/26376>
2. Bijja M., Lavigne F., Dubois J.P., Arroyo J., 2015. 11^{èmes} JRA-JRPFG, 1042-1046. Mars 2015
3. ITAVI 2013, Estimation des rejets par les élevages avicoles, 63p. Juin 2013
4. Litt J., 2010. TeMA n°16- octobre/novembre/décembre 2010, 14-22.
5. Prunet JP., 2008. Fiche technique noix n°16, Amendement & Fertilisation du noyer. Station expérimentale de Creysse BP18 46600 Creysse. Avril 2008.

Tableau 1. Comptage des colonies de lombriciens sur parcours

	Zones	Juveniles	Adultes	Juveniles	Adultes	Juveniles	Adultes	Taux de présence (%)
Conduite intérieure	Proche du bâtiment	6	2	66	19	11		48
	Intermédiaire			38	26	8	2	34
	Fond de parcours			18	21			18
	Total (lombrics/m²)	6	2	122	66	19	2	
Conduite extérieure	Proche du bâtiment	4		55	25	8		49
	Intermédiaire			30	34	2		65
	Fond de parcours			12	15		3	16
	Total (lombrics/m²)	4		97	74	10	3	

Tableau 2. Composition des sols

	Conduite extérieure intégrale		Conduite intérieure		Témoin
	Forte fréquentation	Faible Fréquentation	Forte fréquentation	Faible Fréquentation	
Matière organique (g.kg⁻¹ de terre)					
Entrée parcours 01/01/2015	84,6	81,2	76,7	70	72,6
Sortie parcours 01/04/2015	79,6	81,8	62,6	69,5	74,8
2 mois après sortie 01/06/2015	60,5	69,8	62,3	70,3	73,3
Azote total (g.kg⁻¹ de terre)					
Entrée parcours 01/01/2015	5,1	4,4	4	3,7	3,5
Sortie parcours 01/04/2015	4,9	4	3,4	4	3,8
2 mois après sortie 01/06/2015	2,8	4,1	3,3	3,6	4,2
C/N					
Entrée parcours 01/01/2015	9,6	10,7	11,2	11	12,1
Sortie parcours 01/04/2015	9,4	12,3	10,7	10,1	11,4
2 mois après sortie 01/06/2015	12,6	9,9	11	11,4	10,1
P₂O₅ (g.kg⁻¹ de terre)					
Entrée parcours 01/01/2015	1,44	0,53	0,36	0,27	0,23
Sortie parcours 01/04/2015	1,42	0,39	0,89	1,06	0,29
2 mois après sortie 01/06/2015	1,27	1,04	0,71	0,7	1,33
K₂O (g.kg⁻¹ de terre)					
Entrée parcours 01/01/2015	2,33	0,94	0,6	0,58	0,5
Sortie parcours 01/04/2015	2,3	0,96	0,95	1,16	0,56
2 mois après sortie 01/06/2015	1,2	1,12	0,76	0,77	1,71
MgO (g.kg⁻¹ de terre)					
Entrée parcours 01/01/2015	0,78	0,23	0,18	0,19	0,13
Sortie parcours 01/04/2015	0,73	0,22	0,50	0,44	0,14
2 mois après sortie 01/06/2015	0,51	0,47	0,32	0,33	0,65
Azote total minéral disponible (kg.ha⁻¹)					
Entrée parcours 01/01/2015	169	56	113	79	
Sortie parcours 01/04/2015	17	14	26	17	

Tableau 3. Evolution de la matière organique (%) et des éléments majeurs assimilables (g.kg-1 de litière) des litières sorties

		matière organique					éléments majeurs assimilables			
		MS	MM	MO	AT	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Conduite intérieure	Entrée Bâtiment 01/01/2015 sortie le 04/01/2015	29,35	6,45	22,9	1,29	9,35	0,735	1,255	1,315	0,28
Conduite extérieure intégrale	Entrée Bâtiment 01/01/2015 sortie 28/01/2015	25,35	3,05	22,3	0,511	21,75	0,245	0,51	0,715	0,14

MS : Matière sèche ; MM : Matière minérale, MO : Matière organique ; AT : Azote total

CONTRIBUTION DE L'AGROFORESTERIE AUX PERFORMANCES, AUX SERVICES ECOSYSTEMIQUES ET A LA DURABILITE DES EXPLOITATIONS DE POULES PONDEUSES

Pierre Scheercousse¹, Laurence Fortun-Lamothe²,

¹*Arbre et Paysage 32, 93 Route de Pessan, 32000 Auch*

²*GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, ENVT, 31326 Castanet-Tolosan, France*
p.scheercousse@ap32.fr

RÉSUMÉ

Les objectifs de ce travail sont i) de décrire le fonctionnement et de comparer les performances techniques des ateliers de poules pondeuses répondant au cahier des charges de l'Agriculture Biologique (AB) avec et sans parcours agroforestier et ii) d'évaluer la durabilité et de proposer une réflexion sur les services écosystémiques utilisés et rendus à l'échelle des exploitations intégrant ces ateliers. Les cadres conceptuels pour évaluer la durabilité et les services écosystémiques sont ceux de la méthode DIAMOND et de la classification CICES, respectivement. Le cadre méthodologique a été adapté de l'outil IndiciADes complété par des indicateurs sur la qualité des paysages, l'ancrage territorial de l'activité et le bien-être animal. Nous avons étudié 7 fermes contenant un atelier de poules pondeuses. Six fermes répondaient au cahier des charges AB et possédaient un parcours pour les poules qui était arboré (AF ; n=3) ou non (NAF ; n=3). Une autre ferme, dite conventionnelle (Conv), ne contenant pas de parcours a également été étudiée. Les systèmes AF ont une surface plus importante (+70%) mais des tailles d'ateliers poules pondeuses plus faibles (-27%) que les systèmes NAF. Globalement, les systèmes AF ont de meilleures performances économiques (EBE +29% ; coût de production -44% ; taux de spécialisation -29%), environnementales (bilans Energie +624% ; Carbone -659% et GES -83%) et sociales (ancrage territorial +50% ; entretien du paysage +31% ; densité sur parcours -55%) que les systèmes NAF. Les systèmes AF rendent plus de service d'approvisionnement et de maintenance et régulation que les systèmes AF mais rendent des services culturels équivalents. La ferme Conv se distinguait fortement des 6 autres fermes sur les performances techniques, la durabilité et les services écosystémiques. Cette approche exploratoire ouvre la réflexion sur l'usage des outils d'évaluation multicritère pour l'évaluation des services écosystémiques mobilisés et fournis par l'élevage.

ABSTRACT

Contribution of agroforestry to performance, sustainability and ecosystemic service of farms with laying hens

The objectives of this work are (i) to describe the functioning and to compare the technical performances of farms with laying hen meeting the specifications of Organic Farming (AB) with and without agroforestry free range and (ii) to evaluate the sustainability and to propose a thinking on the ecosystem services used and supplied at the level of the farms integrating laying hens units. The conceptual frameworks for evaluating sustainability and ecosystemic services are those of the DIAMOND method and the CICES classification, respectively. The methodological framework was adapted from the IndiciADes tool completed by indicators on the quality of the landscapes, the territorial integration of the activity and the animal welfare. We studied seven farms containing a workshop of laying hens. Six farms fulfilled the AB specifications and had a free range for hens that was planted (AF, n = 3) or not (NAF, n = 3). Another farm, referred to as conventional (Conv), without free range was also studied. The AF systems have a larger area (+ 70%) but smaller size (-27%) than the NAF systems. Overall, AF systems have improved economic (EBE + 29%, production cost -44%, specialization - 29%), environmental (Energy balance + 624%, Carbon -659% and GHG -83%) and social performance (Territorial anchoring + 50%, landscape maintenance + 31%, range density -55%) than NAF systems. AF systems provide more supply services and maintenance and regulation services than AF systems but have rendered equivalent cultural services. The Con farm differed strongly from the 6 other farms on technical performance, sustainability and ecosystem services. This exploratory approach highlight interests and difficulties on the use of multicriteria assessment tools for the evaluation of sustainability and ecosystem services mobilized and provided by livestock at farm level.

INTRODUCTION

La France est un producteur important de volailles élevées sur parcours (dont pondeuses, poulets, palmipèdes gras). Ces filières sont aujourd'hui en croissance car elles répondent à des attentes sociétales en matière de bien-être animal, de naturalité et d'origine des produits. En effet, ces élevages sont majoritairement sous des signes de qualité, pour lesquels l'accès à un parcours est une obligation réglementaire. Toutefois, il existe une grande variabilité dans l'aménagement de ces parcours, avec pour finalités recherchées une optimisation du parcours par les volailles, une maximisation des biens et des services rendus et une minimisation des impacts négatifs de l'élevage. On retrouve ainsi des parcours herbacés, entourés de haies ou non ou bien des parcours « agroforestiers » (présence d'arbres) aux configurations multiples.

L'agroforesterie consiste en l'intégration d'une végétation ligneuse à des cultures et/ou de l'élevage. L'intérêt agronomique de l'agroforesterie notamment pour la fertilité des sols et la gestion durable des ressources naturelles a fait l'objet de travaux (José 2009, Dupraz *et al.* 2014, Chenu *et al.* 2015). Toutefois, les résultats concernant spécifiquement les bénéfices apportés par l'agroforesterie sur les systèmes d'élevage sont plus épars. Dubois *et al.* (2008) ont montré les bénéfices réciproques pour les animaux et les arbres d'une association oies/noyers (ombrage, rendement en fruits, croissance des arbres). Les effets sur les performances techniques et la durabilité des systèmes de production, tout comme la perception des consommateurs restent à évaluer. Des données empiriques et l'expérience d'éleveurs suggèrent que les arbres présents sur les parcours joueraient de multiples rôles : protecteur, nourricier, de médication, d'épuration et de bouclage des cycles biogéochimiques (azote, carbone, phosphore) qui restent toutefois à mieux qualifier et quantifier.

Les objectifs de ce travail sont d'une part de décrire le fonctionnement et de comparer les performances techniques des ateliers de poules pondeuses répondant au cahier des charges de l'Agriculture Biologique (AB) avec et sans parcours agroforestier. D'autre part il s'agit d'évaluer la durabilité et de proposer une réflexion méthodologique sur les services écosystémiques (SE) utilisés et rendus à l'échelle des exploitations intégrant ces ateliers.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Les cas d'étude

Nous avons étudié 7 fermes contenant un atelier de poules pondeuses de taille variable. Six fermes répondaient au cahier des charges de l'agriculture

biologique (AB) et possédaient un parcours pour les poules qui était arboré (AF ; n=3) ou non (NAF ; n=3). Une autre ferme, dite conventionnelle (Conv), ne contenant pas de parcours (animaux élevés en claustration) a également été étudiée pour servir de point de comparaison. Toutes les fermes étaient situées dans le Sud-Ouest de la France (départements 31, 32 ou 65). Les indicateurs retenus pour décrire les caractéristiques et le fonctionnement des ateliers de poules pondeuses sont issus de l'observatoire technico-économique poules pondeuses avec parcours, porté par les Chambres d'agriculture de Bretagne (<http://www.bretagne.synagri.com>).

1.2. L'évaluation de la durabilité

Le système évalué est la ferme contenant un atelier de poules pondeuses. Le cadre conceptuel pour l'évaluation de la durabilité est celui de Litt *et al.* (2014). Le cadre méthodologique est issu de la méthode Indiciades, développée par l'Institut de l'Agriculture Durable (<http://indiciades.fr>). Le diagnostic global porte sur une majorité de bilans : consommations d'énergie, émissions de gaz à effet de serre, gestion des sols (stocks de carbone et dynamiques, azote en lien avec les pratiques), de la biodiversité, etc. Cette méthode ne proposait pas d'indicateurs pour évaluer certains des objectifs définis par Litt *et al.* (2014). Les indicateurs issus de la méthode Indiciades ont donc été complétés par des indicateurs spécifiques au projet dans le pilier économique (taux de spécialisation) et social, portant sur le bien-être animal (évaluation du milieu de vie: densité en bâtiments et sur les parcours ; évaluation de l'état des animaux : cannibalisme, état des plumes et des pattes, piquage, mortalité), l'ancrage territorial (valorisation du territoire, contact avec les gestionnaires, présence dans structures locales), et la qualité des parcours et du paysage (intégration visuelle, couverture du sol, bords végétalisés, espèces locales, entretien, diversifié). La qualité des produits n'a pas été évaluée ici mais a fait l'objet d'un travail spécifique dans le cadre du présent projet (Sans *et al.*, 2017).

1.3. L'évaluation des services écosystémiques

Le cadre conceptuel pour évaluer les SE est la classification CICES (Haines-Young and Potschin, 2013). Celle-ci distingue les services d'approvisionnement, de maintenance et de régulation, et les services culturels. Pour le cadre méthodologique, nous avons utilisé les indicateurs à notre disposition (description des ateliers et évaluation de la durabilité) pour proposer une réflexion sur les apports de l'agroforesterie aux SE.

1.4. L'analyse des données

La taille de l'échantillon étant faible et chaque ferme possédant une logique et une organisation propre, la réalisation de moyennes par groupe

pouvait présenter le risque de perdre des informations sans gagner en puissance statistique. Pour la description des ateliers et l'évaluation de la durabilité, nous présentons donc les données individuelles pour chaque cas d'étude et exprimons/discutons les écarts moyens entre les fermes AF et NAF.

2. RESULTATS

1.1. Les caractéristiques des systèmes

Les principales caractéristiques des systèmes d'élevage étudiés sont décrites dans le Tableau 1. Comme cela était notre objectif, les fermes étudiées sont diverses dans leur surface agricole utile (21 à 300 ha), leur main d'œuvre (1 à 20 UTH), la taille de l'atelier poule pondeuses (180 à 80 000 poules). Il ressort que les systèmes AF étudiés ont une surface plus importante (+70%) mais des tailles d'ateliers poules pondeuses plus faibles (-27%) que les systèmes NAF. De ces deux systèmes, le système Conv est très différent avec 80 000 poules pondeuses, 300 ha de SAU et employant 20 UTH (élevage, conditionnement, logistique et transports). Notons que le « type de sol » dans les bâtiments /cabanes des différents élevages n'est pas spécifique du système de production (litière paillée ou sciure, caillebotis) et que le prix de vente de l'œuf est similaire dans les systèmes NAF et AF mais plus élevé que dans le système Conv (0,24 vs 0,11 €HT). Ces écarts de prix répondent à la demande actuelle dans la mesure où le consommateur qui accueille positivement les œufs AF ne semble pas prêt à les acheter plus chers que les œufs NAF (Sans *et al.*, 2017).

1.2. La durabilité des systèmes

Les performances de durabilité des systèmes étudiés sont reportées dans le Tableau 2. Notons que les résultats sont très variables (CV : de 19 à 230% suivant les indicateurs). Il convient donc de rester prudent dans l'interprétation des résultats en considérant i) qu'il s'agit ici d'une étude exploratoire et ii) que la catégorisation NAF, AF et Conv, ne suffit pas pour regrouper des cas similaires d'un point de vue structurel et des performances (taille des ateliers et problématiques associées).

Nos résultats montrent que les performances économiques des 3 systèmes AF étudiés sont supérieures à celles des 3 systèmes NAF : EBE plus élevé (+29%), coût de production plus faible (-44%) et taux de spécialisation plus faible (-29%). Remarquons, que si l'autonomie alimentaire (capacité de l'exploitation à satisfaire les besoins alimentaires de ses animaux) est plus importante pour les systèmes AF (+58%), celle-ci est globalement modeste dans les systèmes NAF (12%) et AF (19%) alors qu'elle est de 80% dans le système Conv. Notons que ce paramètre est très lié

à la surface disponible sur la ferme (SAU) et la part de SAU que les éleveurs décident de dédier à la production d'aliment pour l'élevage.

Les performances environnementales sont également plus élevées dans les systèmes AF que dans les systèmes NAF pour plusieurs indicateurs. Les meilleurs bilans Energie (+624%), Carbone (-659%) et GES (-83%) s'expliquent principalement par la présence des arbres sur l'exploitation. En revanche, la surface en biodiversité est plus faible (-17%) et le bilan azote est dégradé pour les fermes AF. La ferme Conv a des résultats très différents des 6 autres fermes et des performances notablement dégradées pour les indicateurs Bilan N, indice de travail du sol et surface en biodiversité mais elle a un meilleur bilan carbone.

Les systèmes AF ont de meilleures performances sociales (ancrage territorial +50%; entretien du paysage +31%; densité sur parcours -55%) que les systèmes NAF.

1.3. Les services écosystémiques

Les SE utilisés et rendus par les différents types fermes contenant des ateliers de poules pondeuses sont reportés dans la Figure 1. Il ressort que les systèmes AF rendent plus de services d'approvisionnement (ici production d'œufs) que les systèmes NAF, notamment en raison de la présence des arbres. Concernant les services de maintenance, les systèmes AF se distinguent des systèmes NAF par une plus grande diversité de cultures et un moindre potentiel de réchauffement climatique, lié à la présence des arbres. La supériorité des systèmes AF sur les systèmes NAF se retrouve également dans les services régulation concernant le bilan carbone et le potentiel de stockage du carbone. En revanche, les systèmes AF et NAF ont des scores proches concernant les services culturels à l'exception de la densité sur les parcours plus élevés dans les systèmes NAF.

Le système Conv se distingue fortement des systèmes AF et NAF sur presque tous les items. Ainsi, les services d'approvisionnement qu'il rend sont beaucoup plus élevés, en revanche il a des scores très faibles sur la plupart des services de maintenance, de régulation et culturels.

DISCUSSION - CONCLUSION

Ce premier travail est à caractère exploratoire. Notre démarche donne de premiers éléments de discussion sur l'intérêt de l'agroforesterie sur la durabilité et les SE utilisés et rendus par les fermes contenant des ateliers de poules pondeuses. Toutefois, le nombre de cas étudiés doit être augmenté afin de proposer des conclusions plus robustes et qui tiennent compte de la taille de l'atelier (nombre de poules, d'UTH). Les cadres conceptuels utilisés se sont révélés adaptés pour évaluer les systèmes. En revanche, nous avons été

confrontés à plusieurs difficultés méthodologiques. La première concerne les frontières du système étudié qui a des conséquences sur l'unité d'expression des indicateurs. Nous avons fait le choix d'étudier les fermes dans lesquelles s'insèrent les ateliers, et non pas l'atelier lui-même qui nous semblait un niveau d'approche trop restrictif, notamment pour mieux prendre en compte l'agroforesterie d'un point de vue environnemental. Au final, la contribution de l'atelier de poules pondeuses est alors souvent masqué dans l'évaluation globale qui est exprimé par ha de SAU, ou par TEP consommé... Une évaluation au niveau de l'atelier aurait permis d'exprimer certains indicateurs au regard de la production d'œufs. Ainsi, l'évaluation des fermes multi performantes (avec agroforesterie par exemple) pose la question i) de l'unité des indicateurs permettant d'évaluer simultanément des productions de différente nature (œufs, bois d'œuvre, bois énergie..) et ii) du pas de temps de l'évaluation. En effet, l'agroforesterie se gère sur des pas de temps très longs alors que les indicateurs de la méthode Indiciades ont été calculés sur un référentiel annuel. Enfin, nous avons choisi la méthode Indiciades par sa capacité à proposer des indicateurs quantitatifs à partir de la description des pratiques et des performances.

Toutefois, il n'est pas toujours aisé de comprendre les valeurs d'indicateurs obtenus. L'approche par les SE en agriculture, relativement nouvelle, vise l'analyse des interactions entre les écosystèmes et les systèmes agricoles. Ce travail exploratoire, centré sur une démarche de diagnostic, apporte un aperçu des nombreuses difficultés à la mise en oeuvre d'une approche qui se veut à la fois multi-scalaire (allant de l'atelier au territoire, et autres espaces...) et dynamique (appréhension des échanges et des flux et de leurs effets en chaîne). En conclusion, ce travail exploratoire suggère que l'agroforesterie améliore la durabilité et les SE rendus par les systèmes de production de poules pondeuses. Il pointe aussi la nécessité de progresser sur les aspects méthodologiques pour une meilleure évaluation des systèmes multi performants et la compréhension des interactions entre les écosystèmes.

REMERCIEMENTS

Ce travail a reçu le soutien financier du méta programme ECOSERV de l'INRA (projet Agr'œuf).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chenu, C. Cardinael, R., Chevallier, T., Germon, A. 2015. [P-2218-01] <http://agritrop.cirad.fr/577040/>
 Dubois J. P., *et al.*, 2008. 8^{èmes} Journ. Rech. Palmipèdes à Foie Gras. Arcachon, France, 107-110.
 Haines-Young, R. and Potschin, M., 2013. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003.
 Jose, S. 2009. Agroforestry Syst., (76), 1-10.
 Litt, J., *et al.* 20014. Innovations Agronomiques, (34), 241-258.
 Sans, P, Olivier-Salvagnac, *et al.*, 2017. 12^{èmes} Journ. Rech. Avicoles et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, France.

Tableau 1. Principales caractéristiques des systèmes d'élevage de poules pondeuses étudiés

	Cas d'étude ^a							Écart ^b
	NAF1	NAF2	NAF3	AF1	AF2	AF3	Conv	
SAU (ha)	24	21	110	65	128	70	300	+70%
Nb UTH	1	1	3,5	2	1	1	20	-27%
Nb de poules	220	2050	3750	180	250	4600	80000	-16%
Nb d'œufs vendus (milliers)	55	620	950	55	71	1200	36500	-18%
Surface totale de parcours (m ²)	4400	20000	30000	2000	20000	15000	0	-32%
Surface des bâtiments (m ²)	60	450	3750	30	180	800	1600	-76%
Type de sol dans le bâtiment ^d	SPLsb	TC	SPLp	SPLp	SPLp	TC	TC	-
Prix unitaire de l'œuf (€ HT)	0,28	0,17	0,25	0,32	0,25	0,17	0,11	+6%

^aNAF : systèmes non agroforestier ; AF : systèmes agroforestiers ; Conv : système conventionnel

^bEcart (%) entre la moyenne des systèmes AF et NAF

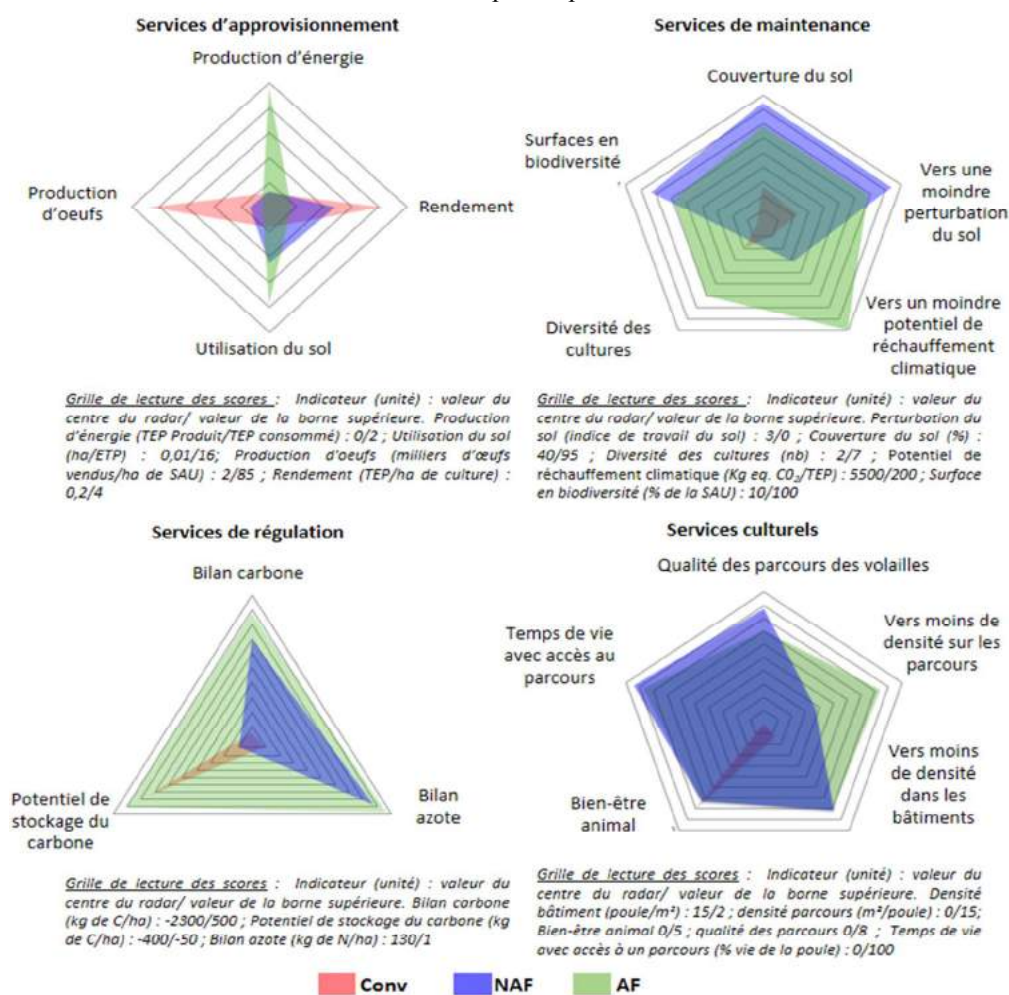
^cChiffre d'affaire de l'atelier poule pondeuse / chiffre d'affaire de l'exploitation

^dSPLsb : Sol plein avec litière en sciure de bois ; SPLp : Sol plein avec litière de paille ; TC : Tapis plastique sous caillebotis

Tableau 2. Evaluation de la durabilité des systèmes de production

	Cas d'études ^a							Écart ^b
	NAF1	NAF2	NAF3	AF1	AF2	AF3	Conv	
Est rentable^c								
EBE/UTH ^d (k€)	22,0	13,0	20,6	25,6	26,7	19,5	5,0	+29%
Coût de production ^d (€/ha)	1148	4283	3260	2347	417	2064	17337	-44%
Est flexible et adaptable^c								
Taux de spécialisation (%)	25	75	28	5	24	62	100	-29%
Autonomie alimentaire (%)	0	0	36	26	30	0	80	+58%
Gère les ressources de façon économe^c								
Bilan énergie ^d (TEPprod/TEPcons)	0,17	0,25	0,38	1,18	1,34	3,27	0,23	+624%
Bilan N ^d (kg/ha)	-52	83	-15	22	-2	32	119	+230%
Protège les écosystèmes^c								
Bilan GES ^d (kg éq. CO ₂ /TEP)	2940	7493	2646	1122	931	233	5029	-83%
Bilan carbone ^c (kg/ha)	1062	-42	-825	299	-502	-885	-2147	-659%
Indice de travail du sol ^d	0,00	0,60	0,83	0,70	1,32	0,81	2,31	98%
Surf. en biodiversité ^d (% SAU)	61	108	58	83	40	66	13	-17%
Préserve la qualité de vie et les conditions de travail du producteur^c								
Temps de travail ^d	91	98	95	136	81	119	91	+18%
Répond aux demandes des citoyens et des consommateurs^c								
Bien-être animal	3	4	4	5	4	2	4	0%
Ancrage territorial	1	1	0	2	1	0	0	+50%
Entretien du paysage	4,5	5,5	6,0	8,0	7,0	6,0	0,0	+31,3%
Densité en bâtiment (poule/m ²)	3,7	4,6	5,4	6,0	1,4	5,8	13,3	-3,2%
Densité sur parcours (m ² /poule)	20,0	9,8	8,0	5,6	8,0	3,3	0,0	-55,5%

^aNAF : systèmes non agroforestiers, AF : systèmes agroforestiers, Conv : système conventionnel ; ^bEcart (%) entre la moyenne des systèmes AF et NAF ^cObjectifs de durabilité proposés par Litt *et al.* 2014. ^dIndicateurs issus de la méthode *Indiciades* (<http://indiciades.fr/>) et calculés à partir de données brutes ou mesurés à la ferme.

Figure 1. Comparaison des services écosystémiques rendus par les fermes (AF, NAF ou Conv) contenant des ateliers de poules pondeuses

NB: les radars sont construits de telle sorte que l'extérieur du radar représente plus de services rendus

GRANULATION DES FUMIERS DE VOLAILLES POUR UNE GESTION OPTIMISEE DE LEUR VALORISATION AGRONOMIQUE

Ponchant Paul¹, Decoopman Bertrand², Mazoyer Jacky³

¹ITAVI – Zoopole Beaucemaine – 22440 PLOUFRAGAN,

²Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne – Rue Maurice Lannou – 35000 RENNES

³IRSTEA MONTOLDRE – Domaine des Palaquin - 03150 Montoldre

ponchant@itavi.asso.fr

RÉSUMÉ

Les effluents d'élevage présentent un intérêt très fort tant d'un point de vue agronomique (amendement et fertilisation organique des sols) qu'économique (épargne d'engrais de synthèse). Cependant, dans les régions à forte densité d'élevage (Bretagne, Pays de la Loire, Normandie), leur utilisation sur place est limitée et il est nécessaire de les exporter vers d'autres régions de culture. La production de granulés à partir des fumiers de volailles constitue une solution envisageable pour faciliter l'exportation des produits organiques. L'objectif du projet est d'étudier les conditions de fabrication et d'utilisation d'un produit à base de fumier de volailles se présentant sous forme de granulés. Le projet a permis de montrer que pour des fumiers de poulets et de dindes, il était possible de réaliser des granulés de 4 mm de diamètre sans difficultés majeures. Les analyses chimiques et agronomiques ont également mis en avant un effet ressemblant à un compostage rapide avec légère réorganisation de l'azote, sans provoquer de changements importants dans leurs compositions chimiques. Il est donc possible d'utiliser ces produits organiques à une dose de 4,5 t/ha tous les ans pour un régime renforcé ou tous les 2 à 3 ans pour un régime de compensation des exports. A partir des résultats d'analyses, il est également possible pour ces granulés de volaille de rentrer dans la norme 42 001 « Engrais organiques NPK, NP, NK entièrement d'origine animale et/ou végétale » sous la dénomination du N° 10 « Engrais organique NPK ». Concernant l'aptitude à l'épandage des granulés de fumiers de volailles, les résultats montrent une répartition longitudinale excellente permettant de maîtriser la dose globale apportée à la parcelle. Les largeurs de travail obtenues se situent vers 14-16m dans les meilleures conditions de réglages pour un débit de 6 kg/s. La qualité du granulé est essentielle pour obtenir un épandage de qualité. Ainsi les produits trop secs se révèlent poussiéreux lors de la prise en pale et cela tend à diminuer son aptitude globale à l'épandage et entraîne une formation de poussière importante.

ABSTRACT

PELLETING OF POULTRY MANURE FOR OPTIMIZED MANAGEMENT OF THEIR AGRONOMIC VALORIZATION

Livestock manure is interesting both for agronomic (fertilizing and soil amendment) and economic (sparing of industrial fertilizers) performances. However, in high livestock density regions, their use on site is limited and it is necessary to export it to other crop regions. Pelletizing of poultry manure is a possible answer to facilitate the export of livestock manure. The objective of the project is to study the conditions of producing and using of pellets from poultry manure. The project has shown that for manure from chicken and turkey, it was possible to make pellets of 4 mm of diameter without strong difficulties. The chemical and agronomic analyzes also highlighted an effect similar to a rapid composting with slight reorganization of nitrogen without causing significant changes in their chemical compositions. It's also possible to use these manure pellets at a dose of 4,5 t/ha annually for a strengthened regime or every 2 to 3 years for an export compensation scheme. From the test results, it is also possible for these manure poultry pellets to enter in the standard 42 001 "Fertilizers NPK, NP, NK entirely of animal and / or plant origin" under the name of No. 10 "fertilizer NPK". Concerning the ability to soil application of poultry manure pellets, the results show an excellent longitudinal distribution for control of the overall dose given to the plot. The working widths obtained lie to 14-16m in the best settings for a rate of 6 kg/s. The pellet quality is essential for a good spreading application. Too dry products are dusty when taking into blade and they tend to decrease their overall ability to spreading and cause a major dust formation.

INTRODUCTION

Les effluents d'élevage présentent en effet un intérêt très fort tant d'un point de vue agronomique (amendement et fertilisation organique des sols) qu'économique (économie d'engrais de synthèse). Cependant, dans les régions à forte densité d'élevage (Bretagne, Pays de la Loire, Normandie), leur utilisation sur place est limitée et une solution pour réduire la concurrence sur les terres épandables consiste à les exporter vers d'autres régions de culture. Cependant, cette exportation présente quelques limites : la réglementation sanitaire des sous-produits animaux et le coût du transport réduisent les zones accessibles à ces produits organiques. Enfin, la disponibilité locale de matériel spécifique d'épandage (nécessité d'avoir un épandeur à fumier par exemple), l'hétérogénéité des fumiers qui n'autorise pas un épandage régulier et enfin l'acceptabilité sociale (recevoir du fumier dans une région sans élevage est souvent peu apprécié) sont également des freins. Pour pouvoir valoriser au mieux les déjections avicoles et favoriser leur exportation et leur utilisation dans d'autres régions que le Grand Ouest, nous avons mené une étude sur la granulation des fumiers de volailles de chair. L'objectif de cette étude est d'analyser les conditions de fabrication et d'utilisation d'un produit à base de fumier de volailles se présentant sous forme de granulés.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Caractérisation des granulés produits

Les fumiers issus de 4 élevages : fumier pailleux de poulet (P1), fumier de dinde sur paille (P2), fumier de dinde sur copeau (P3) et fumier de dinde sur mélange paille copeau (P4) ont été testés dans notre étude. Avant granulation, ils ont été séchés jusqu'à un taux de matière sèche (MS) de 80% environ sur le site de l'entreprise de granulation (système de séchage sur tamis ou sur grille de ventilation pendant 2 à 7h). Ensuite, après une phase de test sur différentes filières, les fumiers ont été granulés sans broyage préalable sur la filière la plus adaptée (diamètre : 0,4 mm ; épaisseur : 50 mm ; hauteur de cylindre de compression : 16 mm). La granulation se fait par le passage dans une presse à granuler (des galets tournants impose le passage de la matière dans une filière spécifique)

Pour apprécier la valeur agronomique des granulés produits, la méthodologie employée s'est basée sur des analyses agronomiques des fumiers avant puis après leur transformation en granulés (Tableaux 1 et 2). Cette approche a été complétée par des analyses microbiologiques d'incubation (Norme XPU 44-163) et du calcul de l'Indice de Stabilité de la Matière

Organique (ISMO) issus de la norme (XPU 44-162) réalisées sur les produits finaux. Toutes les analyses ont été réalisées par un laboratoire agréé.

Les résultats ont été comparés à des références bibliographiques disponibles sur le sujet (ITAVI 2003, IF2O 2006, IDELE *et al.* 2001) et à la norme NFU 42-001 (engrais organiques azoté d'origine animal et/ou végétal. Classe V) afin d'observer si ces produits sont très spécifiques ou s'ils peuvent se rapprocher de fertilisants connus.

1.2. Evaluation de l'épandabilité des granulés produits

L'évaluation des performances à l'épandage des granulés de fumiers de volaille a fait l'objet d'essais au banc CEMOB du Pôle Epandage Environnement de l'IRSTEA. Les mesures portent sur la qualité de la répartition spatiale des produits (répartition longitudinale, répartition transversale, nappe d'épandage). La répartition longitudinale est obtenue par la pesée en continue pendant la vidange de l'ensemble tracteur + épandeur. La répartition transversale est obtenue par pesage des quantités recueillies dans des bacs de collecte. Les bacs sont portés par des poutres qui se déplacent dans la zone d'épandage pendant l'essai. La nappe est obtenue par calcul à partir des pesées des bacs et de leurs positions. L'épandeur prototype utilisé comprend un dispositif d'épandage à plateaux.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Composition chimique des fumiers et granulés

Le fumier de poulet (P1) semble un peu plus humide que les références disponibles sur le sujet (ITAVI 2003). Par conséquent, les teneurs en éléments fertilisants de ce fumier sont un peu inférieures aux références (Tableau 1). Pour les fumiers de dinde ayant servi au projet, il n'existe pas de références sur la variation de composition en fonction du type de litière. Dans les territoires où l'accès à la paille est facilité (Centre, Pays de la Loire...) l'élevage de dinde sur paille est une situation qu'il est possible de rencontrer. Par comparaison avec les références disponibles (ITAVI, 2003 ; IF2O, 2006), les produits organiques retenus dans l'essai ont donc été jugés représentatifs des effluents rencontrés sur le territoire dans la filière volaille de chair.

Les analyses des granulés (Tableau 2) montrent qu'avec une teneur en azote de plus de 3% sur produit brut (3,8% en moyenne), une somme de N+P+K>7% (10 % en moyenne) et un taux de matière organique (MO) compris entre 66 % et 73%, ces granulés se

classent, selon la norme NFU 42-001, dans la catégorie des engrais organiques. Les évolutions de composition avant granulation – après transformation ont permis de montrer que mise à part la MO pour laquelle il est constaté une légère baisse de sa teneur après granulation pour les 4 fumiers (baisse plus élevée pour les litières de pailles), le procédé est conservatoire des teneurs en éléments fertilisants (Tableau 3).

2.2. Evolution du carbone rapidement minéralisable

Deux comportements différents des fumiers sont observés lors de la granulation : les 2 fumiers à base de paille se minéralisent plus vite (52 % en moyenne du C sur 91 jours) que les fumiers à base de copeaux (44% en moyenne du C sur 91 jours) (Figure 1). Cette observation est liée au fait que les teneurs en lignine dans les copeaux de bois sont supérieures à celles des pailles. Le carbone contenu dans la lignine est très stable et se dégrade beaucoup moins rapidement dans les sols. Si on compare ces courbes aux références disponibles (IF2O 2006), les vitesses de minéralisation de nos produits organiques granulés sont proches des vitesses de minéralisation de produits peu ou pas compostés (49% du C sur 91 jours) et supérieur à celle de certains effluents volailles compostés (35 à 40 % du C sur 91 jours).

2.3. Evolution du carbone peu minéralisable

L'indice ISMO (norme XP U 44-162) est un indicateur qui a pour objectif d'exprimer *a priori* dans le produit initial le pourcentage de matière organique potentiellement résistante à la dégradation (minéralisation). Ainsi, plus la valeur d'ISMO est élevée pour un produit organique, plus le potentiel amendant organique du produit est élevé. L'indice ISMO des 4 granulés étudiés est relativement faible, (19,1% pour P1 ; 20,6% pour P2 ; 24,6% pour P3 ; 26,4% pour P4) et est légèrement plus important pour les fumiers à base de copeaux du fait de l'importance des produits ligneux stable dans le calcul de cet indice. Si l'on se réfère au classement du COMIFER (Figure 2), ces produits se situent dans la catégorie « engrais ».

2.4. Normalisation des produits obtenus

D'après l'arrêté ministériel du 22 octobre 1993 relatif au Code des bonnes pratiques agricoles les fumiers de volailles frais sont classés en type II, ce qui leur impose des contraintes plus fortes sur le calendrier d'épandage et sur les capacités de stockage à respecter, par rapport aux composts qui sont classés en type I. Les rapports C/N des 4 échantillons sont supérieurs à 8 (de 8,8 à 9,8 selon les produits). Les

granulés de fumiers de volaille se classent donc de ce fait comme effluent de type I (C/N >8). Il importera donc de proposer à l'Administration et au Groupe Régional d'Expertises Nitrates (GREN) une classification qui, au vu des premiers résultats serait de type I.

Le plafond d'apports organiques en zones vulnérables (Directive Nitrates) est limité à 170 kg N/ha. Les doses préconisées pour l'utilisation des granulés de fumier vont donc dépendre avant tout de leur teneur en azote. L'apport de phosphore à la dose préconisée devra être également considéré afin de vérifier s'il est compatible avec la réglementation phosphore propre à chaque région.

A partir des tables du COMIFER (2013), nous proposons donc pour les granulés de fumier de volaille, un coefficient d'équivalence engrais minéral efficace (K_{eq}) de 45%. Ainsi à une dose de 4,5 t (environ 170 kg N/ha) l'apport d'N efficace (ou disponible) est de 75 à 81 kg N/ha. Cela peut répondre, sous réserve de conformité aux plans prévisionnels de fumure (PPF), aux besoins d'une culture comme le maïs. En revanche, le flux de phosphore généré est 2 à 3 fois supérieur (selon les produits granulés testés) aux exportations d'une culture comme le maïs. En fonction des préconisations, cette dose de granulés ne devra être apportée que tous les ans pour un régime renforcé ou tous les 2 à 3 ans pour un régime de compensation des exports. Du fait de l'ensemble des données exposées ci-dessus, ce fertilisant pourrait prétendre à rentrer dans la norme 42 001 « Engrais organiques NPK, NP, NK entièrement d'origine animale et/ou végétale » sous la dénomination du N° 10 « Engrais organique NPK » avec comme spécification N+P+K>7%, N>3%, P>2%, K>2%.

Une demande spécifique devra être faite auprès du Bureau de Normalisation de la Fertilisation afin qu'une dénomination et spécification soient retenues pour ces fertilisants organiques.

2.5. Epandabilité des granulés

Les essais au banc CEMOB sont réalisés avec un débit fixé à 6 kg/s. La répartition longitudinale mesurée est excellente avec ces produits. Les valeurs d'étendue dans la zone de tolérance (EZT) sont systématiquement à plus de 90 % et pourront même certainement être améliorées avec des machines de taille de trémie plus importante. Ces valeurs sont élevées et traduisent une grande stabilité du débit, dues à la régularité de granulométrie et au dispositif d'alimentation adapté. Le réglage de la machine est important afin d'obtenir une répartition spatiale la plus homogène. Les résultats obtenus avec les produits P2 et P4 donnent les meilleures valeurs de coefficient de variation (CV) à moins de 10%. Pour

ces 2 produits, la largeur optimale se situe à 16 m. Pour les 2 autres produits (P1 et P3), la largeur optimale se situe à 14 m mais avec un CV de plus de 20 %. Ainsi, avec une largeur de 16 m, dans une plage de vitesse d'avancement de 3 à 12 km/h, il sera possible d'appliquer des dosages de 1,1 à 4,5 t/ha.

La qualité du produit est essentielle pour obtenir un épandage de qualité. Malheureusement, les granulés sont très secs, cassants et poussiéreux lors de la prise en pale. Lors de la réalisation des essais, il est observé pour les P1 et P3 (fumiers de poulet sur paille et de dinde sur copeaux), une importante formation de poussière qui se traduit par une quantité plus importante de produit épandu avec une faible distance de projection. Pour les 2 autres produits, il n'est pas observé de formation de poussières dans de telles proportions.

CONCLUSION

Dans cette expérimentation, nous avons souhaité étudier les conditions de fabrication et d'utilisation de 4 granulés produits à partir de différents fumiers de volailles. Lors de la phase de granulation, la filière avec des trous de 4 mm de diamètre a été identifiée comme la meilleure solution pour granuler des fumiers non broyés et sans séparation préalable fientes/litière. Ces granulés ont vocation à être des

fertilisants intégrés dans la norme NFU 42 001 (engrais organiques). Leur composition et leur spécification les font rentrer préférentiellement dans la dénomination N°10 « Engrais organique NPK » de la dite norme actuelle.

Les résultats montrent également que l'épandage des granulés de fumiers de volaille est possible avec des machines d'épandage à plateaux en service. Le réglage de la machine et la qualité du granulé sont essentiels pour obtenir un épandage homogène et de qualité.

Afin de compléter cette approche technique et agronomique, il sera nécessaire de compléter ce travail par une approche économique, notamment sur une estimation des coûts liés à la granulation (investissement et fonctionnement) ainsi que du transport des matières premières et des granulés. Ces éléments permettront d'informer les futurs utilisateurs et d'orienter les stratégies des agriculteurs en matière de fertilisation.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été conduit dans le cadre collaboratif d'un projet FRANCE AGRIMER, impliquant l'ITAVI, la CRAB, l'IRSTEA et l'entreprise Laprovol Energie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- COMIFER, 2013. Guide du Calcul de la fertilisation azotée. Brochure.
- CRAB, 2002. Caractérisation agronomique de sous-produits. Bretagne eau Pure. Rapport d'étude
- Directive Nitrates. 1991. Directive 91/676/CEE concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles.
- ITAVI, 2003. Caractérisation des fumiers, lisiers et fientes de volailles. Rapport d'étude
- IDELE, ITAVI, Arvalis, IFIP 2001. Fertiliser avec des engrais de ferme. Brochure 104p
- IF2O, CRAB. 2006. Caractérisation de fertilisants organiques. Rapport d'étude.
- Houot S., Cambier P., Deschamps M., Benoit P., Bodineau G., Nicolardot B., Morel C., Linères M., Le Bissonnais Y., Steinberg C., Leyval C., Beguiristain T., Capowiez Y., Poitrenaud M., Lhoutellier C., Francou C., Brochier V., Annabi M., Lebeau T., 2009. Innovations Agronomiques 5, 69-81
- Norme NFU 42 001 : Produits finis normalisés NF U42-001 – « engrais - dénominations et spécifications »

Tableau 1. Composition chimique des fumiers utilisés dans l'essai.

	Fumier Pailleux Poulet (P1)	Fumier Pailleux Dinde (P2)	Fumier Copeaux Dinde (P3)	Fumier Paille et Copeaux Dinde (P4)
MS (% du brut)	55,7	69	58,7	86,6
MO (% du brut)	49,5	57,8	48	68,9
pH	6,9	7,8	7,8	6,7
C/N	9,3	6,9	10	9,6
N total (% du brut)	2,7	4,2	2,4	3,6
N-NH ₄ (% du brut)	0,6	0,6	0,4	0,7
Norg (% du brut)	2	3,6	1,9	2,8
P ₂ O ₅ (% du brut)	1,6	2,3	2,5	3,6
K ₂ O (% du brut)	2,1	2,9	2,4	3,9
CaO (% du brut)	1,3	2,3	2,7	3,7
MgO (% du brut)	0,7	0,7	0,8	1

Tableau 2. Composition chimique des granulés produits.

	Granulé P1	Granulé P2	Granulé P3	Granulé P4
MS (% du brut)	87,5	84,7	88,9	85,9
MO (% du brut)	73,1	67,4	72,5	66,3
pH	6,8	7,1	6,9	6,8
C/N	9,8	8,9	9	8,8
N total (% du brut)	3,7	3,8	4	3,8
N-NH ₄ (% du brut)	0,8	0,7	0,8	0,8
Norg (% du brut)	2,9	3	3,2	2,8
P ₂ O ₅ (% du brut)	2,3	3,4	3,2	3,9
K ₂ O (% du brut)	3	3,3	3,7	3,4
CaO (% du brut)	1,8	3,2	3,1	4,1
MgO (% du brut)	0,9	1,1	1	1,4

Tableau 3. Evolution de la composition chimique (sur produit sec) entre les fumiers avant granulation et les granulés après passage en filière.

% de différence	Granulés P1 / Fumier	Granulés P2 / Fumier	Granulés P3 / Fumier	Granulés P4 / Fumier
MO	-5,32	-4,13	-0,22	-2,37
N total	-0,62	-1,6	0,41	0,27
N-NH ₄	-0,15	-0,05	0,14	0,15
Norg	-0,28	-1,67	0,33	0,026
P ₂ O ₅	-0,24	0,68	-0,66	0,38
K ₂ O	-0,34	-0,31	0,07	-0,54
CaO	-0,28	0,44	-1,11	0,5
MgO	-0,18	0,33	-0,24	0,5

Figure 1. Minéralisation rapide du carbone des 4 fumiers granulés (en % de C organique minéralisé en fonction du nombre de jours).

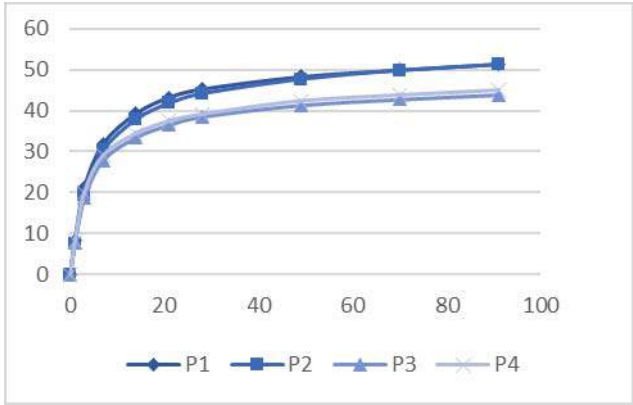
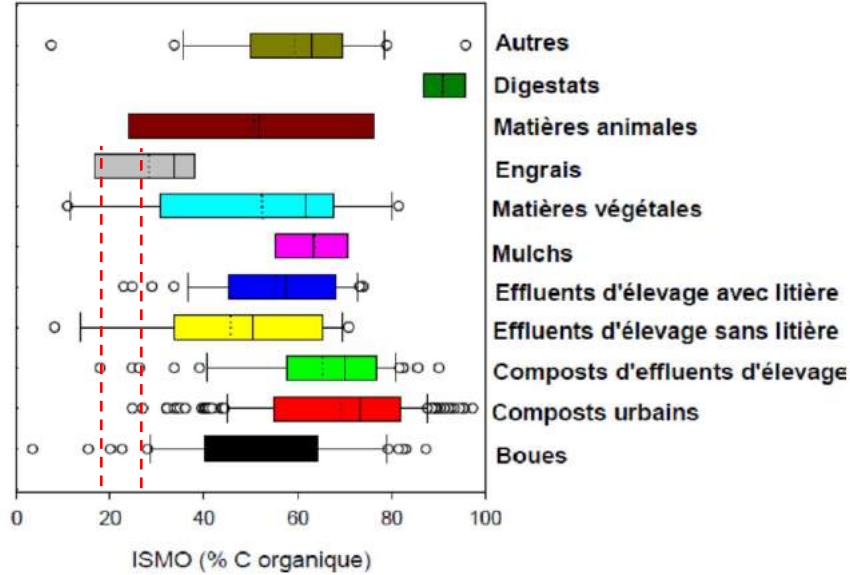


Figure 2. Positionnement de 440 Produits Résiduels Organiques et des fumiers granulés (indiqués par les pointillés rouges) par rapport à leurs indices ISMO (Houot *et al.*, 2009).



RÉSUMÉ

Les effluents d'élevage présentent un intérêt très fort tant d'un point de vue agronomique (amendement et fertilisation organique des sols) qu'économique (épargne d'engrais de synthèse). Cependant, dans les régions à forte densité d'élevage (Bretagne, Pays de la Loire, Normandie), leur utilisation sur place est limitée et il est nécessaire de les exporter vers d'autres régions de culture. La production de granulés à partir des fumiers de volailles constitue une solution envisageable pour faciliter l'exportation des produits organiques. L'objectif du projet est d'étudier les conditions de fabrication et d'utilisation d'un produit à base de fumier de volailles se présentant sous forme de granulés. Le projet a permis de montrer que pour des fumiers de poulets et de dindes, il était possible de réaliser des granulés de 4 mm de diamètre sans difficultés majeures. Les analyses chimiques et agronomiques ont également mis en avant un effet ressemblant à un compostage rapide avec légère réorganisation de l'azote, sans provoquer de changements importants dans leurs compositions chimiques. Il est donc possible d'utiliser ces produits organiques à une dose de 4,5 t/ha tous les ans pour un régime renforcé ou tous les 2 à 3 ans pour un régime de compensation des exports. A partir des résultats d'analyses, il est également possible pour ces granulés de volaille de rentrer dans la norme 42 001 « Engrais organiques NPK, NP, NK entièrement d'origine animale et/ou végétale » sous la dénomination du N° 10 « Engrais organique NPK ». Concernant l'aptitude à l'épandage des granulés de fumiers de volailles, les résultats montrent une répartition longitudinale excellente permettant de maîtriser la dose globale apportée à la parcelle. Les largeurs de travail obtenues se situent vers 14-16m dans les meilleures conditions de réglages pour un débit de 6 kg/s. La qualité du granulé est essentielle pour obtenir un épandage de qualité. Ainsi les produits trop secs se révèlent poussiéreux lors de la prise en pale et cela tend à diminuer son aptitude globale à l'épandage et entraîne une formation de poussière importante.

PELLETING OF POULTRY MANURE FOR OPTIMIZED MANAGEMENT OF THEIR AGRONOMIC VALORIZATION

Livestock manure is interesting both for agronomic (fertilizing and soil amendment) and economic (sparing of industrial fertilizers) performances. However, in high livestock density regions, their use on site is limited and it is necessary to export it to other crop regions. Pelleting of poultry manure is a possible answer to facilitate the export of livestock manure. The objective of the project is to study the conditions of producing and using of pellets from poultry manure. The project has shown that for manure from chicken and turkey, it was possible to make pellets of 4 mm of diameter without strong difficulties. The chemical and agronomic analyses also highlighted an effect similar to a rapid composting with slight reorganization of nitrogen without causing significant changes in their chemical compositions. It's also possible to use these manure pellets at a dose of 4.5 t/ha annually for a strengthened regime or every 2 to 3 years for an export compensation scheme. From the test results, it is also possible for these manure poultry pellets to enter in the standard 42 001 "Fertilizers NPK, NP, NK entirely of animal and / or plant origin" under the name of No. 10 "fertilizer NPK". Concerning the ability to soil application of poultry manure pellets, the results show an excellent longitudinal distribution for control of the overall dose given to the plot. The working widths obtained lie to 14-16m in the best settings for a rate of 6 kg/s. The pellet quality is essential for a good spreading application. Too dry products are dusty when taking into blade and they tend to decrease their overall ability to spreading and cause a major dust formation.

Objectif du projet

Etudier les conditions de fabrication et d'utilisation d'un produit à base de fumier de volailles se présentant sous forme de granulés. Cette technique qui se veut simple, doit permettre d'obtenir un produit dense et facilement transportable (produit sec, concentré en éléments fertilisants), un produit homogène et épanable avec un épaneur à engrais classique (amélioration de la qualité de la répartition du produit à l'épandage) afin de pouvoir concurrencer l'utilisation d'engrais minéraux dans les régions céréalières généralement peu utilisatrices de produits organiques. D

Matériel et Méthodes

Descriptif du procédé de granulation

Les fumiers de volaille collectés dans le cadre du projet sont issus d'élevage de dinde (litière paille, copeau ou mélange paille-copeau) et de poulet de chair standard. Les tests de granulation des fumiers ont été réalisés en collaboration avec l'entreprise Laprovol Energie, basée à Renay (41). La granulation des fumiers ou autre matières ne peut se faire que sur des produits secs ou séchés. Un taux de matière sèche (MS) supérieur à 75% est nécessaire pour un bon fonctionnement du système. Les fumiers séchés sur le site de l'entreprise ont permis d'obtenir des produits ayant des taux de MS de 80 à 95%. D

Une séparation de la paille et des fientes ainsi qu'un broyage de la matière avant granulation est possible. Cependant, dans le cadre de l'essai nous n'avons pas réalisé ces opérations, car l'entreprise ne disposait pas de matériel adapté. Ce projet nous a donc permis de tester la faisabilité d'une granulation de fumiers bruts, dans une approche très simplifiée. Le fumier sec est chargé dans une mélangeuse à 3 vis horizontales puis est ensuite convoyé par 2 vis en auge vers la presse à granuler. Une pulvérisation d'eau est possible juste avant la presse pour rajouter jusqu'à 5 points d'humidité en cas de produit trop sec. Le produit tombe par gravité dans la presse à granuler où 3 galets tournants forcent la matière à passer dans les trous cylindriques d'une filière (Figure 1). Il ressort alors sous forme de granulés cylindriques qui sont convoyés par tapis vers un refroidisseur, puis un tamiseur et une ensacheuse big bag. D



Figure 1 - Galets et filières utilisés pour la granulation D

Différentes filières ont été testées afin de trouver celles qui permettent de granuler les fumiers de volaille dans des conditions optimales (Tableau 1). La réalisation des tests a permis de montrer que la filière n°2 est la mieux adaptée à la granulation des fumiers de volaille. En effet, le taux de compression (90 Bars) et l'intensité électrique des moteurs (180 A) semblent optimaux par rapport aux filières n°1 et n°3. De plus, la filière n°2 permet d'atteindre un débit de granulation très satisfaisant (1,2 à 1,5T/h) et génère peu de fractions fines. D

Tableau 1 — Filières testées au cours des essais D

Filière D	Diamètre des trous (mm) D	Epaisseur (mm) D	Hauteur de cylindre de compression (mm) D	Taux de compression (bar) D
1D	4D	70D	20D	5D
2D	4D	50D	16D	4D
3D	6D	80D	36D	6D

Les fumiers issus de 4 élevages : fumier pailleux de poulet (P1), fumier de dinde sur paille (P2), fumier de dinde sur copeau (P3) et fumier de dinde sur mélange paille copeau (P4) ont été testés dans notre étude. D Pour apprécier la valeur agronomique des granulés produits, nous nous sommes basés sur des analyses agronomiques des fumiers avant puis après leur transformation en granulés (Tableaux 1 et 2). Cette approche a été complétée par des analyses microbiologiques d'incubation (Norme XPU 44-163) et du calcul de l'Indice de Stabilité de la Matière Organique (ISMO) issus de la norme (XPU 44-162) réalisées sur les produits finaux. Toutes les analyses ont été réalisées par un laboratoire agréé. D

L'évaluation des performances à l'épandage des granulés de fumiers de volaille a fait l'objet d'essais au banc CEMOB du Pôle Epandage Environnement de l'IRSTEA. Les mesures portent sur la qualité de la répartition spatiale des produits (répartition longitudinale, répartition transversale, nappe d'épandage). La répartition longitudinale est obtenue par la pesée en continue pendant la vidange de l'ensemble tracteur + épaneur. La répartition transversale est obtenue par pesage des quantités recueillies dans des bacs de collecte. Les bacs sont portés par des poutres qui se déplacent dans la zone d'épandage pendant l'essai. La nappe est obtenue par calcul à partir des pesées des bacs et de leurs positions. L'épaneur prototype utilisé comprend un dispositif d'épandage à plateaux. D

Résultats et Discussion

Valeurs fertilisantes des granulés

Les analyses des granulés montrent qu'avec une teneur en azote de plus de 3% sur produit brut (3,8% en moyenne), une somme de N+P+K>7% (10% en moyenne) et un taux de matière organique (MO) compris entre 66% et 73%, ces granulés se classent, selon la norme NFU 42-001, dans la catégorie des engrais organiques. Les évolutions de composition avant granulation – après transformation ont permis de montrer que mise à part la Matière Organique (MO), pour laquelle il est constaté une légère baisse de sa teneur après granulation pour les 4 fumiers, le procédé est conservatoire des teneurs en éléments fertilisants D

Les analyses de carbone rapidement minéralisable indiquent 2 comportements différents des fumiers lors de la granulation : les 2 fumiers à base de paille se minéralisent plus vite (52% en moyenne du C sur 91 jours) que les fumiers à base de copeaux (44% en moyenne du C sur 91 jours). Cette observation est liée au fait que les teneurs en lignine dans les copeaux de bois sont supérieures à celles des pailles. Le carbone contenu dans la lignine est très stable et se dégrade beaucoup moins rapidement dans les sols. Si on compare ces courbes aux références disponibles (IF20 2006), les vitesses de minéralisation de nos produits organiques granulés sont proches des vitesses de minéralisation de produits peu ou pas compostés (49% du C sur 91 jours) et supérieure à celle de certains effluents volailles compostés (35 à 40% du C sur 91 jours). L'indice ISMO (norme XP U 44-162) est un indicateur qui a pour objectif d'exprimer *a priori* dans le produit initial le pourcentage de matière organique potentiellement résistante à la dégradation (minéralisation). Ainsi, plus la valeur d'ISMO est élevée pour un produit organique, plus le potentiel amendement organique du produit est élevé. L'indice ISMO des 4 granulés étudiés est relativement faible, (19,1% pour P1D 20,6% pour P2D 24,6% pour P3D 26,4% pour P4) et est légèrement plus important pour les fumiers à base de copeaux du fait de l'importance des produits ligneux stable dans le calcul de cet indice. Si l'on se réfère au classement du COMIFER, ces produits se situent donc dans la catégorie « engrais ». D

D'après l'arrêté ministériel du 22 octobre 1993 relatif au Code des bonnes pratiques agricoles les fumiers de volailles frais sont classés en type II, ce qui leur impose des contraintes plus fortes sur le calendrier d'épandage et sur les capacités de stockage à respecter, par rapport aux composts qui sont classés en type I. Les rapports C/N des 4 échantillons sont supérieurs à 8 (de 8,8 à 9,8 selon les produits). Les granulés de fumiers de volaille se classent donc de ce fait comme effluent de type I (C/N >8). Ce fertilisant pourrait prétendre à rentrer dans la norme 42 001 « Engrais organiques NPK, NP, NK entièrement d'origine animale et/ou végétale » sous la dénomination du N° 10 « Engrais organique NPK » avec comme spécification N+P+K>7%, N>3%, P>2%, K>2% D

Epanabilité des granulés

Les essais au banc CEMOB sont réalisés avec un débit fixé à 6 kg/s. La répartition longitudinale mesurée est excellente avec les fumiers granulés. Les valeurs d'étendue dans la zone de tolérance (EZT) sont systématiquement à plus de 90% et pourront même certainement être améliorées avec des machines de taille de trémie plus importante. Ces valeurs sont élevées et traduisent une grande stabilité du débit, dues à la régularité de granulométrie et au dispositif d'alimentation adapté. Le réglage de la machine est important afin d'obtenir une répartition spatiale la plus homogène. Les résultats obtenus avec les produits P2 et P4 donnent les meilleures valeurs de coefficient de variation (CV) à moins de 10%. Pour ces 2 produits, la largeur optimale se situe à 16 m. Pour les 2 autres produits (P1 et P3), la largeur optimale se situe à 14 m mais avec un CV de plus de 20%. Ainsi, avec une largeur de 16 m, dans une plage de vitesse d'avancement de 3 à 12 km/h, il sera possible d'appliquer des dosages à la parcelle de 1,1 à 4,5 t/ha. La qualité du produit est essentielle pour obtenir un épandage de qualité. Malheureusement, les granulés sont très secs, cassants et poussiéreux lors de la prise en pale. Lors de la réalisation des essais, il est observé pour les P1 et P3 (fumiers de poulet sur paille et de dinde sur copeaux), une importante formation de poussière qui se traduit par une quantité plus importante de produit épandu avec une faible distance de projection. Pour les 2 autres produits, il n'est pas observé de formation de poussières dans de telles proportions. D

EXPOSITION DES ACCROCHEURS AUX POUSSIÈRES AÉRIENNES DANS LES ABATTOIRS DE VOLAILLES

Adeline Huneau-Salaün¹, Julie Puterflam², Loïc Balaine¹, Pascal Galliot², Sophie Le Bouquin¹

¹ Anses – Laboratoire de Ploufragan-Plouzané, BP 53, 22440 Ploufragan

² ITAVI, Zoopôle de Beaucemaine, 22440 Ploufragan

adeline.huneau@anses.fr

RÉSUMÉ

Plus de 32000 personnes travaillent dans les abattoirs de volailles français. Parmi elles, les professionnels manipulant les oiseaux vivants peuvent être exposés à des aérosols composés de poussières et de microorganismes. L'étude ACCROCH'AIR a été menée par l'ITAVI et l'Anses dans 17 abattoirs de volailles du Grand-Ouest de la France afin d'évaluer les effets potentiels de ces bioaérosols sur la santé des travailleurs au poste d'accrochage des volailles. Trente visites de mesures ont été réalisées en 2015 sur 27 chaînes d'abattage afin de quantifier l'exposition de 109 accrocheurs aux poussières. L'empoussièrément total ambiant au poste d'accrochage varie fortement selon les dispositions des locaux : les cabines d'accrochage cloisonnées peuvent présenter des niveaux élevés de poussières même en présence de systèmes de ventilation spécifiques comme des caissons ou dosserets aspirants ; la présence d'une gaine de ventilation, en augmentant le renouvellement de l'air, tend à diminuer cet empoussièrément. Le taux de poussières est généralement plus faible dans les postes d'accrochage ouverts sur le hangar de réception des volailles, le volume très important du local permettant une diffusion rapide des poussières loin des opérateurs. Néanmoins, l'exposition des professionnels aux poussières inhalables (diamètre inférieur à 100 µm) est souvent élevée quel que soit l'aménagement du poste d'accrochage. L'exposition aux poussières alvéolaires (< 5 µm) est également importante bien que généralement inférieure au seuil réglementaire. Ces expositions sont étroitement corrélées au taux de poussières ambiant, montrant que les mesures préventives ou correctives qui pourraient être mises en place au niveau de la zone d'accrochage auront un impact significatif sur les expositions individuelles. Une évaluation plus poussée des moyens de prévention collective à mettre en œuvre doit donc être initiée pour chaque poste de travail pour les conditions les plus à risque identifiées. Le port d'équipement de protection individuel adéquat (masque FFP2) est en attendant indispensable pour les professionnels travaillant au poste d'accrochage. L'analyse des résultats médicaux actuellement en cours permettra de déterminer si l'exposition aux poussières a un impact sur la santé respiratoire des professionnels.

ABSTRACT

Exposure to aerial dust of poultry handlers in slaughterhouses in France

More than 32,000 people work in poultry slaughterhouses in France. Among them workers handling live birds may be exposed to dust and microorganisms. ACCROCH'AIR project aimed to assess the potential impacts of those bioaerosols on respiratory health of workers handling poultry. Thirty visits were carried out in 17 slaughterhouses in the Western part of France to quantify handlers' exposure to aerial dust. Ambient dust strongly varied among the 27 slaughter lines studied according to the workplace arrangement. Closed cabins show high levels of aerial dust despite specific ventilation systems as ventilation casings; ceiling air ducts improve air circulation and tend to lower dust concentration. Aerial dust concentration is commonly lower when poultry are handled in very large warehouses where dust quickly diffuses away from workers. However exposure to inhalable dust (diameter < 100 µm) is often high whatever the workplace arrangement is. Exposure to respiratory dust (< 5 µm) is also high but under the regulation threshold. Workers' exposure is closely correlated to ambient dust concentration suggesting that preventive measures implemented in the handling area are likely to have a significant impact on workers' exposure. An in-depth diagnostic of available technical solutions for collective prevention is needed for every identified risky workplace and wearing an adequate respiratory mask is strongly recommended for workers handling poultry. Ongoing analysis of medical data will contribute to assess whether the dust exposure might have an impact on respiratory health of workers.

INTRODUCTION

En France, environ 32000 employés travaillent dans le secteur de l'abattage et de la transformation des volailles (BIMSA, 2007). Si les troubles musculo-squelettiques demeurent la principale affection professionnelle de santé pour ces salariés (MSA, 2011), les opérateurs manipulant les volailles vivantes sont aussi exposés aux poussières générées par les mouvements des animaux en situation de stress. Ces aérosols d'origine aviaire ont déjà été associés à la survenue de maladies respiratoires chroniques chez les éleveurs de poules (Botrel et al., 2013) et pourraient altérer la capacité pulmonaire des employés en abattoirs de volailles (Mirabelli et al., 2012).

L'étude ACCROCH'AIR présentée dans cet article a donc pour objectif de mieux caractériser l'exposition aux poussières des travailleurs en abattoir de volailles ainsi que l'impact des dispositifs de ventilation et d'étourdissement existants afin de proposer des méthodes de maîtrise de l'empoussièrement. Une partie médicale de l'étude visant à mesurer les impacts potentiels de l'exposition aux poussières sur la santé respiratoire des accrocheurs est également en cours de finalisation.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Abattoirs visités

Dix-sept entreprises réalisant de l'abattage de volailles dans le Grand-Ouest de la France, contactées *via* la FIA (Fédération des Industries Avicoles) et le CNADEV (Conseil National des Abattoirs et Ateliers de Découpe de Volailles) ont accepté de participer à l'étude. Entre mai et décembre 2015, 27 chaînes d'abattage dans 23 établissements de ces entreprises ont été visitées pour faire des mesures d'empoussièrement de l'air au poste d'accrochage des volailles. Dix-huit chaînes abattaient des petits galliformes (poulet, poule, coquelet, pintade), six de la dinde, deux du canard et une du pigeon et de la caille. La production annuelle des ateliers variait de 15 à 162 000 milliers de volailles par an (moyenne 20360 ± 37664), montrant la grande diversité des structures suivies.

1.2. Mesures d'empoussièrement et d'exposition

Les prélèvements de poussière d'ambiance par méthode gravimétrique sont réalisés lors de l'étape d'accrochage des volailles sur la ligne d'abattage, avant la saignée ; la méthode de mesure utilisée par coupelle rotative est décrite plus en détail dans la norme NF X 43-262 qui sert de base à la réglementation européenne (INRS, 2004). Le capteur est placé un mètre derrière les accrocheurs à 1,5 m du sol (CAP, Tecora, Fontenay-sous-Bois). La durée des prélèvements est en moyenne de 156 ± 38 min (minimum=90, maximum=260 min) et la période de mesure a été standardisée de façon à commencer deux

à trois heures après le début du fonctionnement de la chaîne le jour des mesures. La cassette filtrante du capteur est pesée avant et après mesure ; la différence de masse ramenée au volume d'air filtré permet de mesurer la concentration en poussières totales (mg/m^3 d'air). Pour mesurer l'exposition individuelle des salariés, les poussières inhalables ($< 100 \mu\text{m}$ de diamètre) et alvéolaires ($< 5 \mu\text{m}$) sont prélevées à l'aide de capteurs portatifs (CIP 10, Tecora, Fontenay-sous-Bois) munis de filtres sélectifs. Les prélèvements sont réalisés à hauteur des voies respiratoires, par fixation de deux capteurs individuels (poussières inhalable et alvéolaire) sur la tenue du professionnel. La quantification des deux types de poussières est réalisée par gravimétrie. La température et l'hygrométrie au poste d'accrochage est mesurée à l'aide d'une sonde KIMO TH110 (Montpon Ménéstérol, France).

1.3. Données descriptives et analyses statistiques

Pour chaque abattoir et chaîne d'accrochage étudiés, des questionnaires ont été complétés décrivant l'aménagement des locaux et les conditions de travail. Les concentrations en poussières sont mises en relation avec les caractéristiques de la salle d'accrochage, de son fonctionnement et les conditions de mesure à l'aide du test non-paramétrique de Wilcoxon ou du coefficient de corrélation sur les rangs de Spearman. Pour les expositions aux poussières, le nombre important de mesures permet de réaliser une Analyse Factorielle Mixte Discriminante (AFMD) suivie d'une Classification Hiérarchique Ascendante afin d'identifier des profils de conditions de travail influençant les taux d'exposition (package FactoMinR, R, Lé et al., 2008).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Taux de poussières ambiantes

Trente et une mesures du taux de poussières ambiantes ont été réalisées en salle d'accrochage, deux répétitions ayant été réalisées pour 4 chaînes. Un problème de fonctionnement de capteur a amené à invalider une mesure. La quantité de poussières récoltée n'est pas corrélée à la durée de fonctionnement du capteur ($\rho = -0,13$, $P = 0,47$). Le taux moyen de poussières ambiantes est de $4,729 \text{ mg}/\text{m}^3 \pm 4,438$ ($0,143$ - $17,561$), montrant une très forte variation selon les chaînes d'abattage. Peu d'éléments structurels du poste d'accrochage se sont avérés significativement associés au taux de poussières totales mesuré dans l'air ambiant. La présence d'une gaine de ventilation dans la cabine d'accrochage tend à diminuer l'empoussièrement de l'air : $2,672 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($\text{IC}_{95\%}$ [$1,550$ - $3,795$]) dans les salles avec une gaine contre $5,757 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($\text{IC}_{95\%}$ [$3,566$ - $7,949$]) dans celles non équipées.

2.2. Exposition des salariés aux poussières

Cent-neuf mesures d'exposition ont été réalisées, soit un à quatre salariés suivis par visite et trois à huit par abattoir. Une mesure d'exposition aux poussières inhalables a été invalidée à cause d'un problème de fonctionnement du capteur. Les mesures d'exposition ont duré en moyenne 149 minutes $\pm$ 31 (90 à 205 minutes). Les expositions mesurées ne sont corrélées à la durée de fonctionnement du capteur ni pour les poussières inhalables ($\rho = -0,01$, $P = 0,98$) ni pour les poussières alvéolaires ($\rho = -0,13$, $P = 0,16$). L'exposition des accrocheurs aux poussières inhalables et alvéolaires est variable selon les abattoirs, certaines structures se distinguant par des valeurs observées très élevées par rapport aux autres (Figure). Soixante-cinq salariés (60 %) présentent une exposition aux poussières inhalables durant la période de mesure supérieure à 10 mg/m³. Pour les poussières alvéolaires, trois mesures (2,7 % des observations) dépassent le seuil réglementaire de 5 mg/m³. Les expositions mesurées sont très fortement corrélées à l'empoussièrement de l'air ambiant ($\rho = 0,56$, $P < 0,01$ pour les poussières inhalables et $\rho = 0,51$, $P < 0,01$ pour les alvéolaires).

L'AFMD et la classification ont permis de constituer trois profils de conditions de travail (Tableau) se caractérisant par une exposition différente des salariés aux poussières inhalables. Cette analyse n'a pas été concluante pour les poussières alvéolaires. Un premier profil, majoritaire, regroupe des abattoirs équipés surtout de cabines d'accrochage de petite surface, incluant une ventilation dynamique telle que des caissons ou des dosserets aspirants. Une lumière bleue et des barres anti-stress sont régulièrement installées dans ces abattoirs où les volailles sont accrochées avant étourdissement. La quantité de poussières ambiantes mesurée y est en moyenne élevée, menant à une exposition des salariés aux poussières inhalables de 23,819 mg/m³ (IC_{95%} [17,702-29,935]), bien que fortement variable d'un abattoir à l'autre. Le deuxième profil correspond à un seul abattoir de poulets où l'accrochage a lieu dans un très vaste hangar servant aussi à la réception des volailles, ventilé naturellement. Les mesures de poussières ambiantes (deux répétitions) et les expositions observées y sont faibles (4,779 mg/m³ IC_{95%} [3,566-5,992]). Le dernier profil est plus hétéroclite puisqu'il regroupe les abattoirs pratiquant l'étourdissement gazeux, et donc l'accrochage des volailles inconscientes, et divers abattoirs de canards et de dindes. Ces derniers se distinguent par le fait que l'accrochage y est pratiqué dans un grand hangar ouvert sur l'aire de réception des animaux, ventilé naturellement. Dans ce profil d'abattoir, l'exposition aux poussières inhalables, en moyenne de 8,335 mg/m³ (IC_{95%} [5,959-10,711]) tend à être inférieure à celle observée dans le profil 1.

2.3. Représentativité des abattoirs étudiés

L'étude ACCROCH'AIR a été basée sur un recrutement volontaire d'abattoirs acceptant de participer. Ce mode de recrutement, s'il est le seul possible pour des enquêtes n'ayant pas un caractère réglementaire, ne garantit pas une représentativité optimale de la population cible par l'échantillon volontaire étudié. Ce risque de biais de sélection a été limité en ouvrant l'étude à des abattoirs de taille et de spécialisation diverses grâce à la participation des deux syndicats interprofessionnels du secteur, qui couvrent des domaines d'activité distincts. L'échantillon d'abattoirs obtenu représente un volume d'abattage annuel de près de 351 millions de volailles sur 965 millions abattues en 2015 en France (FranceAgriMer, 2016), ce qui couvre plus d'un tiers de l'activité nationale. Les abattoirs inclus dans l'étude présentent par ailleurs une très grande diversité de conception, rendant possible l'analyse de conditions de travail très variées mais limitant les possibilités de généralisation des résultats de par la faible nombre d'observations réalisées dans chaque situation. Cette difficulté est en partie compensée par le suivi simultané de plusieurs salariés lors de chaque visite au poste de travail. Il faut également préciser qu'en l'absence de référence exhaustive sur la configuration des outils d'abattage de volailles en France, il est impossible de savoir quelle est la représentativité à l'échelon national des profils d'abattoirs identifiés dans l'étude.

2.4. Protection des travailleurs

L'empoussièrement de l'air a un effet direct sur l'exposition des travailleurs, qui augmente lorsque l'air ambiant est plus chargé en poussières. Les valeurs maximales d'exposition définies par le code du travail (article R4442-10) sont en moyenne de 10 mg/m³ de poussières inhalables et 5 mg/m³ de poussières alvéolaires dans l'air inspiré sur une période de 8 heures, pour une personne travaillant dans un local à pollution spécifique (locaux agricoles notamment). Dans ACCROCH'AIR, le seuil réglementaire pour les poussières inhalables est dépassé pour 60 % des professionnels. Bien que les mesures n'aient été réalisées que sur 3 heures, on peut penser que le seuil maximal d'exposition est dépassé si les personnes travaillent 7 heures à l'accrochage des volailles. A l'opposé, la limite réglementaire pour les poussières alvéolaires n'a été dépassée que pour 3% des mesures. Les résultats d'exposition aux poussières inhalables montrent la nécessité du port d'un masque de protection FFP2 pour les personnes manipulant les volailles vivantes, ce qui n'a été constaté que pour un quart des travailleurs vus en poste.

L'exposition des professionnels aux poussières est très variable selon les abattoirs, en relation avec des dispositions de postes d'accrochage également très diverses. Un premier profil regroupe les abattoirs où l'accrochage est pratiqué dans un espace très vaste

directement attenant aux quais de débarquement des caisses d'animaux. Le grand volume permet alors une dispersion des poussières générées par la manipulation des volailles, sans nécessité d'un système de ventilation spécifique. L'exposition des professionnels aux poussières est plus faible que dans les abattoirs équipés de cabine, même si elle excède le seuil réglementaire pour les poussières inhalables dans près d'un tiers des observations. Cette disposition est aussi associée à d'autres facteurs comme le décaissage manuel des animaux ou une exposition plus importante aux variations de températures (absence de chauffage) qu'il faut aussi considérer dans l'évaluation générale des conditions sanitaires de travail. A l'opposée, la majorité des abattoirs visités (17/27 postes d'accrochage) disposent d'un espace spécifique plus ou moins cloisonné pour l'accrochage des volailles. La mise en place de systèmes de ventilation spécifiques pour limiter l'empoussièrement ambiant des cabines d'accrochage ne permet pas de maintenir l'exposition aux poussières inhalables sous le seuil réglementaire dans 70% des observations (dans 18/20 abattoirs concernés). La présence d'une gaine de ventilation dans la cabine d'accrochage tend à limiter l'empoussièrement ambiant en favorisant le renouvellement de l'air mais cet impact n'est pas suffisant pour limiter l'exposition des professionnels. De même, l'accrochage des volailles étourdies réduit l'exposition des professionnels aux poussières mais cet effet n'est pas significatif dans l'étude du fait certainement d'un faible nombre d'observations réalisées dans ces conditions (3 chaînes équipées d'un système d'étourdissement au gaz). L'étude, de par son caractère transversal sur plusieurs ateliers, n'a pas permis une analyse suffisamment fine des systèmes de ventilation de chaque poste d'accrochage pour mettre en évidence les éventuels défauts de conception. Seul

un diagnostic complet des installations pourrait dégager des pistes d'amélioration, particulièrement pour les cabines les plus petites et cloisonnées.

CONCLUSION

Les situations très variées rencontrées dans les abattoirs montrent que l'empoussièrement de l'air est souvent associé à des conditions structurelles des installations qu'il semble difficile de faire évoluer. Une évaluation plus poussée des actions correctrices à mettre en œuvre doit donc être initiée pour chaque poste de travail pour les conditions les plus à risque identifiées, avec le soutien des services de prévention des risques professionnels. Le port d'équipement de protection individuel adéquat (masque FFP2) actuellement utilisé par une minorité d'accrocheurs est en attendant indispensable pour les professionnels travaillant au poste d'accrochage. Il est à souligner que les niveaux d'exposition mesurés sont les plus élevés qui ont été observés pour des travailleurs avicoles au cours des études menées par l'UMT Sanviol, que ce soit en couvoir ou en élevage de volaille (Puterflam et coll., 2013 ; Huneau-Salaün et coll., 2013 et 2015), peut-être à cause du grand nombre d'animaux manipulés par les accrocheurs. L'analyse des résultats médicaux collectés durant l'étude permettra une première évaluation de l'impact potentiel de cette exposition aux poussières sur la santé des professionnels.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié d'un financement de France AGRIMER, de la FIA et du CNADEV. Les auteurs remercient les professionnels et établissements ayant participé à l'étude et Mlle Edet pour sa collaboration.

REFERENCES

- BIMSA, 2007. N° 76, août septembre 2007.
- Botrel B., et al., 2013. Rapport final de l'étude épidémiologique sur les risques respiratoires des éleveurs de poules pondeuses. Juillet 2013, 56 p.
- FranceAgriMer, 2016. Conjoncture viande blanche au 29 mars 2016. <http://www.franceagrimer.fr/content/download/44330/423068/file/STA-VBL-VOL-2016-03-29.pdf>.
- Huneau-Salaün A et al., 2013. Concentration en poussières dans l'air ambiant des bâtiments de poules pondeuses. Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, 26-28 mars 2013.
- Huneau-Salaün et al., 2015. Expositions des salariés de couvoirs de palmipèdes aux poussières aériennes. Onzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 25-26 mars 2015.
- INRS, 2004. Exposition par inhalation aux aérosols. Principes et méthodes de mesures. N°INERIS-DRC-04-56770-AIRE-n°0401-OBI du 11/05/2004.
- Lê, S., Josse, J. & Husson, F. (2008). [FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis](#). *Journal of Statistical Software*. **25**(1). pp. 1-18.
- Mirabelli MC., et al., 2012. J. Occup. Environ. Med., 54 (2): 177-183.
- MSA, 2011. Observatoire des troubles musculo-squelettiques des actifs agricoles, synthèse nationale 2006-2011. 88 p. Disponible www.msa.fr
- Puterflam et al., 2013. AIRCOUV: Impact sanitaire de l'empoussièrement dans les couvoirs. Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, 26-28 mars 2013.

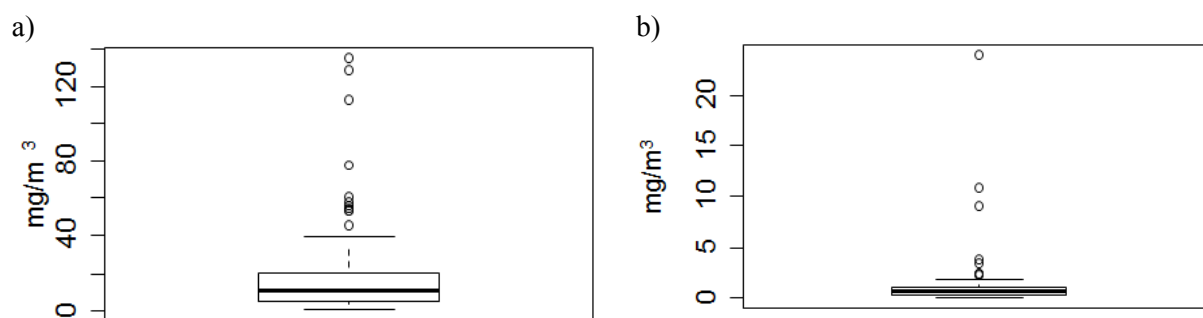


Figure: Expositions aux poussières inhalables (a) et alvéolaires (b) du personnel travaillant à l'accrochage des volailles (n=108 et n=109 mesures)

Tableau : Descriptifs des profils de conditions de travail influençant l'exposition des accrocheurs de volailles aux poussières inhalables (N=109 mesures d'exposition, France, 2015)
(Fréquence ou moyenne et intervalle de confiance de la moyenne à 95%)

		Profil 1	Profil 2	Profil 3
Nombre de mesures correspondants		73	8	28
Nombre de chaînes		19	1	7
Ventilation	dynamique	100%		29%
	statique		100%	71%
Lumière	bleue	70%		43%
	blanche			57%
	naturelle	30%	100%	
Etourdissement	électronarcose	100%	100%	57%
	gaz			43%
Décaissage	automatique	83%	100%	29%
	manuel	17%		71%
Chauffage	oui	24%	100%	
	non	76%		100%
Salle accrochage	cabine	87%		43%
	hangar	23%	100%	57%
Gaine aspirante	oui	56%		24%
	non	44%	100%	86%
Espèce abattue	Petit galliforme	62%	100%	29%
	dinde, canard ou pigeon	38%		71%
Nombre d'opérateurs		5 à 6	12	5 à 7
Poussières ambiantes (mg/m ³)		5,163 [4,035-6,292]	0,919 [0,719-1,119]	3,907 [2,559-5,254]
Exposition poussières inhalables (mg/m ³)		23,81 [17,70-29,93]	4,78 [3,57-6,00]	8,33 [5,96-10,71]
Exposition poussières alvéolaires (mg/m ³)		1,33 [0,60-2,05]	0,32 [0,20-0,44]	0,92 [0,74-1,01]
Longueur de la chaîne accrochage (m)		6,1 [5,6-6,5]	9,4	10,3 [8,0-12,6]
Surface salle (m ²)		32 [24-39]	673	161 [107-216]
Cadence abattage (volailles/h)		5451 [4880-6022]	13000	3733 [2490-4976]

ACCROCH’AIR

Expositions professionnelles aux poussières dans les abattoirs de volailles

Contexte

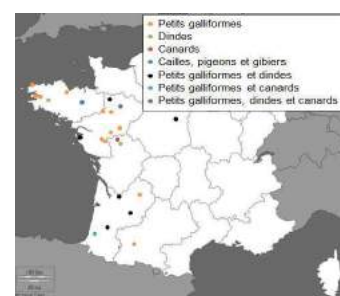
Plus de 25 000 personnes travaillent dans les abattoirs de volailles en France. Parmi elles, les professionnels réalisant l'accrochage des volailles peuvent être exposés à une quantité de poussières importante.

Objectif de l'étude

Le projet ACCROCH’AIR a pour but de mesurer l'exposition des accrocheurs de volailles aux poussières et d'étudier son éventuel impact sur la santé respiratoire afin de proposer des moyens de protection et de prévention adaptés. Ce poster présente les résultats sur les mesures de poussières.

Matériel et méthode

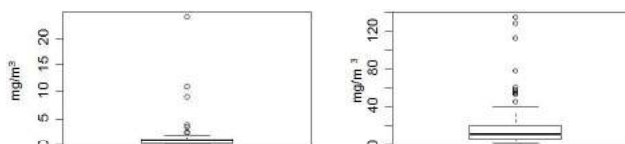
- 17 établissements d'abattage, 27 lignes d'abattage
- 1 à 4 accrocheurs équipés pendant 3 heures de capteurs pour mesurer leur exposition aux poussières inhalables (<0,1 mm) et alvéolaires (<0,005 mm).
- Un capteur placé 1 m derrière les travailleurs pour mesurer la concentration en poussières totales dans l'air.
- Trente séries de mesures impliquant 109 travailleurs en 2015.



Résultats

- L'exposition des accrocheurs aux poussières inhalables et alvéolaires est variable selon les abattoirs, certaines se distinguant par des valeurs très élevées.
- Soixante-cinq salariés (60 %) présentent une exposition aux poussières inhalables durant la période de mesure supérieure au seuil réglementaire de 10 mg/m³, et 3 mesures (2,7%) dépassent le seuil réglementaire de 5 mg/m³ pour les poussières alvéolaires.

Expositions aux poussières inhalables et alvéolaires des accrocheurs (n=108 et n=109 mesures)



Principales classes d'abattoirs définies par une analyse descriptive multidimensionnelle:

1/ Accrochage dans un espace attenant aux quais de débarquement: le grand volume permet une dispersion des poussières sans système de ventilation. L'exposition aux poussières est plus faible mais excède le seuil réglementaire pour les poussières inhalables dans 30% des observations.

2/ Accrochage des volailles dans une cabine cloisonnée: la mise en place de systèmes de ventilation sans maîtrise technique (vitesse et flux d'air) ne permet pas de maintenir l'exposition aux poussières inhalables sous le seuil réglementaire dans 70% des observations

Perspectives

Les situations variées rencontrées dans les abattoirs montrent que l'empoussièrement de l'air est souvent associé à des conditions structurelles des installations difficiles à faire évoluer. Une évaluation plus poussée des actions correctrices à mettre en œuvre doit donc être initiée pour chaque poste de travail, avec le soutien des services de prévention des risques professionnels. Le port d'équipement de protection individuel (masque FFP2) actuellement peu utilisé est indispensable pour les professionnels travaillant au poste d'accrochage.



Adeline Huneau-Salaün¹

Julie Puterflam²

Loïc Balaine¹

Pascal Galliot²

Sophie Le Bouquin¹

¹ Anses – Laboratoire de Ploufragan-Plouzané, BP 53, 22440 Ploufragan

² ITAVI, Zoopôle de Beaucemaine, 22440 Ploufragan

adeline.huneau@anses.fr

puterflam@itavi.asso.fr

Financiers



Partenaires



CONCENTRATION EN POUSSIÈRES ALVÉOLAIRES DANS L'AIR AMBIANT ET EXPOSITION DES TRAVAILLEURS EN BATIMENTS D'ELEVAGE DE POULET DE CHAIR LORS DE TÂCHES SPECIFIQUES

Nathalie Rousset¹, Coline Brame², Pascal Galliot¹, Anne-Catherine Cleuziou¹, Guillaume Goizin², Mélynda Hassouna³, et Adeline Huneau-Salaün⁴

¹ ITAVI Antenne Ouest – 41 rue de Beaucemaine – 22440 PLOUFRAGAN

² CRAB – 4 avenue du Chalutier Sans Pitié BP 10540 – 22195 PLERIN CEDEX

³ UMR INRA/Agrocampus 1069 SAS – 65 rue de St-Brieuc CS 84215 – 35042 RENNES CEDEX

⁴ ANSES Laboratoire de Ploufragan-Plouzané – BP 53 – 22440 PLOUFRAGAN

rousset@itavi.asso.fr

RÉSUMÉ

L'exposition des travailleurs avicoles aux poussières et aux gaz est un élément important à considérer au regard de la protection de leur santé. Une étude a été conduite afin de caractériser la qualité de l'air ambiant et l'exposition des éleveurs de poulets de chair aux poussières alvéolaires (diamètre < 5µm), à l'ammoniac et au dioxyde de carbone, durant des tâches spécifiques de leur activité : la surveillance en fin de bande (FDB), le ramassage (RAM), le curage du fumier (CUR), et le paillage du bâtiment (PAIL). Vingt-et-un éleveurs de poulets de chair standard ont été recrutés. Entre mai 2015 et juin 2016, 123 campagnes de mesures ont été réalisées, permettant le suivi de 31 FDB, 34 RAM, 27 CUR et 31 PAIL. Le niveau d'exposition aux poussières alvéolaires (PEXPO) a été mesuré à l'aide d'un capteur CIP10 (TECORA®) porté par l'éleveur au niveau des voies respiratoires. Le taux de poussières alvéolaires dans l'ambiance du bâtiment (PAMB) a été mesuré via un second capteur placé en un point fixe du bâtiment (1,7 à 2 m de hauteur environ). Les PAMB et les PEXPO sont significativement différents dans les quatre types de tâches ($p < 0,05$), et sont corrélés entre eux. Pour les tâches FDB, PAIL, RAM et CUR, les PAMB moyens s'élèvent respectivement à 1,6 mg/m³, 1,4 mg/m³, 0,3 mg/m³ et 0,3 mg/m³. Les PEXPO moyens s'élèvent respectivement à 1,1 mg/m³, 3,1 mg/m³, 0,6 mg/m³ et 0,3 mg/m³. Bien que les PAMB et PEXPO dépassent rarement la valeur limite d'exposition professionnelle sur 8 heures (5 mg/m³) établie pour les poussières dites « réputées sans effet spécifique », il semble important de recommander le port d'un masque respiratoire adapté (de type FFP2) durant les PAIL, et FDB, ainsi que durant les RAM, tâches particulièrement exposantes.

ABSTRACT

Dust concentrations, and dust exposure of workers in the air of poultry houses during specific “working task”.

Dust and ammonia exposure of poultry workers is an important consideration in relation to the protection of their health. A study was conducted to characterize the quality of ambient air and respirable dust, ammonia and carbon dioxide exposure of poultry workers, during specific tasks: inspection of animals (FDB), catching birds (RAM), the manure disposal (CUR), and litter distribution in the building (PAIL). Twenty-one farmers rearing standard broiler were recruited. 123 measurement campaigns were conducted (between May 2015 and June 2016), enabling the monitoring of 31 FDB, 34 RAM, 27 and 31 CUR PAIL. The exposure to respirable dust (PEXPO) was measured using a captor CIP10 (TECORA®) carried by the worker at level of the respiratory tract. The ambient respirable dust concentration (PAMB) was measured at a fixed point of the building (1.7 m in height approximately). The PAMB and PEXPO are significantly different in the four types of tasks ($p < 0.05$), and are correlated. During FDB, PAIL, RAM and CUR, the means PAMB were respectively 1.6 mg / m³, 1.4 mg / m³, 0.3 mg / m³ and 0.3 mg / m³. Means PEXPO were respectively 1.1 mg / m³, 3.1 mg / m³, 0.6 mg / m³ and 0.3 mg / m³. Although the PAMB and PEXPO rarely exceeded the limit threshold for occupational exposure over 8 hours (5 mg / m³) established for dust so-called "deemed no specific effect", it seems important to recommend the wearing of appropriate respiratory mask (FFP2 type) during PAIL, and FDB and in the RAM.

INTRODUCTION

L'air des bâtiments avicoles respiré par les travailleurs, est constitué d'un mélange complexe de particules organiques et inorganiques (résidus de litière, d'aliments, de plumes, de fientes) vectrices de biocontaminants (virus, bactéries, endotoxines), et de gaz (ammoniac, dioxyde de carbone, monoxyde de carbone) (Cambra-Lopez *et al.*, 2010 ; Radon *et al.*, 2002).

L'exposition des travailleurs avicoles aux polluants aériens est un élément important à considérer au regard de la protection de leur santé. Les liens entre ces expositions et la prévalence accrue des symptômes respiratoires, ainsi qu'une évolution défavorable de la fonction pulmonaire ont été largement étudiés chez les ouvriers agricoles, notamment en aviculture (Donham *et al.*, 2002 ; Gérault *et al.*, 2003 ; Guillam *et al.*, 2013).

Les troubles respiratoires peuvent devenir une source de gêne importante dans le travail quotidien, obligeant les personnes affectées à éviter certaines tâches à risque, voir à changer d'activité professionnelle. Des masques de protection individuels existent mais leur inconfort induit une faible utilisation en élevage (Gérault *et al.*, 2003). Afin de préserver l'attractivité du métier d'aviculteur, et pérenniser les filières avicoles, il semble donc important de renforcer la prévention des risques professionnels liés aux expositions aériennes.

Dans ce contexte, une étude a été conduite afin de caractériser la qualité de l'air ambiant et l'exposition des éleveurs de poulets de chair, aux poussières alvéolaires, à l'ammoniac et au dioxyde de carbone, durant des tâches spécifiques de leur activité a priori très exposantes : la surveillance en fin de bande (FDB), le ramassage (RAM), le curage du fumier (CUR), et le primo-paillage du bâtiment (PAIL).

1 MATERIEL ET METHODE

1.1 Echantillon d'élevages suivis

L'étude a été conduite dans vingt-et-un élevages de poulets de chair standard. Ces élevages ont été construits entre 1962 pour les plus anciens et 2012 pour les plus récents. Ils sont constitués de 1 à 4 sites, comprenant 2 bâtiments en moyenne par site (de 1 à 4 bâtiments par site). La surface totale moyenne des bâtiments est de 3 400 m².

Les campagnes de mesures ont été réalisées au final sur 28 sites d'élevages différents et 49 bâtiments datant de 25 ans en moyenne (2 à 41 ans), et d'une surface de 1200 m² en moyenne (980 à 1800 m²).

Quarante-huit bâtiments sont équipés d'une ventilation dynamique, un bâtiment est équipé d'une ventilation statique avec possibilité d'extraction dynamique de l'air en pignon. Deux bâtiments disposent d'un éclairage par lumière naturelle, les autres sont des bâtiments obscurs avec

éclairage artificiel. Quatre bâtiments sont équipés d'un sol bétonné, les autres ont un sol en terre battue.

Seuls 20 bâtiments sont dépoussiérés systématiquement lors des opérations de nettoyage et désinfection après la sortie des animaux. Néanmoins le petit matériel (trémie d'alimentation, assiettes...) est lavé pour la plupart des bâtiments (47/49).

123 campagnes de mesures ont été réalisées dans ces élevages (entre mai 2015 et juin 2016), permettant le suivi de 31 tâches FDB, 34 tâches RAM, 27 tâches CUR, et 31 tâches PAIL.

1.2 Concentrations en poussières alvéolaires

Les concentrations moyennes en poussières alvéolaires (< 5 µm) sont calculées en mg/m³, selon une méthode de détermination gravimétrique (INRS MetroPol, 2009). Des capteurs CIP10 (TECORA®) ont été utilisés pour mesurer le niveau d'exposition aux poussières alvéolaires des travailleurs (PEXPO) ainsi que le taux de poussières alvéolaires dans l'ambiance du bâtiment (PAMB). Le CIP10 est constitué d'une pompe aspirant l'air au niveau d'un sélecteur de poussières, avec un débit moyen de 10 l/min, durant toute la durée de la tâche.

PAMB a été mesurée à l'aide d'un capteur suspendu en un point fixe à l'intérieur du bâtiment (environ 1,7 à 2 m de hauteur de façon à ne pas gêner la circulation des véhicules), sur le côté, au milieu de la longueur (en évitant la proximité d'une entrée ou sortie d'air).

PEXPO a été mesurée à l'aide d'un capteur CIP10 (TECORA®) porté par l'éleveur au moyen d'un baudrier permettant de maintenir le capteur au niveau des voies respiratoires.

1.3 Température et hygrométrie durant chaque tâche

La température et l'hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment durant chaque tâche suivie, ont été mesurées à l'aide de deux capteurs KIMO® (boîtier enregistreur KTH 350 équipé d'une sonde KTHP-150B). Le capteur intérieur est placé au même endroit que le CIP10 permettant de mesurer le PAMB. Le capteur extérieur est placé à environ 1,5 m de hauteur au niveau du portail d'entrée du bâtiment.

1.4 Concentrations en ammoniac et dioxyde de carbone

Pendant la tâche, quatre mesures de la concentration d'ammoniac (NH₃), et deux mesures de la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) dans le bâtiment sont réalisées à hauteur d'homme (environ 1,5 m), à l'aide de tubes réactifs Dräger (tubes NH₃ 5/a : 5-600 ppm et NH₃ 2/a : 2-30 ppm pour les mesures de concentration en ammoniac, et

tubes CO₂ 0,1%/a : 0,1-6 %, pour les mesures de concentration dioxyde de carbone).

1.5 Analyses statistiques

L'association entre les concentrations moyennes en poussières alvéolaires : PAMB et PEXPO, et les paramètres d'élevage durant les tâches, est étudiée au moyen du coefficient de corrélation de Spearman pour les données quantitatives, et d'un test de Student (variables à 2 modalités) ou de Kruskal-Wallis (variables > 2 modalités) pour les variables qualitatives.

2 RESULTATS

2.1 Durée des tâches

Les FDB sont les tâches les plus courtes, avec une durée moyenne de 34 min (de 8 à 66 min). Les RAM sont relativement longues, avec une durée moyenne de 3h 16 min (2h à 5h12 min). Les CUR sont moins longs, avec une durée moyenne de 2h 32 min (40 min à 4h57 min), de même que les PAIL avec une durée moyenne de 1h 48 min (43 min à 3h37 min).

2.2 Activités des éleveurs durant les tâches

Durant les FDB, l'éleveur est présent pratiquement tout le temps dans le bâtiment fermé, en présence des animaux (entre 85 et 100 % du temps). Durant les autres tâches, l'éleveur ne passe pas tout son temps dans le bâtiment. Il passe ainsi en moyenne 37 % de la durée de la tâche à l'extérieur du bâtiment durant les RAM (de 0 à 100 %), 26 % de la durée de la tâche à l'extérieur durant les CUR (de 0 à 64 %), et 20 % de la durée de la tâche à l'extérieur durant les PAIL (0 à 90 %). Cette durée varie en fonction de l'organisation du chantier et des activités réalisées par l'éleveur.

Durant les FDB, son activité principale consiste au ramassage des morts et/ou à la surveillance du comportement des animaux. Quelques activités supplémentaires telles que réparation ou réglage de matériel, la pesée d'animaux, le rajout ponctuel de litière ont par ailleurs été observées.

Durant les autres tâches, l'activité de l'éleveur est plus diversifiée. Lors des RAM, l'éleveur peut participer au ramassage des animaux et/ou au remplissage des caisses, et/ou conduire le véhicule permettant de transférer les caisses du camion au bâtiment. L'éleveur peut également avoir un rôle de coordination des équipes et veiller au bon déroulement du chantier sur tout ou partie de la durée de la tâche. Lors des CUR les activités possibles sont : conduite du véhicule permettant de ramasser le fumier, balayage du bâtiment (manuellement avec une souffeuse, ou mécaniquement avec un engin motorisé muni d'un bras télescopique), dégagement du fumier près des parois du bâtiment à la fourche. Lors des PAIL, il peut occuper différents postes de travail, et

principalement la conduite du tracteur ou pailleuse dans le bâtiment. Il peut également participer à l'étalement de la litière sur tout ou partie du bâtiment (à la main ou mécaniquement avec une faneuse par exemple).

Un enlèvement mécanique a été réalisé pour 7 RAM. Lors des RAM, des éleveurs ont parfois parqué les animaux pour limiter leur agitation, et lorsque le bâtiment en est équipé, un dispositif de lumière bleue a parfois été utilisé dans le même objectif.

2.3 Configuration des bâtiments durant les tâches

Durant les tâches pour lesquels les animaux ne sont plus présents dans le bâtiment, le système de ventilation n'est pas systématiquement en fonctionnement : 41% des CUR et 61 % des PAIL ont été suivis avec la ventilation en fonctionnement. La litière utilisée pour les animaux est essentiellement de la paille broyée. Néanmoins, des cosses de sarrasin (parfois en mélange avec des bouchons de paille), des copeaux de bois, de la paille entière, un mélange de paille broyée et de sciure, ainsi que du miscanthus ont également été utilisés.

Les quantités de litière varient en fonction du type de sol : 0,9 kg/m² en moyenne pour les bâtiments équipés d'un sol bétonné, contre 4,2 kg/m² en moyenne pour les bâtiments équipés de sol en terre battue. Les éleveurs lavent souvent leur bâtiment juste avant le curage, ce qui rend la litière humide durant les CUR.

2.4 Concentrations ambiantes en poussières alvéolaires et expositions des éleveurs

Les PAMB moyens et les PEXPO moyens les plus élevés sont observés pour les tâches FDB et PAIL. Les PEXPO moyens sont par ailleurs plus élevés que les PAMB durant les tâches PAIL et RAM (tableau 1). Des différences significatives entre les quatre types de tâches sont observées pour les PAMB ($p < 0,01$), ainsi que pour les PEXPO ($p < 0,01$).

Une corrélation positive est en outre observée entre les mesures des PAMB et celle des PEXPO ($\rho = 0,68$; $p < 0,01$, test du coefficient de corrélation de Spearman). Cette corrélation significative est également vérifiée durant les FDB ($\rho = 0,79$; $p < 0,01$), CUR ($\rho = 0,63$; $p < 0,01$), et dans une moindre mesure durant RAM ($\rho = 0,35$; $p < 0,01$).

Tableau 1. Concentrations en poussières alvéolaires dans l'ambiance (PAMB) et dans l'air respiré par l'éleveur (PEXPO)

Type de tâche	PAMB* : moyenne (min; max), n= nombre de mesures > LD**	PEXPO* : moyenne (min; max), n= nombre de mesures > LD**
FDB	1,7 (0,0 ; 14,7), 1,1	(0,0 ; 3,0),

	n=26	n=23
RAM	0,3 (0,1 ; 1,2), n=29	0,6 (0,0 ; 2,6), n=30
CUR	0,3 (0,0 ; 1,9), n=21	0,3 (0,0 ; 1,6), n=22
PAIL	1,4 (0,2 ; 5,0), n=30	3,1 (0,0 ; 61,6), n=30

*En mg/m³, ** LD : limite de détection

Les mesures de PAMB sont inversement corrélées aux concentrations moyennes en NH₃ durant la tâche (rho=-0,45 ; p<0,01). L'analyse détaillée par types de tâche confirme cette corrélation uniquement pour les RAM (rho=-0,48 ; p<0,01). De même, en considérant l'ensemble des tâches, une corrélation négative mais modérée est observée entre les mesures de PEXPO et les concentrations moyennes en NH₃ durant la tâche (rho =-0,26 ; p<0,01).

En considérant l'ensemble des tâches, les PAMB moyens sont inversement corrélés à la durée de la tâche (rho=-0,39 ; p<0,01). Il en va de même pour les PEXPO (rho=-0,35 ; p<0,01)

Durant les CUR, la ventilation en fonctionnement, semble permettre une réduction de l'exposition des éleveurs : 0,2 mg/m³ (n=9), vs 0,6 mg/m³ (n=13) (p=0,09), mais aucun effet significatif n'est observé sur les PAMB. A l'inverse, la ventilation en fonctionnement durant les PAIL engendre un PAMB moyen plus élevé : 1,8 mg/m³ (n=17) vs 0,9 mg/m³ (n=12) (p=0,04), cependant aucun effet significatif n'est observé sur les PEXPO.

2.5 Concentration en NH₃ et CO₂

Les concentrations en NH₃ moyennes les plus élevées sont observées pour les FDB (10 ppm), les RAM (9 ppm) et les CUR (8 ppm). La concentration moyenne en NH₃ lors des PAIL est quant à elle beaucoup plus faible (1 ppm) (tableau 2).

Les concentrations en CO₂ moyennes les plus élevées sont observées pour les FDB (2100 ppm), puis les RAM (1400 ppm) et dans une moindre mesure les CUR (900 ppm) et les PAIL (700 ppm).

Tableau 2. Concentrations en ammoniac et en dioxyde de carbone

Type de tâche	Concentration en NH ₃ * moyenne (min; max), n= nombre de mesures	Concentration en CO ₂ * moyenne (min; max), n= nombre de mesures
FDB	10 (0 ; 40), n=31	2100 (500 ; 5000), n=31
RAM	9 (1 ; 26), n=34	1400 (500 ; 5000), n=34
CUR	8 (1 ; 20), n=27	900 (0 ; 5000), n=26
PAIL	1 (0 ; 6), n=31	700 (500 ; 5000), n=31

*En ppm, ** LD : limite de détection

DISCUSSION

Le ramassage des poulets constitue une tâche particulièrement exposante vis-à-vis des poussières inhalables (<100 µm) selon Oppliger et al. (2008). Cette observation semble être confirmée ici pour l'exposition aux poussières alvéolaires. Le paillage du bâtiment semble en outre constituer une tâche encore plus exposante vis-à-vis de ces poussières.

Par ailleurs, d'après la revue de Cambra-Lopez et al (2010), les taux de poussières alvéolaires mesurés dans l'ambiance de bâtiment de poulets de chair peuvent varier de 0,10 à 9,71 mg/m³, ce qui semble cohérent avec les mesures réalisées en FDB dans cette étude. On peut noter cependant, que le PAMB moyen durant les FDB est plus de trois fois supérieur à ce qui avait été obtenu par Huneau et al. (2013) en systèmes d'élevage de poules pondeuses alternatifs (au sol ou en volière) (1,7 mg/m³ vs 0,5 ± 0,4 mg/m³). Plusieurs auteurs ont montré des concentrations en poussières inhalables significativement plus élevées dans les élevages de poulets de chair que dans ceux de poules pondeuses (Seedorf et al., 1998 ; Ellen et al., 2000). On peut supposer qu'il en va de même pour les poussières alvéolaires plus fines.

Concernant les paramètres associés aux variations des taux de poussières alvéolaires, plusieurs études ont démontré que la concentration en poussières dans l'air ambiant des poulaillers diminue lorsque l'humidité augmente (Banhazi et al., 2009). Ceci serait lié à une sédimentation plus rapide des poussières qui se chargent en humidité. Or, l'humidité dans les litières est un facteur favorable aux fermentations responsables de la production d'ammoniac dans l'air ambiant (ITAVI, 2001). Dans cette étude, la relation entre le taux d'humidité ambiant et les taux de poussières, n'a pas été démontrée directement. Cependant les corrélations inverses entre les taux d'ammoniac et les taux de poussières pourraient peut-être s'expliquer par un taux d'humidité de la litière plus ou moins important en lien avec le taux d'humidité ambiant du bâtiment.

Par ailleurs, Banhazi et al (2009) soulignent que les effets de la ventilation sur les particules sont relativement complexes. Ainsi, des taux de ventilation élevés peuvent engendrer des turbulences et des vitesses d'air élevées, qui favorisent une mise en suspension des particules fines et ralentissent la sédimentation. Durant les tâches CUR et PAIL, les portails situés en pignon des poulaillers sont généralement ouverts largement, ce qui rend encore plus complexe l'étude des circuits d'air et leurs effets sur les particules.

En outre, l'exposition des éleveurs au NH₃ peut varier de façon importante (Radon et al., 2002) : de moins de 5 ppm jusqu'à 40 ppm. En moyenne, les concentrations d'ammoniac dans l'air ambiant sont

généralement de l'ordre de 15-20 ppm (Wathes *et al.*, 1998). Radon *et al.* (2002) estiment par ailleurs que l'exposition des éleveurs aux CO₂ varie entre 600 et 3 000 ppm (2 100 ppm en moyenne), ce qui paraît cohérent avec les mesures réalisées dans cette étude.

En France, les concentrations en poussières alvéolaires, de l'atmosphère respirée par une personne ne doivent pas dépasser, sur une période de 8 heures, la valeur limite de moyenne d'exposition (VME) de 5 mg/m³ (ces valeurs concernent les poussières dites « réputées sans effet spécifique ») (INRS, 2012). A titre indicatif, on observe 3 mesures de PAMB supérieures ou égales à la VME de 5 mg/m³ (2 mesures durant des FDB, 1 mesure durant un PAIL), ainsi que 1 mesure de PEXPO durant une FDB supérieure ou égale à 5 mg/m³. Néanmoins, l'étude dose-réponse en élevage avicole de Donham *et al.* (2000), montre un déclin de la fonction pulmonaire associé à un niveau d'exposition aux poussières alvéolaires plus faible : 1,6 mg/m³. On observe alors 20 mesures de PAMB supérieures ou égales à ce seuil (9 mesures durant des FDB, 1 mesure durant un CUR et 10 mesures durant des PAIL), ainsi que 21 mesures de PEXPO supérieures ou égales à ce seuil (9 mesures durant des FDB, 2 mesures durant les RAM et 3 mesures durant les CUR, 7 mesures durant des PAIL).

De même que pour les poussières, il existe des VME pour le NH₃ et le CO₂, qui sont respectivement de 10 ppm et 5000 ppm (INRS, 2012). On observe à titre indicatif, 35 tâches durant lesquelles la concentration moyenne en NH₃ est supérieure ou égale à 10 ppm (11 FDB, 14 RAM, 10 CUR), ainsi que 5 tâches (1 FDB, 1 RAM, 1 CUR, 2 PAIL) durant lesquelles la concentration moyenne en CO₂ est supérieure ou égale à 5000 ppm. Par ailleurs, la valeur limite court terme (VLCT) est destinée à protéger des pics d'exposition et est rapportée à une durée de 15 min. Pour les concentrations moyennes de NH₃ mesurées, la VLCT de 20 ppm est dépassée pour 9 tâches suivies (6 FDB, 1 CUR et 2 RAM).

La comparaison des mesures de poussières et de gaz réalisées dans cette étude avec des valeurs seuil réglementaire ou des valeurs de référence établies par des études sur la santé des travailleurs, suggèrent que les expositions des éleveurs durant

les tâches étudiées ici peuvent être élevées même si elles sont de courte durée.

CONCLUSION

La définition d'une tâche de travail n'est pas chose aisée, et varie de façon importante d'un éleveur à l'autre, étant donné que chacun adopte des stratégies d'organisation du travail qui lui sont propres. Ces stratégies d'organisation dépendent des activités à mener à bien sur l'exploitation en globalité. Les tâches suivies dans cette étude excluent donc parfois une partie des activités réelles de l'éleveur lorsque celles-ci ont lieu par exemple la veille. La comparaison des mesures d'empoussièrement et de concentrations en NH₃ et CO₂ réalisées pour un même type de tâche n'est donc pas évidente.

Bien que les niveaux d'empoussièrement ambiant et d'exposition des éleveurs aux poussières alvéolaires, dépassent rarement la VME sur 8 heures, il est utile de rappeler que ce seuil concerne les poussières « inertes » dites « réputées sans effet spécifique ». Or, les poussières issues d'élevages avicoles peuvent contenir des agents actifs biologiquement (bactéries, endotoxines...). Il nous semble donc important de recommander le port d'un masque respiratoire adapté (de type FFP2) particulièrement durant les tâches de paillage et les visites de surveillance de fin de bande, ainsi que durant les ramassages, d'autant plus que les mesures réalisées sous-estiment sans doute dans certains cas la réalité de l'exposition de l'éleveur durant la tâche.

REMERCIEMENTS

Cette étude pilotée par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne a été réalisée en association avec l'UMT SANIVOL. Les travaux ont été réalisés grâce à un soutien financier du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt via la contribution du compte d'affectation spécial « développement agricole et rural », et du Comité Interprofessionnel du Poulet de chair. Les auteurs remercient l'ensemble des éleveurs ayant participé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cambrá-Lopez M., Aarnink A.J.A., Zhao Y., Calvet S., Torres A.G., 2010. *Environmental Pollution*, 158: 1-17.
- Banhazi T.M., Currie E., Quartarano M. et Aarnink A.J.A., 2009. In *Sustainable Animal Production* (A. Aland and F. Madec Edit.), pp 496.
- Donham KJ, Cumro D, Reynolds S., 2002. *J Agromedicine*, 8 (2) :57-76.
- Gérault P., Dewitte J-D., Jourden L., 2003. Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, mars 2013.
- Guillam MT, Pédrone G, Le Bouquin S, Huneau A, Gaudon J, Leborgne R, Dewitte JD, Ségala C., 2013. *Ann Agric Environ Med.*, 20(2): 307-11.
- Radon K., Danuser B., Iversen M., Monso E., Weber C., Hartung J., Donham K J., Palmgren U., Nowak D., 2002. *Ann Agric Environ Med*, 9, 41-48.

- INRS, 2012. Brochure (INRS édit.) pp 23.
- INRS MétroPol, 2009. Fiche 085/V01 (INRS édit) pp10
- ITAVI, 2001. Sciences et techniques Avicoles Hors-Série 2001, 20-24.
- Huneau-Salaün A., Rousset N., Homo N., Balaine L., Aubert C., Le Bouquin S. Dixièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, mars 2013.
- Ellen H.H., Bottcher R.W., von Wachenfelt E., Takai H., 2000. Journal of Agricultural Safety and Health 6 (4), 275-282.
- Seedorf, J., Hartung J., Schröder M., Linkert K.H., Phillips V.R., Holden M.R., Sneath R.W., Short J.L., White R.P., Pedersen L.J., Takai H., Johnsen J.O., Metz J.H.M., Groot Koerkamp P.W.G., Uenk G.H., Wathes C.M., 1998. Journal of Agricultural Engineering Research 70, 97-109.

Nathalie Rousset¹

¹ ITAVI Antenne Ouest – 41 rue de Beaucemaine – 22440 PLOUFRAGAN

rousset@itavi.asso.fr



Coline Brame²

Pascal Galliot¹

Anne-Catherine Cleuziou¹

Mélynda Hassouna³,

et Adeline Huneau-Salaün⁴

² CRAB – 4 avenue du Chalutier Sans Pitié BP 10540 – 22195 PLERIN CEDEX

³ UMR INRA/Agrocampus 1069 SAS – 65 rue de St-Brieuc CS 84215 – 35042 RENNES CEDEX

⁴ ANSES Laboratoire de Ploufragan-Plouzané – BP 53 – 22440 PLOUFRAGAN

Financiers



Partenaires



CONCENTRATION EN POUSSIÈRES ALVEOLAIRES DANS L'AIR AMBIANT ET EXPOSITION DES TRAVAILLEURS EN BATIMENTS D'ELEVAGE DE POULET DE CHAIR LORS DE TACHES SPECIFIQUES

Contexte

L'air des bâtiments avicoles: un mélange complexe de **particules organiques et inorganiques, de biocontaminants et de gaz**

Le **développement de troubles respiratoires** peut constituer une gêne importante dans le travail quotidien

La **prévention des risques professionnels** est un élément clé pour améliorer l'attractivité du métier d'aviculteur.

Matériel et méthode

21 élevages de poulets de chair standard (49 bâtiments de 25 ans en moyenne)

Les tâches ciblées sont:

- La surveillance des animaux en fin de bande (31 mesures)
- Le ramassage des animaux avant le départ pour l'abattoir (34 mesures)
- Le curage du fumier (27 mesures)
- Le paillage du bâtiment avant la mise en place des animaux de la bande suivante (31 mesures)

Résultats

Sur les poussières alvéolaires

Tableau 1. Concentrations en poussières alvéolaires dans l'ambiance (PAMB) et dans l'air respiré par l'éleveur (PEXPO).

*En mg/m³, ** LD : limite de détection

Type de tâche	PAMB* :	PEXPO* :
	moyenne (min; max), n= nombre de mesures > LD**	
Surveillance en fin de bande	1,7 (0,0 ; 14,7), n=26	1,1 (0,0 ; 3,0), n=23
Ramassage des volailles	0,3 (0,1 ; 1,2), n=29	0,6 (0,0 ; 2,6), n=30
Curage du fumier	0,3 (0,0 ; 1,9), n=21	0,3 (0,0 ; 1,6), n=22
Paillage du bâtiment	1,4 (0,2 ; 5,0), n=30	3,1 (0,0 ; 61,6), n=30

- **Ammoniac:** Les tâches les plus exposantes sont « surveillance en fin de bande », « ramassage des volailles », et « curage du fumier »
- **Dioxyde de carbone:** les tâches les plus exposantes sont « surveillance en fin de bande », « ramassage des volailles »

Repères sur les poussières alvéolaires:

Valeur seuil réglementaire: valeur limite moyenne d'exposition (VME) de 5 mg/m³, sur une période de 8 heures (INRS, 2012).

Valeur de référence: déclin de la fonction pulmonaire à partir de 1,6 mg/m³ (Donham et al. 2000).

Perspectives

Les expositions des éleveurs aux poussières peuvent être élevées même si elles sont de courte durée.

Rappel sur la réglementation: la VME (sur 8 heures) concerne les poussières « inertes » dites « réputées sans effet spécifique ». Or, les poussières issues d'élevages avicoles peuvent contenir des agents actifs biologiquement.

Le port d'un masque respiratoire adapté (de type FFP2) est particulièrement important.

Objectif de l'étude

Caractériser la qualité de l'air ambiant et l'exposition des éleveurs de poulets de chair:

- aux poussières alvéolaires (< 5 µm),
 - à l'ammoniac et au dioxyde de carbone
- Durant des tâches spécifiques de leur activité a priori très exposantes.

Avant et Après chacune des tâches :



Mesure du souffle avec un spiromètre et description simple des symptômes respiratoires

Pendant chacune des tâches :



Mesure des poussières alvéolaires (PEXPO) par un capteur portatif



Mesure des poussières alvéolaires par un capteur d'ambiance (PAMB), de l'ammoniac et du dioxyde de carbone par des tubes réactifs colorimétriques

Sur l'ammoniac et le dioxyde de carbone

Tableau 2. Concentrations moyennes en ammoniac et dioxyde de carbone

*En ppm, ** LD : limite de détection

Type de tâche	Concentration en NH ₃ *	Concentration en CO ₂ *
	moyenne (min; max), n= nombre de mesures	
Surveillance en fin de bande	10 (0 ; 40), n=31	2100 (500 ; 5000), n=31
Ramassage des volailles	9 (1 ; 26), n=34	1400 (500 ; 5000), n=34
Curage du fumier	8 (1 ; 20), n=27	900 (0 ; 5000), n=26
Paillage du bâtiment	1 (0 ; 6), n=31	700 (500 ; 5000), n=31

- Les tâches les plus exposantes sont « surveillance en fin de bande » et « paillage du bâtiment »
- Des différences significatives d'empoussièrement sont observées entre les quatre types de tâches
- Les concentration en poussières ambiantes sont corrélés positivement à l'exposition.

Repères sur les gaz

VME de 10 ppm pour le NH₃, et de 5000 ppm pour le CO₂ (INRS, 2012).

Valeur limite court terme (VLCT) (protection vis-à-vis des pics d'exposition sur une durée de 15 min) de 20 ppm pour le NH₃

Suite du projet:

Croisement des mesures d'exposition aux poussières et gaz avec:

- Des données relatives à la santé respiratoire des travailleurs
- Des éléments sur leur perception des risques en élevage.

EVALUATION DES REJETS D'AMMONIAC DANS LES SYSTEMES AVICOLES PLEIN AIR EN PAYS DE LA LOIRE

**Laravoire Anaëlle¹, Ponchant Paul², Robin Paul³, Hassouna Mélynda³, Anaïs Bruhier¹,
Dennery Gaëlle¹, Pigache Elodie¹**

¹CHAMBRE REGIONALE D'AGRICULTURE DES PAYS DE LA LOIRE - 9 rue André-
Brouard - 49105 ANGERS,

²ITAVI - 41 rue de Beaucemaine - 22440 PLOUFRAGAN

³INRA – 65 rue de St-Brieuc – 35042 RENNES
anaelle.laravoire@pl.chambagri.fr

RÉSUMÉ

L'impact de l'ammoniac (NH₃) sur l'environnement et la santé publique a conduit depuis quelques années à un renforcement des réglementations. Le protocole de Göteborg fixe notamment un engagement de réduction des émissions azotées de 4 % d'ici 2020 par rapport à 2005. Afin de répondre à ces engagements internationaux, le CITEPA est en charge de réaliser annuellement un inventaire des émissions et des substances polluantes. Vu le contexte réglementaire et le peu d'informations disponibles sur la méthodologie employée pour définir les émissions d'ammoniac, il devient important d'acquérir des références fiables sur les émissions en production plein air de poulets. Pour répondre à cette demande et prendre en compte la spécificité de l'élevage plein air (accès au parcours), un protocole simplifié de mesure de concentration d'ammoniac a été mis en place et validé. Une campagne de mesures dans des élevages de la région des Pays de la Loire a été menée. D'après les résultats de l'étude, la valeur moyenne d'émission d'ammoniac en bâtiment d'élevage de poulets plein air est de $23,70 \pm 11,53$ g de NH₃/animal/lot. Ce résultat est proche de la valeur issue de la bibliographie de $27,90 \pm 14,00$ g de NH₃/animal/lot (CORPEN, 2006 et ITAVI, 2013). L'étude a aussi pu mettre en évidence un effet de la saison et de l'élevage sur la valeur d'émission d'ammoniac.

ABSTRACT

Evaluation of Ammonia releases in the Loire free range aviary production

The negative impact of ammonia on environment and human health has led to a strengthening of regulations with the Göteborg protocol. This one imposes a reduction of nitrogen by 4% between 2005 and 2020. To meet these environmental commitments the technical center for studies on atmospheric pollution is responsible to conduct an inventory of emissions and pollutants annually. However, uncertainties remain concerning the calculation of ammonia emissions for free range productions. The Erascal study on the "Evaluation of Ammonia releases in free range aviary production" aims to acquire, for free range aviary production a value of ammonia emission taking into account the peculiarities of this production. A simplified protocol to measure the ammonia in free range housing was set. Results of the study: the ammonia emission average of free range aviary system is 23.70 ± 11.53 g NH₃ / animal / barn. This result corresponds to the one from the CORPEN 2006 and ITAVI 2013: 27.90 ± 14.00 g / animal / barn. This study also showed a seasonal and farmer effect on the ammoniac emission value.

INTRODUCTION

En élevage de volailles, l'ammoniac (NH_3) est produit lors de l'hydrolyse de l'acide urique par les bactéries uricolytiques présentes dans les déjections et/ou la litière. L'effet de l'ammoniac sur la santé des animaux peut impacter les résultats économiques de l'exploitation en entraînant une baisse du Gain moyen quotidien (GMQ) et donc du poids vif des animaux (Jones et al., 2005). De plus, des troubles respiratoires et oculaires peuvent apparaître au-delà de 10 ppm (Gospodinov, 2016 et Alloui et al., 2013).

Dans le contexte actuel où la protection de l'environnement est au cœur des débats, il paraît important de disposer de références d'émissions d'ammoniac précises, car 15 % des émissions nationales d'ammoniac issues de l'élevage proviennent de l'aviiculture (CITEPA, 2015). La réglementation est de plus en plus contraignante pour les activités agricoles. Le protocole de Göteborg fixe notamment un engagement de réduction des émissions azotées de 4 % d'ici 2020 par rapport à 2005, et des objectifs de 13% de réduction d'ici 2030 sont attendus dans le cadre de la Directive sur les plafonds d'émissions (Directive NEC 2001/81/CE). Afin de répondre à ces engagements internationaux pris par la France, le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA) est en charge de réaliser annuellement un inventaire des émissions et des substances polluantes. Pour cela, il s'appuie sur des méthodologies de calcul reconnues par des experts internationaux (ex : EMEP/CORINAIR, IPCC, etc.) et des données techniques spécifiques aux pratiques agricoles nationales (ex : valeurs forfaitaires de rejets ITAVI 2013) pour obtenir des calculs représentatifs.

Le CORPEN 2006 (Groupe Volaille) indique qu'un facteur d'émission d'ammoniac de 30% ($\pm 15\%$) est représentatif des différentes productions avicoles. Appliqué à la valeur forfaitaire de l'azote excrété spécifique par production (ITAVI, 2013), il permet de calculer la valeur d'émission d'ammoniac correspondante ($\text{émission NH}_{3(g)} = \text{facteur d'émission} \times \text{valeur forfaitaire}$). En s'appuyant sur ces indications et sur le niveau moyen d'azote excrété (valeur forfaitaire) pour les poulets élevés en plein air (ITAVI, 2013), les émissions moyennes d'ammoniac en bâtiment sont estimées à 27,90 g/animal/lot.

Vu le contexte réglementaire et le peu d'informations disponibles sur la méthodologie employée pour définir le facteur d'émission du CORPEN 2006 (30% $\pm$ 15%), il devient important de disposer d'informations fiables sur les émissions d'ammoniac en production de poulets plein air.

Afin de répondre à cette demande, une campagne de mesures a été réalisée dans des élevages de la région des Pays de la Loire. Première région productrice de volaille label Rouge, les pratiques y sont représentatives de la production plein air. L'étude a été réalisée en deux temps : mise au point d'un protocole de mesures adapté à la production plein air (avec sortie sur parcours) et simple d'utilisation (matériel de mesures accessible et facilement utilisable, facilité de mise en œuvre dans les élevages, faible coût). Ce protocole adapté à la production de poulets plein air, a permis de réaliser les mesures en élevage, et donc d'obtenir une valeur d'émission d'ammoniac pour cette production.

1. MATERIELS ET METHODES

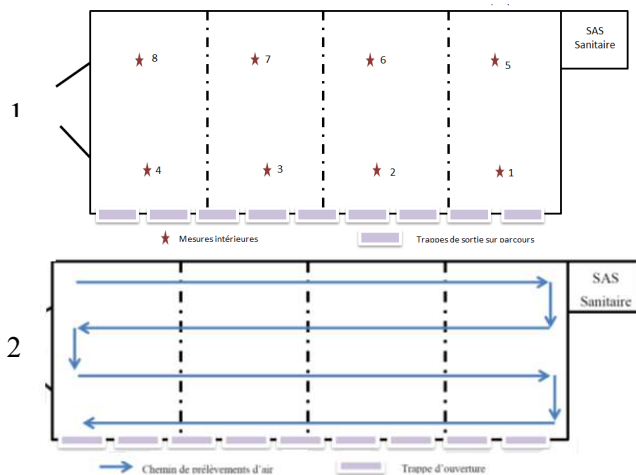
1.1 Mise au point d'un protocole simplifié de mesures de la concentration d'ammoniac en bâtiment

Le protocole utilisé pour des mesures en bâtiments conventionnels se base sur la réalisation d'un bilan de masse et sur la méthode des gradients de concentrations : des prélèvements d'air intérieur et extérieur à différentes périodes de l'élevage sont effectués et l'air est ensuite analysé par spectrométrie infrarouge (analyseur INNOVA®) (Ponchant et al., 2009).

Dans notre étude, par choix économique et de facilité d'utilisation, le détecteur portable d'ammoniac Kimo ToxiRAE2® a été choisi. Des mesures ponctuelles sont réalisées avec cet appareil, contrairement à une mesure en flux continu avec la méthode de référence. Il a fallu néanmoins s'assurer que les concentrations d'ammoniac mesurées avec cet appareil étaient les mêmes que celles mesurées (en moyenne) avec l'analyseur de gaz utilisé dans la méthode simplifiée. Cette phase s'est déroulée dans un élevage pilote comprenant deux bâtiments identiques. De manière à obtenir des mesures représentatives de l'ensemble du bâtiment (largeur et longueur avec et sans trappes de sortie sur parcours, entrée et fond du bâtiment), 8 mesures ont été réalisées (figure 1) à l'aide d'un détecteur portable d'ammoniac et 3 mesures à l'extérieur du bâtiment (une par pignon et une au niveau d'un long pan), soit, une mesure par côté accessible. Les mesures étaient réalisées à 1mètre de hauteur environ par rapport au sol. En parallèle, des prélèvements ont été effectués selon la méthode de référence (Ponchant et al., 2009). Pour ce faire, 2 aller-retours ont été réalisés dans le bâtiment selon le tracé de la figure 2, à l'aide de sac SKC FlexFoil® PLUS sample bag et d'une pompe d'aquarium permettant de prélever l'air de l'élevage dans le sac. Un aller-retour le long du long pan à l'extérieur du bâtiment a aussi été réalisé. Les prélèvements d'air ont ensuite été analysés grâce à

un analyseur de gaz INNOVA® Airtech Instrument 1412 Photoacoustic Field Gas Monitor donnant une concentration en ammoniac, ramené en ppm, toutes les minutes environ. La concentration moyenne en ammoniac obtenue grâce à l'analyseur dans chaque bâtiment (10 analyses/bâtiment) a été comparée à la concentration moyenne obtenue grâce au détecteur ToxiRAE2® dans le bâtiment (8 points de mesures/bâtiment).

Figure 1 et 2: Localisation des points de mesures de la concentration d'ammoniac à l'aide du détecteur portable (1) et parcours de prélèvement d'air en bâtiment à l'aide de sacs et d'une pompe (2)



Dans le cas des élevages plein air de poulets tout venant ou sexés, il a fallu déterminer le nombre de suivis nécessaires au cours du lot. Pour obtenir la cinétique d'évolution au cours d'un lot, des mesures quotidiennes ont été réalisées dans les 2 bâtiments de l'élevage pilote, avec un détecteur portable d'ammoniac. Les mesures ont été effectuées 1 fois par jour vers 8h du matin par l'éleveuse pendant son tour de surveillance. Afin d'avoir une estimation de la concentration moyenne en ammoniac du bâtiment, les 8 mesures ont été effectuées, répartis dans tout le bâtiment. Le parcours suivi a été étudié avec l'éleveuse afin de correspondre à son tour de surveillance (figure 1). Ces séries de mesures ont permis d'identifier l'évolution des concentrations d'ammoniac dans le bâtiment et donc d'identifier le nombre de suivis nécessaires au cours d'un lot pour obtenir une concentration d'ammoniac représentative de la durée du lot.

1.2. Calcul de l'émission d'ammoniac en production de poulets plein air en Pays de la Loire

L'étude s'est déroulée en 2015 et 2016 en Pays de la Loire. Au total, 22 bâtiments de poulets label Rouge ont été suivis en période hivernale et 13 de ces bâtiments pendant la période estivale (il n'a pas

été possible de réaliser un deuxième suivi chez les 9 autres). 4 organisations de production ligériennes étaient représentées. Les élevages suivis étaient caractérisés par des bâtiments de 400 m² en ventilation statique Louisiane (transversale) ou Lanterneau (extraction haute), avec des sols en terre battue.

A partir des mesures de concentration d'ammoniac (ppm) réalisées en élevage, il est possible de calculer une émission d'ammoniac en g/animal/lot. Dans un premier temps, il a fallu déterminer le débit de ventilation des bâtiments. Pour le calcul, il faut recueillir : le poids des animaux, la température et l'hygrométrie intérieures et extérieures du bâtiment. Ces paramètres permettent de calculer les apports et pertes d'énergie sous forme de chaleur dans le bâtiment d'après la formule suivante (Hassouna et al, 2005) :

Apports de chaleur (en W) = Pertes de chaleur (en W)

$$AA + AC + FL + AS = DP + DV + DE$$

Avec : AA : Apports par les animaux ; AC : Apports par le chauffage ; FL : Fermentation des litières ; AS : Apports solaires (négligeables) ; DP : Déperditions par les parois ; **DV : Déperditions par la ventilation** ; DE : Déperditions par évaporation de l'eau (négligeables).

DV correspond à l'enthalpie en W/animal perdue par la ventilation. Le débit de ventilation (m³/h/animal) correspond donc au rapport DV / différence d'énergie (J/kg air sec) calculée aux différentes températures et hygrométries entre l'air intérieur et extérieur, multiplié par sa densité, le tout ramené par heure.

Les émissions d'ammoniac peuvent ensuite être calculées par la formule suivante :

$$\text{Emission} = \text{Concentration ammoniac} \times \text{Débit de ventilation}$$

Dans notre étude, le poids des animaux a été obtenu à partir des pesées des éleveurs, reportées sur les fiches de lot ou estimées à partir de la dernière pesée. Les mesures de température et d'hygrométrie ont été réalisées à l'intérieur du bâtiment à l'aide d'une sonde KIMO AMI 301®, selon les mêmes points de mesures que pour l'ammoniac (figure 1). Les mesures d'ammoniac, d'hygrométrie et de température à l'extérieur du bâtiment ont été réalisées en 3 points : une mesure à chaque pignon et une mesure au niveau du long pan accessible.

Les débits de ventilation calculés et les concentrations d'ammoniac mesurées ont permis d'obtenir des émissions gazeuses pour chacun des jours de mesures. Afin d'obtenir l'émission cumulée sur la durée totale du lot, il a fallu estimer cette émission pour les jours entre les visites. Pour cela, une estimation linéaire avant le premier jour de mesure a été réalisée, puis de la première visite jusqu'à la fin du lot, une estimation polynomiale a

permis d'approcher l'émission quotidienne. L'émission d'ammoniac totale en g/animal/lot correspond donc à la somme des émissions estimées quotidiennement.

La valeur d'émission d'ammoniac calculée en élevage de poulets plein air a ensuite pu être comparée à celle calculée à partir du facteur d'émission d'ammoniac de l'azote excrété de 30 % ($\pm 15\%$) (CORPEN, 2006) et le niveau moyen d'azote excrété (valeur forfaitaire) en bâtiment par les poulets élevés en plein air (ITAVI, 2013). L'écart type de la valeur d'émission d'ammoniac calculée dans l'étude a été comparé à l'incertitude de calcul de la donnée CORPEN 2006.

1.3. Identification de facteurs influençant l'émission d'ammoniac

Pour évaluer l'effet saison sur l'émission d'ammoniac, un test de comparaison de Wilcoxon a été réalisé au risque $\alpha=5\%$ sur les données estivales et hivernales. De plus, un test de corrélation a été réalisé pour savoir s'il existe un effet éleveur sur la valeur d'émission de l'ammoniac.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Mise au point d'un protocole simplifié

Il n'y a pas de différence significative sur les mesures de concentration d'ammoniac en utilisant le détecteur d'ammoniac portatif (1,61 mg de NH_3/m^3) ou l'analyseur de gaz (1,63 mg de NH_3/m^3) ($p=0,98$). Le détecteur d'ammoniac portatif utilisé peut remplacer l'analyseur de gaz dans le protocole simplifié.

Concernant la localisation des points de mesures dans le bâtiment, la concentration d'ammoniac mesurée est différente en fonction du lieu de prélèvement. En effet, une mesure réalisée près du long pan avec les trappes de sortie sur parcours est en moyenne de $0,90 \pm 0,07$ ppm contre $1,40 \pm 0,11$ ppm sur le long pan opposé. De plus, une différence a été trouvée entre une mesure proche du sas ($0,72 \pm 0,11$ ppm), une mesure au milieu du bâtiment ($1,40 \pm 1,12$ ppm) et une mesure en bout du bâtiment ($1,34 \pm 0,11$ ppm). Les résultats sont similaires dans les deux bâtiments. Il est donc important de conserver ces 8 points de mesures (figure 1) car ils sont représentatifs de la concentration transversale et longitudinale moyenne d'ammoniac dans un bâtiment plein air. Cette étape a permis de valider la localisation et le nombre de points de mesures à effectuer dans le bâtiment, car à la différence des bâtiments en claustration, il faut tenir compte de l'effet de l'ouverture des trappes sur la concentration d'ammoniac dans le bâtiment.

Pour obtenir une valeur de concentration d'ammoniac qui correspond à celle obtenue avec

des mesures journalières sur tout le lot, il faut effectuer une mesure avant l'ouverture des trappes, vers 35 jours, et une autre après l'ouverture des trappes vers 50 jours. Pour prendre en compte la concentration d'ammoniac au démarrage, une mesure en début de lot est ajoutée. Celle-ci sera réalisée vers 20 jours d'âge puisque l'émission d'ammoniac des litières commence aux alentours des 15 jours d'âge (CORPEN, 2006). Enfin, une dernière mesure sera réalisée vers 65 jours d'âge pour estimer la concentration d'ammoniac en fin de lot. Cela représente au total 4 mesures (20-35-50 et 65 jours). Pour confirmer ce protocole, un test statistique a été réalisé pour comparer la moyenne de concentration d'ammoniac obtenue par des mesures quotidiennes sur toute la durée du lot ($1,19$ ppm) et la concentration moyenne obtenue avec le protocole simplifié (à 20-35-50 et 65 jours : $1,56$ ppm). Les résultats étaient similaires entre les deux protocoles de mesures ($p=0,76$). Le protocole proposé permet donc d'obtenir une valeur de concentration d'ammoniac proche de celle obtenue avec des mesures journalières sur tout le lot.

2.2. Les émissions d'ammoniac en élevage de poulets plein air à l'intérieur des bâtiments

La concentration moyenne d'ammoniac (ppm) en bâtiment d'élevage de poulets plein air est de $5,80 \pm 4,47$ ppm (min : 1,60 ; max : 21,20) avec une incertitude de calcul de 1,16 ppm due aux 20% d'incertitude du détecteur portatif d'ammoniac. L'émission d'ammoniac moyenne a été de **$23,70 \pm 11,53$ g de $\text{NH}_3/\text{animal/lot}$** (min : 9 ; max : 52) avec une incertitude de calcul de 7,11 g/animal/lot correspondant à une erreur de 30 % due à la possible approximation de la production de chaleur des animaux dans le bâtiment équivalent à $10,36 \pm 3,11$ g de NH_3/kg de poids vif/lot. Au vu de la variabilité rencontrée sur les émissions en élevages, ce résultat est proche de la valeur obtenue à partir des informations du CORPEN 2006 et de l'ITAVI 2013 : 27,90 g de $\text{NH}_3/\text{animal/lot}$ avec une incertitude de 14 g/animal/lot car l'ammoniac excrété se situe dans une fourchette comprise entre 15 et 45 % de l'azote excrété en bâtiment plein air qui est de 88 g/animal.

En période estivale, la valeur d'émission d'ammoniac est de $27,30 \pm 12,53$ g/animal/lot (min : 12,90 ; max : 51,90) avec une incertitude de calcul de 8,19 g/animal/lot. La valeur d'émission d'ammoniac hivernale est de $20,00 \pm 10,26$ g/animal/lot (min : 9,30 ; max : 50,10) avec une incertitude de calcul de 6 g/animal/lot. Les émissions estivales et hivernales sont significativement différentes ($p < 0,01$). Cela peut s'expliquer par une activité plus importante des animaux pendant la période estivale. De plus, les émissions hivernales et estivales par éleveur sont corrélées positivement ($R^2 = 0,86$; $p = 0,0003$). Cela

signifie qu'un éleveur dont le bâtiment a une faible émission d'ammoniac en été a aussi une faible émission d'ammoniac en hiver, et inversement.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'une part de mettre en place un protocole de mesure simplifié de concentration d'ammoniac en bâtiment de poulets plein air, avec l'utilisation d'un matériel facilement utilisable sur le terrain (détecteur d'ammoniac portatif) et de répondre à la spécificité des bâtiments plein air : les trappes d'accès au parcours. Ce protocole peut être facilement utilisé par tout le monde, pour mesurer les concentrations d'ammoniac et ensuite calculer les émissions d'ammoniac. D'autre part, il a été proposé une valeur d'émission d'ammoniac moyenne en bâtiment d'élevage de poulets plein air de $23,70 \pm 11,53$ g de NH_3 /animaux/lot calculée à partir de mesures réalisées en Pays de la Loire. Ces résultats sont cohérents avec les données calculées du CORPEN, 2006 et ITAVI, 2013.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alloui N., Nabil Alloui M., Bennoune O., Bouhental S., 2013. Effect of ventilation and atmospheric ammonia on the health and performance of broiler chickens in summer. *J. World's Poult. Res.* 3(2) : 54-56.
- CIGR., 2002. Heat and moisture production at animal and house levels.
- CITEPA., 2015. Rapport national d'inventaire. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre en France. Series sectorielles et analyses étendues.
- CORPEN., 2006. Estimation des rejets d'azote – phosphore – potassium – calcium – cuivre et zinc par les élevages avicoles.
- ITAVI., 1998. Sciences et Techniques Avicoles Hors Série 1998. Gestion de l'ambiance des bâtiments avicoles. 28p.
- ITAVI., 2013. Estimation des rejets d'azote – phosphore – potassium – calcium – cuivre et zinc par les élevages avicoles.
- Dennerly G., Dezat E., Aubert C., 2012. L'eau en élevage avicole: une consommation maîtrisée.
- Dennerly G., Dezat E., Rousset N., 2012. Vers une gestion efficace des litières, de l'approvisionnement aux techniques d'élevage avicole.
- Diard C., Pierret P., Pigache E., 2015. Mise en place d'un protocole simplifié de mesures de l'émission en élevage cunicole et avicole sous signe de qualité.
- Gospodinov I., 2016. Ammonia importance and litter treatment in modern poultry production. Stalosan®.
- Hassouna M., Robin P., Amand G. 2005. Effet de la régulation du débit d'air sur les performances du refroidissement évaporatif en période chaude. Les Journées de la Recherche Avicole, St Malo. 30 et 31 mars 2004.
- INRS., 2012. Base de données FICHES TOXICOLOGIQUES, sur le site web de l'INRS : www.inrs.fr/fichetocx.
- Jones T.A., Donnelly C.A., Stamp Dawkins M., 2005. Environmental and management factors affecting the welfare of chickens on commercial farms in the United Kingdom and Denmark stocked at five densities. *Poultry Science*. 84 :1155-1165.
- Laravoire A., Bruhier A., 2016. L'ammoniac en élevages avicoles plein air et cunicole.
- Oudart D., 2015. Modélisation de la stabilisation de la matière organique et des émissions gazeuses au cours du compostage d'effluents d'élevage.
- Ponchant P., Hassouna M., Aubert C., Robin P., Amand G., 2009. Application et validation d'une méthode de mesures simplifiées des gaz à effet de serre en bâtiment d'élevage avicoles.
- Serveau L., 2013. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Séries sectorielles et analyses étendues. CITEPA, rapport national d'inventaire.
- Yahav S., 2004. Ammonia affects performance and thermoregulation of male broiler chickens. *Anim. Res.* 53 : 289-293.

L'étude a aussi pu montrer qu'il existe un effet de la saison et un effet de l'élevage sur la valeur d'émission d'ammoniac. Il serait intéressant de réaliser une étude complémentaire pour comprendre pourquoi les niveaux d'émission d'ammoniac varient selon les élevages.

A l'issue de cette étude, une plaquette présentant de manière synthétique les résultats a été réalisée à l'intention des éleveurs et des techniciens : l'ammoniac en élevages avicoles plein air et cunicoles, émissions & préconisations (Laravoire et al., 2016).

REMERCIEMENTS

Ce projet a été financé par la Région des Pays de la Loire et le Ministère de l'Agriculture. Nous remercions sincèrement l'ensemble des participants de cette étude, notamment les éleveurs et les organisations de production pour leurs disponibilités et leurs accueils chaleureux.

BIODIVERSITE ENTOMOLOGIQUE ET PARCOURS DE CANARDS PRET-A-GAVER

Lagüe Michel¹, Rouillard Paul², Bernadet Marie-Dominique¹, Téchené Julia²

¹INRA UEPFG, 1076 route de Haut Mauco, 40280 BENQUET,

²CEPSO, Maison de l'Agriculture, Cité Galliane, BP 279, 40005 MONT DE MARSAN Cedex,

julia.techene@landes.chambagri.fr

RÉSUMÉ

Depuis les années 1990, un déclin accéléré de toutes les espèces d'insectes et en particulier des pollinisateurs est constaté, ce qui met en péril la survie de nombreux écosystèmes ainsi que la sécurité alimentaire de l'humanité. Le maintien de la biodiversité à travers les pratiques agricoles est un enjeu très important. Cette étude vise à acquérir une meilleure connaissance des interactions entre l'élevage de canards prêts-à-gaver et la biodiversité entomologique dans deux systèmes opposés et à caractériser les bénéfices apportés par l'aménagement des parcours. Deux types de parcours ont été étudiés, l'un avec végétation basse uniquement (ray-grass essentiellement) sur 3 000 m² (parcours P-1 et P-2) et l'autre avec végétation basse et haute (saules et érables champêtres, pour une densité d'arbres de 800/ha) sur 3 000 m² (parcours A-1 et A-2). De juin 2014 à mai 2015, des pièges ont été utilisés pour capturer les insectes. Plusieurs types de pièges ont été mis en place sur les parcours étudiés tels que des pièges à interception ou à attraction destinés à la capture des insectes volants et des pièges enterrés destinés à la capture des insectes rampants. Les zones fortement piétinées par les canards semblent plus utilisées par les coléoptères du sol, sans que la présence d'arbres n'impacte ces populations d'insectes. Le nombre d'abeilles domestiques et sauvages est inférieur sur les parcours sans arbres mais plusieurs pistes peuvent expliquer ce phénomène. En effet, la forte densité d'arbres (800/ha) et la faible diversité d'essences (saules marsaults et érables champêtres) semblent pénaliser le développement de la strate herbacée mellifère et offrent une courte période de floraison arborée. La densité d'arbres semble beaucoup trop élevée sur les parcours utilisés, ce qui pénalise la biodiversité entomologique. La meilleure alternative serait de développer un milieu plus ouvert, équilibrant espaces ombragés et ensoleillés, en diversifiant les essences qui doivent être en partie mellifères avec des floraisons étalées sur l'année.

ABSTRACT

Entomological biodiversity and breeding mule ducks

Since the 1990s, there has been an accelerated decline in all species of insects, particularly pollinators, which threatens the survival of many ecosystems and the food security of humankind. Maintaining biodiversity through agricultural practices is a very important issue. This project aims to acquire a better knowledge of the interactions between breeding mule ducks and entomological biodiversity in two opposing systems and to characterize the benefits of range management. Two types of prairie have been studied, one with low vegetation only on 3 000 m² (P-1 and P-2 courses) and the other with low and high vegetation, for a density 800 trees/ ha over 3 000 m² (A-1 and A-2). From June 2014 to May 2015, traps were used to catch insects. Several types of traps have been established on the prairies studied as intercept or attraction traps for the capture of flying insects and buried traps for the capture of crawling insects. Areas strongly trampled by ducks seem to be used more by ground beetles, without the presence of trees impacting these populations of insects. The number of honey bees and wild bees is lower on paths without trees but several tracks can explain this phenomenon. Indeed, the high density of trees (800 ha) and the low diversity of species (willows and rare type of trees) seem to penalize the development of the herbaceous stratum and offer a short flowering period. The density of trees seems much too high on the parcel used, which penalizes entomological biodiversity. The best alternative would be to develop a more open environment, balancing shaded and sunny areas, diversifying the species that must be partly honeyed with blooms spread out over the year.

INTRODUCTION

L'élevage sur parcours extérieurs constitue l'image de marque de la filière des palmipèdes à foie gras française car il symbolise la production traditionnelle et le respect des besoins naturels des animaux. En effet, cette image représente un des éléments majeurs dans la construction de la représentation du produit par le consommateur (Lubac, 2000) et donc dans l'acte d'achat. D'ailleurs, l'accès à un parcours extérieur constitue l'une des obligations pour produire sous critères de qualité (Label Rouge et IGP Canard à Foie Gras du Sud-Ouest) qui représentent à eux seuls plus de la moitié des ventes Françaises de foie gras.

L'impact environnemental des productions agricoles est au cœur des préoccupations des filières. L'activité agricole est accusée comme principale responsable de l'érosion de la biodiversité à l'échelle mondiale à cause de l'extension des surfaces agricoles au détriment des écosystèmes naturels et de l'intensification des agrosystèmes. L'Homme est responsable du déclin de la biodiversité, mais il en est également la victime (Cardinale et al., 2012). La biodiversité entomologique fournit de précieux services écosystémiques indispensables aux activités humaines (pollinisation, recyclage des matières organiques).

Ralentir la perte de biodiversité, notamment la biodiversité entomologique, fait aujourd'hui partie des objectifs intégrés aux pratiques agricoles. Toutefois, il n'existe pas d'étude pour caractériser l'impact de l'élevage des palmipèdes sur la biodiversité entomologique des parcours et/ou le potentiel intérêt de l'élevage sur ce sujet.

Les objectifs de la présente étude sont d'acquérir une meilleure connaissance des interactions entre l'élevage de canards PAG sur parcours et la biodiversité entomologique dans deux systèmes différents et de caractériser les bénéfices apportés par l'aménagement des parcours. Un intérêt particulier a été apporté sur les coléoptères du sol et sur la présence des pollinisateurs domestiques et sauvages appartenant à l'ordre des hyménoptères, appelés plus communément « abeilles ».

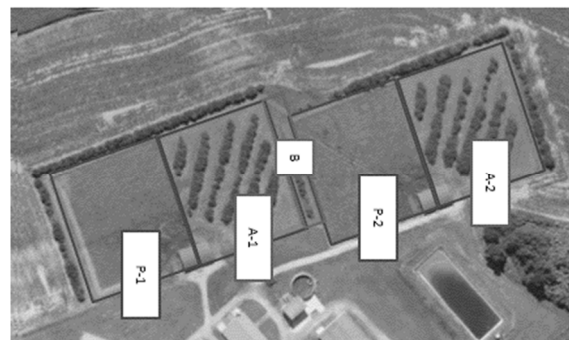
1. MATERIELS ET METHODES

1.1 Dispositif expérimental

Situé au sein de l'Unité Expérimentale Palmipèdes à Foie Gras (Benquet, 40), le dispositif comprend quatre parcours d'élevage d'une superficie de 3 000 m² avec abri et une bande isolée non accessible par les canards d'une superficie de 500 m² (Schéma 1).

Parmi les quatre parcours, deux sont composés uniquement d'une végétation basse dominée par du ray-grass anglais (P-1 et P-2) et les deux autres ont à la fois une végétation basse (ray-grass anglais) et une végétation haute composée principalement de saules et parsemée d'érables champêtres (1 érable pour 8 saules) disposés en rangée (A-1 et A-2). Au sein de la strate herbacée, il est important de signaler la présence de plantes à fleurs, appartenant majoritairement à la famille des astéracées, et dont l'abondance est inférieure sur les parcours arborés. La bande isolée (B, Schéma 1) comprend une strate herbacée dominée par le ray-grass et un seul alignement de saules et d'érables lui permettant un ensoleillement supérieur aux parcours arborés. Cette bande n'a pas reçu de canards durant l'étude.

Schéma 1. Implantation des parcours



Sur chaque parcelle, il a été placé quatre pièges de trois types différents.

1/ Un piège à interception constitué d'une plaque de plexiglass de 100 x 50 cm, fixée verticalement sur un support, et d'un bac de récupération des captures placé sous la plaque. Ce bac contient de l'eau, du liquide vaisselle et du sel. Ce type de piège, fréquemment utilisé par les entomologistes, est destiné à la capture des insectes volants qui vont venir buter contre la plaque et tomber dans le bac de récupération. Pour capter les insectes volants à hauteur d'arbre, des pièges à interception placés à 2 mètres du sol ont été ajoutés uniquement sur les parcours arborés.

2/ Un piège attractif constitué d'une cuvette jaune remplie avec la même solution a été placé sur chaque parcelle. Ce piège est fréquemment utilisé pour suivre les populations d'insectes, notamment dans les parcelles de colza. Les insectes, attirés par la couleur jaune, vont venir se noyer dans le bac. Ces pièges sont placés à 1,10 m de hauteur. Durant la floraison des saules, les pièges ont été placés à 2 m de haut sur les parcours arborés.

3/ Deux pièges Barber (Barber, 1931) ont été placés sur chaque parcelle, destinés à capturer les insectes se déplaçant sur le sol. Ils sont constitués de gobelets en plastique enterrés dont la partie supérieure affleure le niveau du sol pour intercepter les insectes. Ils sont couverts d'une plaque sombre de 15 x 15 cm. Un espace d'environ 2 cm est

conservé entre la plaque et le sol afin d'éviter tout accès par les canards ou autres animaux au dispositif. L'un a été placé à proximité de la sortie de l'abri tunnel, zone très fréquentée par les canards, et l'autre a été placé en fond de parcours, zone considérée comme peu fréquentée par les canards.

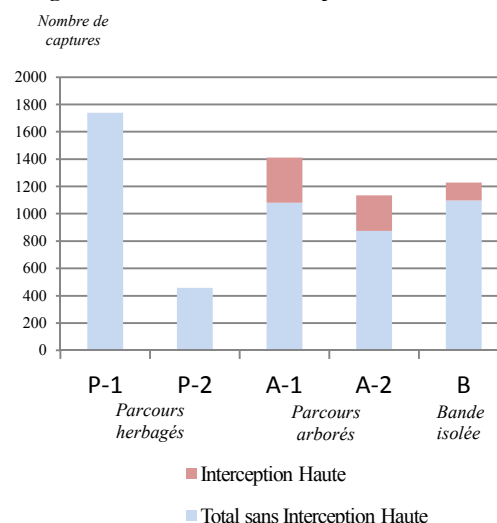
1.2 Prélèvements des insectes et analyse des captures

Les prélèvements d'insectes se sont déroulés de juin à octobre 2014, puis de mars à mai 2015. Trois bandes de 600 canards (soit 0,2 canards/m²), ont été élevées de 4 à 12 semaines d'âge sur ces parcours. La première bande était présente en mars-avril 2014, la seconde de mi-août à mi-octobre 2014 et la dernière en mai-juin 2015. Durant les périodes de captures, les pièges ont été relevés deux fois par semaine. Les captures ont ensuite été identifiées en laboratoire puis regroupées par période de 10 à 30 jours. Les captures ont été triées et répertoriées selon plusieurs critères : le parcours, la période de capture, l'ordre, la famille, le genre, le sous-genre et l'espèce de l'individu. Les données analysées pour l'étude sont le nombre d'individus différents capturés et le nombre d'espèces différentes identifiées parmi ces captures. Une identification jusqu'à l'espèce a été effectuée car la connaissance de la diversité spécifique permet de mieux caractériser le milieu. Plusieurs individus par espèce ont été conservés et sont consultables.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Au total, plus de 6 000 insectes capturés ont été identifiés durant l'étude. Cet inventaire, décliné par parcours, nous a permis d'avoir une première vision de leur présence. Les parcours enherbés uniquement (P-1 et P-2) n'ayant pas bénéficiés d'une interception haute, la surface de piégeage n'est donc pas la même pour tous les parcours, ce qui nous a amené à isoler les captures sur les interceptions hautes.

Figure 1. Nombre total de captures durant l'étude



Une grande différence existe entre P-1 et P-2 (1 739 captures vs 457). Le parcours P-1 est le plus riche en biodiversité d'insectes volants avec un nombre de captures supérieur aux parcours arborés.

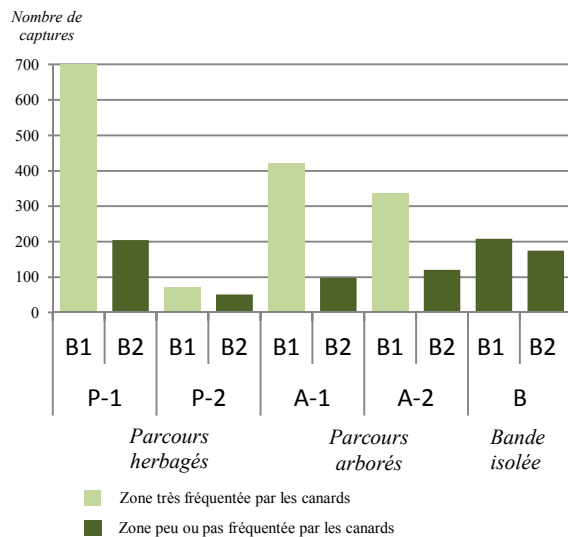
Pour étudier l'influence des canards sur la biodiversité des parcours, nous avons décidé de comparer des zones avec des densités d'enherbement différentes en raison du piétinement plus ou moins marqué des canards. Ces zones sont ainsi visuellement distinctes sur chacun des parcours, excepté sur la bande isolée qui n'a jamais reçu de canard.

Les captures des pièges enterrés « Barber » (notés B1 et B2 dans la figure 2) qui, en fonction de leur localisation au sol, permettent de comparer une zone fortement fréquentée par les canards (B1 : sortie abris) à une zone faiblement fréquentée (B2 : fond des parcours). Nous nous sommes intéressés à 5 familles de coléoptères qui évoluent sur le sol : les *Aphodiidae*, les *Silphidae*, les *Scarabaeidae*, les *Carabidae* et les *Histeridae* en comparant leurs populations.

Figure 2. Nombre de captures de coléoptères du sol

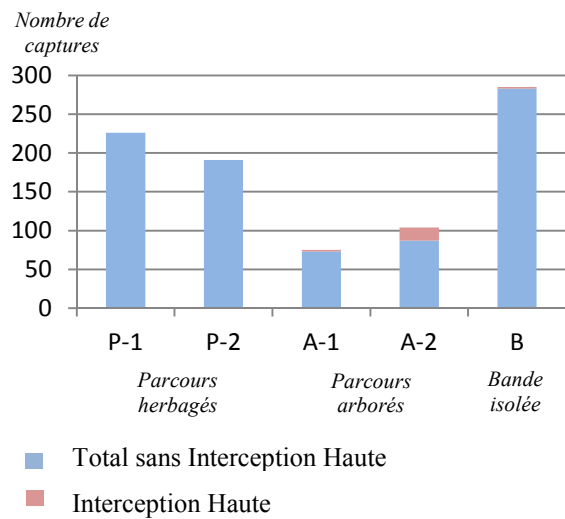
B1 : piège Barber en sortie d'abri

B2 : piège Barber en fond de parcours



Sur tous les parcours, les zones fortement fréquentées par les canards contiennent un plus grand nombre de coléoptères du sol. Durant l'étude, de longues périodes sans canards sur les parcours (3 à 7 mois) ont permis à ces populations d'insectes de se développer sans être dérangés par les palmipèdes. La présence d'arbres ne semble pas impacter cette faune caractéristique. Le parcours P-2 est très inférieur en nombre total de captures des deux pièges, cette différence est encore plus marquée lorsque l'on compare P-2 à P-1 (122 vs 906) qui ont pourtant des végétations identiques. On peut supposer qu'il y ait eu, sur le parcours P-2, un déficit de nourriture à un instant T pour les coléoptères (cadavres, vers de terre, limaces), ou un état dégradé du sol, qui aurait entraîné une migration vers les autres parcours. En effet, une analyse plus détaillée montre qu'il n'y a quasiment pas de coléoptères nécrophages et carnivores sur le parcours P-2, alors que ces familles sont représentées sur les autres parcours et en particuliers sur P-1. Une analyse plus fine pour chacune de ces familles et en prenant en compte la biologie des espèces serait nécessaire pour comprendre ces différences. Il est très probable que les observations seraient différentes sur des parcours plus intensivement utilisés.

Les insectes pollinisateurs sont essentiels au sein des écosystèmes, c'est pourquoi nous nous sommes intéressés à 6 familles appartenant à l'ordre des hyménoptères qui constituent un groupe de pollinisateurs domestiques et sauvages. Ces familles sont les *Colletidae*, les *Halictidae*, les *Megachilidae*, les *Mellitidae*, les *Andrenidae* et les *Apidae*.

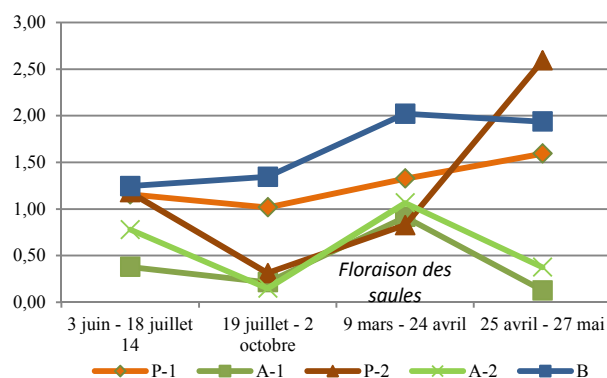
Figure 3. Nombre de captures de pollinisateurs par parcours

Le nombre de captures est supérieur sur les parcours herbagés, même si l'on comptabilise les captures issues des interceptions hautes (herbagé : 208 vs arboré : 89). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce décalage. Pendant la période estivale, la couverture végétale des arbres ne favorise pas le développement et la floraison de la végétation basse à fleurs. Cette dernière est constituée d'adventices type astéracée mellifère, favorisées par des milieux ensoleillés et attractives pour les pollinisateurs. Sur les parcours A-1 et A-2, la forte densité d'arbres pénalise la venue des insectes. En effet, elle est largement supérieure aux recommandations émises par (Béral et al., 2014) qui préconise, en volailles, que 30 à 40 % de la surface au sol soit ombragée (densité de 30 à 100 arbres par hectare selon les essences). Enfin, la quasi-monoculture des saules n'offre pas une durée de floraison optimale, mais une floraison concentrée sur une période donnée.

A titre d'observation, la situation de la bande isolée, qui est plus prospectée par les hyménoptères (285 captures vs 208 (herbagé) et 89 (arboré)) va dans le sens des hypothèses car elle bénéficie à la fois d'arbres et d'ensoleillement. Cependant, l'absence de canard lui permet surtout le maintien d'une strate herbacée contenant des plantes à fleurs. La comparaison avec les autres parcours n'est donc pas vraiment pertinente.

La floraison des saules, qui a lieu en mars-avril, permet d'augmenter temporairement l'abondance de pollinisateurs sur les parcours concernés. En effet, c'est à cette période que le nombre moyen de capture journalière est le plus élevé 0,99 vs 0,25 (mai), 0,58 (juin-mi-juillet), 0,18 (mi-juillet-octobre) (Figure 4).

Figure 4. Evolution nombre de captures journalières moyen d'hyménoptères en fonction des différentes périodes de captures



Seulement 8% des hyménoptères pollinisateurs capturés sont des oligolectiques, c'est-à-dire des espèces spécialisées sur une famille, un genre ou une espèce botanique. La majorité des espèces rencontrées est polylectique, ce qui signifie que les parcours ne permettent pas un développement d'espèces botaniques spécifiques à ce milieu. Parmi les quelques espèces oligolectiques représentées, leur présence est peu favorisée par l'aménagement du parcours. 21 % sont inféodées aux saules, qui sont la seule source d'alimentation volontairement implantée par l'aménagement initial des parcours. 65% des abeilles oligolectiques capturées butinent les plantes à fleurs spontanées, considérées comme adventices, et 14 % sont des captures accidentelles car leur flore de prédilection ne se trouve pas sur les parcours.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amiet, F., Herrmann, M., Müller, A., & Neumeyer, R., 2001. Centre Suisse de Cartographie de la Faune.
 Amiet, F., Herrmann, M., Müller, A., & Neumeyer, R., 2004. Centre Suisse de Cartographie de la Faune.
 Barber, H. S., 1931. J. Elisha Mitchell Sci. Soc, 46(3), 259-266.
 Béral C, Guillet P, Brun V, 2014, Guide technique.
 Bijja M., Lavigne F., Dubois J-P., Arroyo J., 2015. Onzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, 1042-1046.
 Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., & Kinzig, A. P., 2012. Nature, 486(7401), 59-67.
 Coulon, J., Pupier, R., Queinnec, E., & Richoux, P., 2011. 94 p.
 Hastir, P., & Gaspar, C., 2001. 13-25, 44 p.
 Jeannel, R., 1941. Paul Lechevalier et fils, eds., Paris.
 Lubac S., Mirabito L., 2000. Science et Techniques Avicoles N°33, 11-17.
 Meurgey, F., & Sadorge, A., 2004. Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'Ouest de la France, 221-251.
 Paulian, R., & Baraud, J., 1982. Paris, Lechevalier, 478 p.

CONCLUSION

Indépendamment de la présence d'arbres sur les parcours, l'élevage de canards sur parcours impacte positivement les populations d'insectes du sol en « ouvrant » le milieu et en offrant de la nourriture (déjections de canards). Sur le site étudié, la densité d'arbres est beaucoup trop élevée sur les parcours arborés, ce qui pénalise la biodiversité d'insectes volants et rampants. De plus, la richesse spécifique, en ce qui concerne les abeilles, est assez limitée et peu diversifiée à cause d'infrastructures agroécologiques peu nombreuses.

La meilleure alternative semble donc de développer un milieu plus ouvert, équilibrant espaces ombragés et ensoleillés, de diversifier les essences en veillant à implanter une en partie d'espèces mellifères avec des floraisons étalées sur l'année.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet « EPPINE : Elevage de Palmipèdes Sur Parcours, Interactions avec l'Environnement ». Ces travaux ont été réalisés dans le cadre collaboratif du GIS Palmipôle impliquant l'INRA, l'ITAVI, le CEPSO et la Ferme de l'Oie et du Canard et ont bénéficié du soutien financier du CIFOG, du Conseil Régional Aquitaine et du FEDER.

ACQUISITION DE FACTEUR D'EMISSION D'AMMONIAC EN BATIMENT D'ELEVAGE DE VOLAILLE DE CHAIR

Ponchant Paul¹, Galliot Pascal¹, Hassouna Mélynda², Brame Coline³

¹*ITAVI – Zoopole Beaucemaine – 22440 PLOUFRAGAN,*

²*INRA SAS – Rue de Saint Brieuc – 35000 RENNES*

³*Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne – Avenue du Chalutier sans pitié – 22190
PLERIN
ponchant@itavi.asso.fr*

RÉSUMÉ

La réglementation sur les émissions gazeuses en élevage est très présente depuis une dizaine d'années. Ainsi, la directive européenne NEC (2001/81/CE) fixe des plafonds d'émissions d'ammoniac pour les Etats Membres sur plusieurs gaz, dont l'ammoniac. La révision du BREF Elevage (Best available techniques REFERENCE), document de référence de la Directive IED (2010/75/EU) impose aux éleveurs à partir de 2020, de respecter des niveaux de performances sur les émissions d'ammoniac au bâtiment (Valeur Limite d'Emission). Notre étude a pour objectif d'acquies des facteurs d'émissions (FE) d'ammoniac représentatifs des pratiques d'élevages du Grand Ouest. La méthode simplifiée dite du « ratio des concentrations » validée par la réalisation de bilans massiques a été utilisée pour le calcul des émissions gazeuses. Les mesures ont été réalisées dans 38 élevages de volailles de chair en claustration (productions de poulets et dindes) en Bretagne sur deux périodes climatiques contrastées. Pour la production de poulet export, le FE moyen annuel est estimé à 48 mg NH₃/animal/jour, à 95 mg NH₃/animal/jour pour le poulet standard et à 136 mg NH₃/animal/jour pour le poulet lourd. Pour la production de dinde, le FE moyen annuel est 430 mg NH₃/animal/jour. Pour les productions de poulet export et dinde, les échangeurs de chaleur permettent de réduire les émissions d'ammoniac dans les bâtiments. Bien que soumis à une variabilité importante, inhérente aux mesures d'émissions en conditions terrain, les valeurs mesurées indiquent un niveau d'émission inférieur aux références bibliographiques européennes (EEA) mais sont néanmoins cohérents avec des mesures réalisées dans certains pays d'Europe du Nord. Le niveau d'émission global est plus faible dans les élevages de notre échantillon en raison d'une moindre excrétion azotée et d'un niveau de TAN (part d'azote ammoniacale dans les déjections) nettement inférieur aux valeurs de référence. Ces résultats mettent ainsi en avant les efforts réalisés par les éleveurs et la filière avicole dans le cadre de l'amélioration des pratiques (gestion de l'ambiance des bâtiments et des litières, stratégies nutritionnelles optimisées, performances zootechniques et amélioration des souches génétiques).

ABSTRACT

Acquisition of ammonia emission factor in poultry building

The regulation in gaseous emissions is very present for ten years in agriculture. Thus, the European NEC Directive (2001/81/EC) sets ammonia emission ceilings for Member States on several gases, including ammonia. The revision of BREF, reference document of the IED Directive (2010/75/EU) requires farmers from 2020, to fulfill performance levels of ammonia emissions in buildings (Value Limits Emission). Our study aims to acquire ammonia emission factors (EF), reliable and representative of the farming practices from west of France. The simplified method so-called "concentration ratio method" validated by carrying out mass balance was used for calculation of gaseous emissions. The measurements were performed in 38 confined poultry farms (chicken and turkey productions) in Brittany during two contrasting climatic periods. To lightweight chicken production, the annual average EF is estimated at 48 mg NH₃/animal/day. For standard chicken production, annual average was 95 mg NH₃/animal/day. For heavyweight chicken production, annual average EF reached 136 mg NH₃ / animal / day. For turkey production, the annual average EF was 430 mg NH₃/animal/day. For both turkey and lightweight chicken productions, heat exchangers tended to reduce ammonia emissions in buildings. Although subject to significant variability due to measurements in field conditions, the measured values indicate a lower level compared to European references (EEA) but consistent with measurements made in Northern Europe countries. Our EF, expressed as proportion of TAN (part of ammoniacal nitrogen in the manure), are very close than EEA references. The overall level of emissions, lower in farms of our sample, is due to lower nitrogen excretion and level of TAN much lower than the the reference values. These results thus highlight the efforts made by farmers and the poultry industry to improve farming practices (management of the atmosphere of buildings and litter, nutritional strategies optimizing animal performance and genetic progress).

INTRODUCTION

La pression réglementaire sur les émissions gazeuses en élevage, et plus particulièrement celles d'ammoniac, est de plus en plus importante. En effet, l'ammoniac est un gaz qui contribue à l'acidification des écosystèmes et également un précurseur de particules fines (PM_{2,5}) qui ont un impact fort sur la santé humaine (Portejoie *et al.*, 2002). Plusieurs directives européennes ont pour but d'encourager les Etats Membres à maîtriser leurs émissions d'ammoniac. Ainsi, la directive européenne NEC (2001/81/CE) fixe des plafonds d'émissions d'ammoniac sur plusieurs gaz, dont l'ammoniac. La révision du BREF Elevage (Best available techniques REferences), document de référence de la Directive IED (2010/75/EU) impose aux éleveurs de porcs et de volailles, à partir de 2020, de respecter des valeurs limites d'émission au bâtiment pour l'ammoniac. Ainsi, l'apport de données pertinentes et représentatives sur les émissions d'ammoniac en aviculture dans les bâtiments d'élevage est un élément important pour le contrôle et la mise en application de la réglementation par les pouvoirs publics. C'est également un argument fort pour défendre les performances environnementales des élevages réglementés dans la filière avicole. L'objectif de cette étude est donc de fournir des références à partir de mesures dans des bâtiments commerciaux de volailles de chair.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Sélection des ateliers d'élevage

Une typologie d'élevage a été définie à partir de l'expertise techniques des partenaires de l'étude et des résultats de l'enquête avicole des Chambres d'Agriculture du Grand-Ouest, afin de procéder ensuite à un recrutement de 38 élevages représentatifs des pratiques d'élevages et des bâtiments d'élevage dans la région Bretagne. Les espèces et modes d'élevage retenus pour la sélection des ateliers avicoles sont les productions de volailles de chair majoritairement présentes en Bretagne :

- L'élevage de poulet export (ou léger)
- L'élevage de poulet standard
- L'élevage de poulet lourd ou certifié
- L'élevage de dinde standard

1.2. Méthode de mesure en bâtiment d'élevage

La méthode de mesures simplifiée développée par l'INRA et l'ITAVI est une méthode de mesure des émissions gazeuses par échantillonnage de l'air dans les bâtiments d'élevage (Ponchant *et al.*, 2009 ; Hassouna *et al.*, 2015). Elle permet d'obtenir des valeurs ponctuelles d'émissions pour le CO₂, le CH₄, le N₂O, le NH₃ et la vapeur d'eau. Elle peut s'appliquer aux bâtiments à ventilation naturelle ou mécanisée des bâtiments avicoles, à condition que les

intrants et les sortants de l'élevage puissent être quantifiés et caractérisés chimiquement. Cette méthode permet de mesurer les émissions d'une bande dans un bâtiment. La méthode simplifiée est basée sur le couplage entre le calcul des pertes carbonées au bâtiment (calcul par bilan massique) et la mesure des gradients de concentrations entre l'intérieur et l'extérieur pour chaque gaz d'intérêt (*i.e.* concentration intérieure – concentration extérieure). Cette méthode se base sur deux hypothèses :

- La majorité du carbone est volatilisé sous forme de CO₂
- Les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre sont proportionnelles aux émissions de CO₂ lorsque les conditions d'ambiance du bâtiment d'élevage sont stables.

Les émissions d'ammoniac sont obtenues grâce aux équations présentées ci-après :

$$\text{Perte carbonée} = \text{Emission C-CO}_2 + \text{Emission C-CH}_4$$

$$\text{Emission C-CO}_2 = \text{Perte Carbonnée} / [1 + (\text{gradient de concentration moyen C-CH}_4 / \text{gradient de concentration moyen C-CO}_2)]$$

$$\text{Emission N-NH}_3 = \text{Emission C-CO}_2 \times (\text{gradient de concentration moyen N-NH}_3 / \text{gradient moyen C-CO}_2)$$

L'utilisation du bilan massique sur les éléments N (azote), P (phosphore) et H₂O (eau) permet de s'assurer de la cohérence des résultats. Le bilan de masse H₂O permet de vérifier la représentativité de l'échantillonnage de l'air et la validité des données d'entrée du bilan de masse. Le bilan P permet de vérifier la qualité des bilans de masse et la représentativité de l'échantillonnage du fumier. Enfin, le bilan N permet de s'assurer de la cohérence des calculs des émissions gazeuses pour les gaz azotés (N₂O, NH₃). Les principes de calculs étant communs aux différents éléments, seul le bilan azote est présenté ci-après :

$$\text{Emission N}_{\text{gaz}} (\text{défaut de bilan}) = (\text{N}_{\text{alimentation}} + \text{N}_{\text{poussin}} + \text{N}_{\text{litière}}) - (\text{N}_{\text{effluent}} + \text{N}_{\text{animaux}} \text{ morts+abattus})$$

En bâtiment avicole, la mesure ponctuelle des concentrations en gaz est réalisée grâce à plusieurs échantillons d'air conditionnés dans des sacs Flexfoil®. Le nombre de prélèvements d'air est variable selon les espèces étudiées. Il varie de 3 (en poulet export) à 4 (en productions de dindes) (Figure 1). Les prélèvements se font à l'aide d'une pompe à air dans l'ambiance du bâtiment d'élevage. Les échantillons sont ensuite analysés avec un analyseur de gaz infrarouge photoacoustique (INOVA 1412).

Pour la réalisation du bilan de masse, un ensemble de renseignements (appelés métadonnées) est collecté à partir d'un questionnaire avec l'éleveur et d'échanges

avec l'organisation de production. Les métadonnées sont en général facilement accessibles sur la fiche de lot ou sur les bons de livraisons (pour l'aliment). Les teneurs en azote et en phosphore total des aliments sont obtenues à partir d'analyse en laboratoire agréé. Les rétentions corporelles des animaux pour N et P utilisées sont celles présentées dans ITAVI (2013). Pour l'eau, une valeur de 68% de la composition corporelle a été retenue. Dans chaque bâtiment suivi, après le départ des animaux et le nettoyage du bâtiment (Figure 1), un échantillon de fumier est prélevé et l'intégralité du fumier est pesée à l'aide de pesées-essieux. Pour chaque élevage de l'étude des mesures d'émission ont eu lieu en été et en hiver, ce qui représente 76 lots suivis.

La validation des résultats obtenus se fait par comparaison des émissions en eau par rapport au défaut de bilan hydrique et sur les émissions azotées par rapport au défaut de bilan azoté. Une différence inférieure à 30% entre le calcul direct des émissions et les défauts de masse du bilan hydrique est jugée acceptable (expertise). Au-delà de 30%, la qualité de l'échantillonnage de l'air prélevé est considérée comme non représentative et les résultats sont non valides. Pour le bilan azoté, pour être valides, les émissions azotées calculées par la méthode des ratios de concentrations ($N-N_2O+N-NH_3$) doivent être inférieures au défaut de bilan sur l'azote qui comprend également les pertes non polluantes sous forme de N_2 .

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Facteurs d'Emission en Production de Dinde

Un facteur d'émission (FE) moyen annuel de $430 \pm 0,2$ mg NH_3 /animal/jour a été mesuré en production de Dinde (Tableau 1). D'après le bilan de masse, la volatilisation de l'azote dans le bâtiment est en moyenne de $22,0 \pm 7,1\%$ de l'azote excrété. A titre de comparaison, les valeurs forfaitaires de rejets de Volailles (ITAVI 2013), utilisées par les Pouvoirs Publics présentent un taux de volatilisation de l'azote en bâtiment d'élevage de 32% pour les élevages de volaille de chair sur litière.

Pour tous types de bâtiments, en période estivale, le FE est plus faible (-5% par rapport au FE moyen annuel) et en hiver, le FE d'ammoniac augmente de 6%. L'effet saison est ici difficilement identifiable. En effet, les lots de dindes durent près de 4 mois (120 jours) et un démarrage en période estival a pour conséquence une finition des animaux en hiver. De plus, les valeurs de matière sèche (MS) des effluents sont très proches entre les lots été et hiver. C'est en effet un facteur connu pour influencer les émissions de NH_3 (Groot Koerkamp, 1994). Dans les bâtiments à ventilation mécanisée (contrôle de l'extraction de l'air), un FE de 370 ± 184 mg NH_3 /animal/jour a été mesuré. Il est inférieur à celui mesuré dans les

bâtiments à ventilation naturelle (495 ± 259 mg NH_3 /animal/jour). La ventilation mécanisée permet d'assurer un renouvellement d'air dans le bâtiment et d'obtenir des litières légèrement plus sèches (54% MS avec ventilation mécanisée et 49% MS en ventilation naturelle). Enfin, les bâtiments équipés d'échangeur-récupérateur de chaleur (ERC) ont une émission moyenne moindre de 26% par rapport au FE moyen annuel. Au sein des bâtiments équipés d'ERC, les variations sur le FE en hiver ou en été sont très faibles (FE moyen de 310 ± 96 mg NH_3 /animal/jour en hiver vs. 323 ± 121 mg NH_3 /animal/jour en été). L'ERC permettant d'assurer une ventilation minimale (et donc un renouvellement d'air) pendant la période de démarrage, les conditions d'ambiance en hiver sont améliorées et sont proches des conditions d'élevage estivales.

2.2. Facteurs d'Emission en Production de Poulet Export

Un FE moyen annuel de $48 \pm 14,8$ mg NH_3 /animal/jour a été mesuré. La volatilisation de l'azote dans le bâtiment est en moyenne de $24,5 \pm 12,1\%$ de l'azote excrété. Comme en production de dindes, la volatilisation mesurée dans les élevages de poulets export est inférieure aux références moyennes utilisées pour le calcul des valeurs forfaitaires de rejets (32%).

En période estivale et en période hivernale, les FE sont relativement proches du FE moyen annuel (47 mg NH_3 /animal/jour en été et 48 mg NH_3 /animal/jour en hiver).

Les FE mesurés dans les bâtiments statiques et dynamiques sont identiques (48 mg NH_3 /animal/jour). La similarité des émissions entre ces types de bâtiments peut s'expliquer par le fait que les cycles de productions sont très courts et que l'effet des équipements de régulation sur les litières est moindre que pour des productions à cycle plus long. Enfin, les bâtiments équipés d'ERC ont un FE moindre de 17% par rapport au FE moyen annuel. Au sein des bâtiments équipés d'ERC, les variations sur le FE en hiver ou en été sont peu importantes (FE moyen de 42 ± 26 mg NH_3 /animal/jour en été vs. $36 \pm 0,4$ mg NH_3 /animal/jour en été).

2.3. Facteurs d'Emission en Poulet Standard

Un FE moyen annuel de $95 \pm 52,4$ mg NH_3 /animal/jour a été mesuré. La volatilisation de l'azote dans le bâtiment est en moyenne de $31,3 \pm 12,4\%$ de l'azote excrété, valeur très proche de celle utilisée pour l'élaboration des valeurs forfaitaires de rejets (32%).

Comme en production de dindes, en période estivale, le FE est plus faible (-16% par rapport au FE moyen annuel). Pendant la période hivernale, le facteur d'émission d'ammoniac augmente également de 16%.

Cette différence est en partie liée aux pratiques d'élevage en hiver, période pendant laquelle les éleveurs limitent au maximum leur renouvellement d'air et pendant laquelle l'air entrant dans les bâtiments est plus froid, plus humide et dégrade donc plus la qualité des litières qu'en période estivale (le taux de MS moyen mesuré est de 59% en été et de 55% en hiver).

Dans les bâtiments à ventilation mécanisée un FE de $92,3 \pm 50$ mg NH₃/animal/jour a été mesuré. Un FE supérieur a été mesuré dans les bâtiments à ventilation naturelle (107 ± 73 mg NH₃/animal/jour, soit +12% par rapport au FE moyen annuel). Cette différence est en partie liée aux à la variabilité des conditions de régulation de l'ambiance dans les bâtiments à ventilation naturelle.

Enfin, les bâtiments équipés d'ERC se révèlent très efficaces car leurs émissions moyennes sont plus faibles de 31% par rapport au FE moyen annuel de l'échantillon ($65,7 \pm 38$ mg NH₃/animal/jour). Néanmoins, dans les différentes modalités suivies, aucune différence ne s'est révélée significative d'après le test statistique.

Les valeurs disponibles dans la littérature internationale (Meda *et al.*, 2011) sont très élevées par rapport à nos mesures. Nos résultats sont néanmoins proches des FE publiés par les équipes de recherche des pays d'Europe du Nord (Grande-Bretagne, Danemark), notamment par Demmers *et al.* (1999) qui présente un FE de 110 mg NH₃/animal/jour pour un poulet de chair de 32 jours (1,9 kg de poids vif final), ainsi par Müller *et al.* (2003) avec un FE de 90 mg NH₃/animal/jour pour un poulet de 32 jours et de 1,6 kg de poids vif final. Ces valeurs ont plus de 10 ans et il est probable que les émissions des pays d'Europe du Nord aient encore diminuées grâce aux progrès de la génétique, de l'alimentation et de la régulation des bâtiments depuis la parution de ces études.

2.4. Facteur d'Emission en Poulet Lourd ou Certifié

Un FE moyen annuel de $136 \pm 28,5$ mg NH₃/animal/jour a été mesuré avec une variabilité saisonnière très faible. La volatilisation de l'azote dans le bâtiment est en moyenne de $30,0 \pm 16,0\%$ de l'azote excrété, valeur cohérente avec le coefficient de volatilisation au bâtiment utilisé pour le calcul des valeurs forfaitaires (32%). Tous les bâtiments de notre échantillon étant équipés d'une ventilation mécanisée (dont un seul avec des ERC), il n'a pas été possible d'étudier l'effet ventilation pour la production de poulet lourd.

2.5. Expression des FE à partir de l'azote ammoniacal (TAN)

L'EEA (2013), propose des facteurs d'émission Tiers 2 par défaut pour les émissions sous forme

d'ammoniac (kg N-NH₃) exprimé en proportion de l'azote ammoniacal (forme volatile de l'azote) contenu dans les déjections excrétées par les animaux. Cette méthode spécifique de calcul des émissions doit permettre, d'après les experts de l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA), une approche plus pertinente et précise pour la détermination des émissions sur les différents postes de l'élevage (bâtiment, stockage, épandage) que les FE de Tiers 1 (approche global en g N-NH₃/animal.an).

Ainsi, pour l'EEA (2013), l'émission est calculée par la formule suivante :

$$\text{Emission de N-NH}_3 = N_{\text{excrété}} \times \% \text{TAN} \times \text{FE tiers 2}$$

Afin d'exprimer nos résultats de manière similaire et ainsi pouvoir comparer nos émissions mesurées au bâtiment avec celles estimées dans la méthode EMEP/CORINAIR de l'EEA (2013), nous avons, dans un premier temps, calculé la part de TAN contenu dans les excréments azotés des volailles (Tableau 1). Cela a été possible en sommant les valeurs d'azote ammoniacal dans le fumier en fin de bande (obtenues à partir d'analyses chimiques) et les émissions globales de N-NH₃ au bâtiment au cours du lot (obtenues grâce à la méthode simplifiée de mesures des émissions gazeuses), et en les rapportant à l'excrétion totale de N calculée par bilan de masse.

$$\text{TAN (\%)} = \left[\frac{(\% \text{N Ammoniacal dans fumier fin de bande} \times \text{Quantité Fumier produit}) + \text{Emission globale N-NH}_3 \text{ du lot}}{\text{N excrété total}} \right]$$

Pour le fumier de volaille, les flux d'organisation et de minéralisation de l'azote n'étant pas connus (contrairement aux lisiers), ils ont été considérés comme identiques, en accord avec les pratiques du CITEPA dans le calcul des inventaires.

Les valeurs de TAN excrété que nous avons ainsi estimées sont plus faibles que les valeurs de références fournies par l'EEA (2013 ; Tableau 1). Ces différences peuvent notamment s'expliquer par la mauvaise adaptation des références de l'EEA aux fientes de volailles. En effet, l'azote ammoniacal (TAN) est essentiellement produit par la décomposition des urines. Cependant, en production de volaille, il n'y a pas de dégradation de l'urine *sensu stricto* car l'excrétion se fait sous forme de fientes et non sous forme d'urine et de fèces. L'excrétion urinaire dans les fientes de volailles se fait essentiellement sous forme d'acide urique. Cet acide urique s'hydrolyse en azote ammoniacal (TAN) de manière beaucoup plus lente et variable (en fonction de la température, de l'humidité des effluents ou du pH) que pour l'urée (Groot Kerkamp, 1994 ; Nicholson *et al.*, 1996). Si l'hydrolyse de l'acide urique est partielle, la part de TAN formée est plus faible et l'approche du calcul d'émission fourni par l'EEA pour les productions de volailles peut conduire

à une surestimation de 50% de l'émission d'ammoniac (Velthof *et al.*, 2012). Cette spécificité avicole pourrait expliquer la différence obtenue sur les émissions entre les mesures effectuées dans les élevages de notre échantillon et les valeurs par défaut existantes dans la méthode EMEP/CORINAIR de l'EEA (2013). Concernant les FE par unité de TAN au bâtiment (Tableau 1), les valeurs proposées par EEA (2013) sont identiques à celles mesurées en poulet export et en dinde et légèrement inférieures aux résultats des mesures réalisées en poulet standard et en poulet lourd/certifié.

CONCLUSION

Cette étude a permis de produire des facteurs d'émissions (FE) en bâtiments d'élevage pour les productions avicoles de chair (poulet et dinde) en Bretagne. Bien que soumis à une variabilité importante, inhérent aux mesures d'émissions en conditions terrain, ils constituent des valeurs représentatives des pratiques d'élevage et des conditions pédoclimatiques du Grand Ouest, principal bassin de production national en volailles de chair. Les valeurs mesurées indiquent des FE inférieures aux

références bibliographiques européennes (EEA) pour le poulet mais les résultats sont cohérents avec les mesures réalisées dans certains pays d'Europe du Nord. Les FE au bâtiment exprimés en kg N-NH₃/kg TAN sont proches de ceux de l'EEA. Le niveau d'émission global plus faible des élevages de notre échantillon est essentiellement dû à une moindre excrétion azotée (stratégies nutritionnelles optimisées) et un niveau d'azote ammoniacal (TAN) probablement inférieur aux valeurs de référence. Nos résultats mettent ainsi en lumière les efforts réalisés par les éleveurs et la filière avicole dans le cadre de l'amélioration de ses pratiques (gestion de l'ambiance des bâtiments et des litières, stratégies nutritionnelles optimisées, performances zootechniques, amélioration des souches génétiques).

REMERCIEMENTS

Ce projet a été conduit dans le cadre collaboratif d'un projet financé par l'ADEME, impliquant l'ITAVI, l'INRA et la CRAB. Les partenaires du projet remercient également les éleveurs qui ont participé à ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chambre d'Agriculture de Bretagne, 2014. Résultats de l'enquête avicole. Enquête réalisée auprès des aviculteurs du Grand Ouest, 51p
- Demmers, T.G.M., Burgess, L.R., Short, J.L., Philips, V.R., Clark, J.A., Wathes, C.M., 1999.. Atmos. Environ., (33), 217-227.
- EEA, 2013. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook: Chapitre 3B Manure Management GB2013. European Environment Agency, 27p.
- Groot Koerkamp, 1994. J. Agric. Engng Res., (59), 75-87.
- Hassouna, M., Eglin, T., Cellier, P., Colomb V., Cihan JP., Decuq C., Delabuis M., Edouard N., Espagnol S., Eugene M., Fauvel Y., Fernades E., Fisher N., Genermont S., Godbout S., Guingand N., Guyader J., Lagadec S., Laville P., Lorinquer E., Loubet B., Loyon L., Martin C., Méda B., Morvan T., Oster D., Oudart D., Personne E., Planchais J., Ponchant P., Renand G., Robin P., Rochette Y., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. INRA-ADEME ed., 314p.
- ITAVI, 2013. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre, zinc par les élevages avicoles. Mise à jour des références CORPEN 2006, 63p
- Meda, B., Hassouna, M., Aubert, C., Robin, P., Dourmad, J.-Y., 2011. World Poultry Sci. J., 67 (3), 441-455.
- Müller, H.-J., Brunsch, R., Hörnig, G., Jelinek, A., 2003. International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities, Horsens, Jutland, Denmark, 172-179.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Smith, K.A., 1996. Bioresource Technol. (58), 279-284.
- Ponchant, P., Hassouna, M., Aubert, C., Robin, P., Amand, G., 2009. 8èmes Journées de la Recherche Avicole. Saint Malo, 100-104.
- Portejoie, S., Martinez J., Landmann G., 2002. INRA Prod. Anim (15), 151-160.
- Velthof G.L., Van Bruggen C., Groenestein C.M., De Haan B.J., Hoogeveen M.W., Huijsmans J.F.M., 2012. Atmos. Environ., (46), 248-255.

Figure 1. Périodes de prélèvements préconisés en élevage de dindes dans le cadre de la méthode simplifiée de mesure des émissions de gaz (S : semaines)

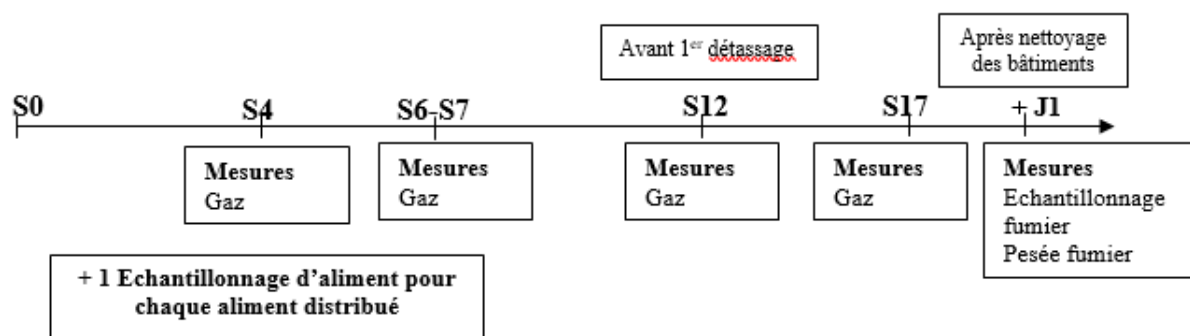


Tableau 1. Facteur d'émission pour les productions de dinde et de poulet de chair (en g NH₃/animal/jour et en kg N-NH₃/ kg TAN) et valeur de TAN (part d'azote ammoniacal contenue dans l'azote des déjections).

		Facteur d'émission (g NH ₃ /animal/jour)					TAN		Facteur d'émission (kg N-NH ₃ /kg TAN)	
		Annuel	Estival	Hivernal	ERC installé	ERC non installé	Valeur estimée	Valeur de référence (EEA, 2013)	Valeur mesurée	Valeur de référence (EEA, 2013)
Dindes (12 bâtiments dont 5 équipés d'ERC)	Moyenne	0,43	0,41	0,46	0,32	0,51	0,37	0,7	0,35	0,35
	Médiane	0,36	0,35	0,45	0,27	0,45	-	-	-	-
	Ecart type	0,23	0,23	0,23	0,11	0,26	-	-	-	-
Poulet Léger ou Export (10 bâtiments dont 3 équipés d'ERC)	Moyenne	0,048	0,047	0,048	0,04	0,051	0,2	0,7	0,28	0,28
	Médiane	0,048	0,043	0,05	0,036	0,05	-	-	-	-
	Ecart type	0,015	0,01	0,018	0,019	0,013	-	-	-	-
Poulet Standard (8 bâtiments dont 2 équipés d'ERC)	Moyenne	0,095	0,080	0,110	0,066	0,102	0,3	0,7	0,35	0,28
	Médiane	0,09	0,088	0,117	0,068	0,095	-	-	-	-
	Ecart type	0,052	0,033	0,066	0,038	0,054	-	-	-	-
Poulet Lourd ou Certifié (8 bâtiments dont 1 équipé d'ERC)	Moyenne	0,136	0,132	0,142	-	-	0,3	0,7	0,4	0,28
	Médiane	0,14	0,14	0,144	-	-	-	-	-	-
	Ecart type	0,028	0,031	0,026	-	-	-	-	-	-

ACQUISITION DE FACTEUR D'EMISSION D'AMMONIAC EN BÂTIMENT D'ÉLEVAGE DE VOLAILLE DE CHAIR



Ponchant Paul¹, Galliot Pascal¹, Hassouna Mélynda², Brame Coline³D

¹ITAVI – Zoopole Beauvais – 22440 PLOUPRAGAN,

²INRA SAS – Rue de Saint Brieuc – 35000 RENNES

³Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne – Avenue du Chalutier sans pitié – 22190 PLERIN

ponchant@itavi.asso.frD

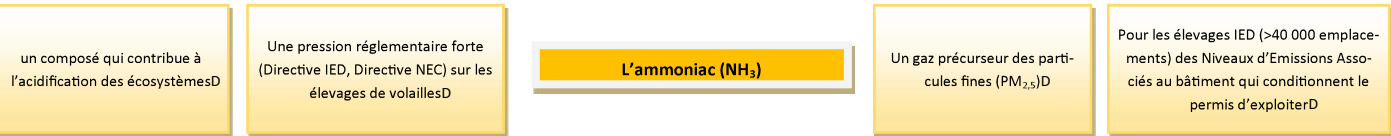


RÉSUMÉ

La réglementation sur les émissions gazeuses en élevage est très présente depuis une dizaine d'années. Ainsi, la directive européenne NEC (2001/81/CE) fixe des plafonds d'émissions d'ammoniac pour les Etats Membres sur plusieurs gaz, dont l'ammoniac. La révision du BREF Elevage (Best available techniques REFERENCE), document de référence de la Directive IED (2010/75/EU) impose aux éleveurs à partir de 2020, de respecter des niveaux de performances sur les émissions d'ammoniac au bâtiment (Valeur Limite d'Emission). Notre étude a pour objectif d'acquies des facteurs d'émissions (FE) d'ammoniac représentatifs des pratiques d'élevages du Grand Ouest. La méthode simplifiée dite du « ratio des concentrations » validée par la réalisation de bilans massiques a été utilisée pour le calcul des émissions gazeuses. Les mesures ont été réalisées dans 38 élevages de volailles de chair en claustration (productions de poulets et dindes) en Bretagne sur deux périodes climatiques contrastées. Pour la production de poulet export, le FE moyen annuel est estimé à 48 mg NH₃/animal/jour, à 95 mg NH₃/animal/jour pour le poulet standard et à 136 mg NH₃/animal/jour pour le poulet lourd. Pour la production de dinde, le FE moyen annuel est 430 mg NH₃/animal/jour. Pour les productions de poulet export et dinde, les échangeurs de chaleur permettent de réduire les émissions d'ammoniac dans les bâtiments. Bien que soumis à une variabilité importante, inhérente aux mesures d'émissions en conditions terrain, les valeurs mesurées indiquent un niveau d'émission inférieur aux références bibliographiques européennes (EEA) mais sont néanmoins cohérents avec des mesures réalisées dans certains pays d'Europe du Nord. Le niveau d'émission global est plus faible dans les élevages de notre échantillon en raison d'une moindre excrétion azotée et d'un niveau de TAN (part d'azote ammoniacale dans les déjections) nettement inférieur aux valeurs de référence. Ces résultats mettent ainsi en avant les efforts réalisés par les éleveurs et la filière avicole dans le cadre de l'amélioration des pratiques (gestion de l'ambiance des bâtiments et des litières, stratégies nutritionnelles optimisées, performances zootechniques et amélioration des souches génétiques).D

ACQUISITION OF AMMONIA EMISSION FACTOR IN POULTRY BUILDING

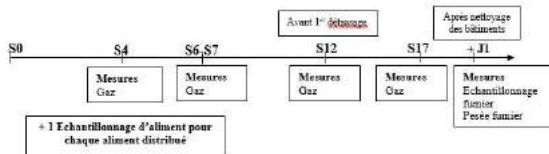
The regulation in gaseous emissions is very present for ten years in agriculture. Thus, the European NEC Directive (2001/81/EC) sets ammonia emission ceilings for Member States on several gases, including ammonia. The revision of BREF, reference document of the IED Directive (2010/75/EU) requires farmers from 2020, to fulfill performance levels of ammonia emissions in buildings (Value Limits Emission). Our study aims to acquire ammonia emission factors (EF), reliable and representative of the farming practices from west of France. The simplified method so-called "concentration ratio method" validated by carrying out mass balance was used for calculation of gaseous emissions. The measurements were performed in 38 confined poultry farms (chicken and turkey productions) in Brittany during two contrasting climatic periods. To lightweight chicken production, the annual average EF is estimated at 48 mg NH₃/animal/day. For standard chicken production, annual average was 95 mg NH₃/animal/day. For heavyweight chicken production, annual average EF reached 136 mg NH₃/animal/day. For turkey production, the annual average EF was 430 mg NH₃/animal/day. For both turkey and lightweight chicken productions, heat exchangers tended to reduce ammonia emissions in buildings. Although subject to significant variability due to measurements in field conditions, the measured values indicate a lower level compared to European references (EEA) but consistent with measurements made in Northern Europe countries. Our EF, expressed as proportion of TAN (part of ammoniacal nitrogen in the manure), are very close than EEA references. The overall level of emissions, lower in farms of our sample, is due to lower nitrogen excretion and level of TAN much lower than the reference values. These results thus highlight the efforts made by farmers and the poultry industry to improve farming practices (management of the atmosphere of buildings and litter, nutritional strategies optimizing animal performance and genetic progress).D



Une nécessité d'obtenir des références (Facteur d'Emission) représentatives des pratiques d'élevage sur le territoire, obtenues à partir de mesures en élevages commerciaux pour mettre en avant les performances environnementales des éleveurs de volailles et apporter des éléments scientifiques pour la mise en application et le contrôle de la réglementation par les pouvoirs publicsD

Matériel et Méthode

Utilisation de la méthode de mesures simplifiée développée par l'INRA et l'ITAVI (Ponchant *et al.*, 2009 ; Hassouna *et al.*, 2015) : méthode de mesure des émissions gazeuses par échantillonnage de l'air dans les bâtiments d'élevage (méthode des rapports de concentrations), associée à la caractérisation et à la quantification des intrants et sortants de l'élevage pour la réalisation d'un bilan de masse (méthode de référence) sur le carbone, l'azote, le phosphore et l'eau. En bâtiment, la mesure ponctuelle des concentrations en gaz est réalisée grâce à plusieurs échantillons d'air conditionnés dans des sacs Flexifoil®. Le nombre de prélèvements d'air est variable selon les espèces étudiées. Il varie de 3 (en poulet export) à 4 (en productions de dindes). Les échantillons sont ensuite analysés avec un analyseur de gaz infrarouge photoacoustique (INOVA 1412). D



La validation des résultats obtenus se fait par comparaison des émissions en eau par rapport au défaut de bilan hydrique et sur les émissions azotées par rapport au défaut de bilan azoté. Une différence inférieure à 30% entre le calcul direct des émissions et les défauts de masse du bilan hydrique est jugée acceptable (expertise). Au-delà de 30%, la qualité de l'échantillonnage de l'air prélevé est considérée comme non représentative et les résultats sont non valides. Pour le bilan azoté, pour être valides, les émissions azotées calculées par la méthode des ratios de concentrations (N₂O+N-NH₃) doivent être inférieures au défaut de bilan sur l'azote qui comprend également les pertes non polluantes sous forme de N₂D

Résultats

Les résultats des mesures d'émission dans des bâtiments de poulet de chair (léger, standard et lourd) et de dinde sont présentés sous forme de Facteurs d'Emission (FE) dans le tableau 1.D

Tableau 1. Facteur d'émission pour les productions de dinde et de poulet de chair (en g NH₃/animal/jour et en kg N-NH₃/kg TAN) et valeur de TAN (part d'azote ammoniacal contenue dans l'azote des déjections).

		Facteur d'émission (g NH ₃ /animal/jour)					TAN		Facteur d'émission (kg N-NH ₃ /kg TAN)	
		Annuel	Estival	Hivernal	ERC installée	ERC non installée	Valeur estimée	Valeur de référence (EEA, 2013)	Valeur mesurée	Valeur de référence (EEA, 2013)
Dinde	Moyenne	0,43	0,41	0,46	0,32	0,51	0,37	0,7	0,35	0,35
	Médiane	0,36	0,35	0,45	0,27	0,45	-	-	-	-
	Ecart type	0,23	0,23	0,23	0,11	0,26	-	-	-	-
	Exact type	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Poulet Léger ou Export (16 semaines)	Moyenne	0,048	0,047	0,048	0,04	0,051	0,2	0,7	0,28	0,28
	Médiane	0,048	0,043	0,05	0,036	0,05	-	-	-	-
	Ecart type	0,015	0,01	0,018	0,019	0,013	-	-	-	-
	Exact type	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Poulet Standard (16 semaines)	Moyenne	0,095	0,080	0,110	0,066	0,102	0,3	0,7	0,25	0,28
	Médiane	0,09	0,088	0,117	0,068	0,095	-	-	-	-
	Ecart type	0,052	0,033	0,066	0,038	0,054	-	-	-	-
	Exact type	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Poulet Lourd ou Certifié (16 semaines)	Moyenne	0,136	0,132	0,142	-	-	0,3	0,7	0,4	0,28
	Médiane	0,14	0,14	0,144	-	-	-	-	-	-
	Ecart type	0,028	0,031	0,028	-	-	-	-	-	-
	Exact type	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Discussion.

Les FE mesurés en élevage sont inférieurs aux références de l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA) mais cohérents avec certaines références d'équipes de recherches d'Europe du Nord (Demmers *et al.* (1999), Müller *et al.* (2003)). L'EEA propose des facteurs d'émission Tiers 2 par défaut pour les émissions sous forme d'ammoniac (kg N-NH₃) exprimé en proportion de l'azote ammoniacal (TAN). L'émission est calculée en multipliant une quantité d'azote excrété par une valeur forfaitaire de TAN contenu dans les fèces et par un facteur d'émission. Afin d'exprimer nos résultats de manière similaire et ainsi pouvoir comparer nos émissions mesurées au bâtiment avec celle de l'EEA, nous avons calculé la part de TAN contenu dans les excréments azotés des volailles dans nos élevages suivis (somme des valeurs d'azote ammoniacal dans le fumier en fin de bande et des émissions globales de N-NH₃ au bâtiment au cours du lot rapportée à l'excrétion totale de N calculée par bilan de masse). Pour le fumier de volaille, les flux d'organisation et de minéralisation de l'azote n'étant pas connus (contrairement aux lisiers), ils ont été considérés comme identiques, en accord avec les méthodologies en vigueur dans la réalisation des Inventaires Nationaux. Les valeurs de TAN estimées dans nos élevages sont plus faibles que les valeurs forfaitaires fournies par l'EEA. Ces différences peuvent notamment s'expliquer par la cinétique de dégradation de l'acide urique contenue dans les fientes de volailles. En effet, en production de volaille, il n'y a pas de dégradation de l'urine *sensu stricto* car l'excrétion se fait sous forme de fientes et non sous forme d'urine et de fèces. L'excrétion urinaire dans les fientes de volailles se fait essentiellement sous forme d'acide urique. Cet acide urique s'hydrolyse en azote ammoniacal (TAN) de manière beaucoup plus lente et variable (en fonction de la température, de l'humidité des effluents ou du pH) que pour l'urée (Groot Kerkamp, 1994 ; Nicholson *et al.*, 1996). Si l'hydrolyse de l'acide urique est partielle, la part de TAN formée est plus faible et l'approche du calcul d'émission fourni par l'EEA pour les productions de volailles peut conduire à une surestimation de l'émission d'ammoniac (Velthof *et al.*, 2012). Cette spécificité avicole pourrait expliquer la différence obtenue sur les émissions entre les mesures effectuées dans les élevages de notre échantillon et les valeurs par défaut existantes dans la méthodologie de l'EEA. D

Demmers, T.G.M., Burgess, L.R., Short, J.L., Phillips, V.R., Clark, J.A., Wathes, C.M., 1999. Atmos. Environ., (33), 217-227.D
EEA, 2013. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook: Chapitre 3B Manure Management GB2013. European Environment Agency, 27p.D
Groot Kerkamp, 1994. J. Agric. Engng Res., (59), 75-87.D
Hassouna, M., Eglin, T., Cellier, P., Colomb, V., Cihon, J.P., Decuq, C., Delabuis, M., Edouard, N., Espagnol, S., Eugene, M., Fauvel, Y., Fernandes, E., Fisher, N., Genemont, S., Godbout, S., Guingand, N., Guyader, J., Lagadee, S., Laville, P., Loringuer, E., Loubet, B., Loyer, L., Martin, C., Méda, B., Morvan, T., Oster, D., Oudart, D., Personne, E., Planchais, J., Ponchant, P., Renard, G., Robin, P., Rochette, Y., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. INRA-ADEME éd., 314p.D
Müller, H.-J., Brunsch, R., Hörnig, G., Jelinek, A., 2003. International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities, Horsens, Jutland, Denmark, 172-179.D
Ponchant, P., Hassouna, M., Aubert, C., Robin, P., Amand, G., 2009. 8èmes Journées de la Recherche Avicole. Saint Malo, 100-104.D
Velthof, G.L., Van Bruggen, C., Groenestein, C.M., De Haan, B.J., Hoogveen, M.W., Huijsmans, J.F.M., 2012. Atmos. Environ., (46), 248-255.



AMBIGAIN : UN OUTIL D'AIDE AU PERCEMENT DES GAINES DE BRASSAGE EN SALLE DE GAVAGE

Robin Paul¹, Amand Gérard², Pertusa Marion³

¹INRA, UMR SAS - 65 rue de Saint-Brieuc - 35042 Rennes Cedex, France

²ITAVI Antenne Ouest - 41 rue Beaucemaine - 22440 Ploufragan, France,

³ITAVI Antenne Sud-Ouest - Palmipôle - route de Haut Mauco - 40280 Benquet, France

paul.robin@inra.fr

RÉSUMÉ

Le confort thermique des volailles passe par le respect de la température effectivement vécue (TEV). Celle-ci intègre les composantes de température, d'hygrométrie mais aussi de vitesse d'air dans leur zone de vie. L'engagement de la filière palmipèdes dans l'amélioration de la durabilité des élevages a conduit à des travaux sur l'amélioration du bien-être animal et la réduction des consommations d'énergie dans les salles de gavage. Le choix du brassage par gaine résulte de ces travaux. Ce choix conduit au besoin de maîtriser la distribution des vitesses d'air dans les salles de gavage. L'outil de calcul développé pour les techniciens d'organisation de production et les gaveurs a deux fonctions. La première permet de réaliser un plan de perçage d'une nouvelle gaine adapté à l'obtention des vitesses d'air souhaitées sur l'ensemble des logements de la rangée ; la deuxième, orientée sur le diagnostic et l'amélioration de cet outil, permet de comparer les vitesses d'air observées à celles simulées pour les logements à partir d'un perçage déterminé. Une série de mesures a été réalisée sur 2 configurations de gaines équipant une salle expérimentale de gavage. Les observations réalisées associées aux caractéristiques des ventilateurs ont permis d'établir un outil sous Excel® pour un calcul de la vitesse d'air dans les logements. Les données simulées ont été comparées aux données mesurées. Nos résultats montrent que les vitesses d'air moyennes sont correctement prédites (0,5 m/s) mais le calcul ne rend pas compte des fluctuations de la vitesse au cours du temps. A la puissance maximale du ventilateur ces dernières dépassent 1 m/s. L'outil ainsi réalisé retourne de manière visuelle, sur un maillage de 10 cm, les vitesses d'air obtenues sous forme de surfaces colorées selon le niveau de vitesse calculé. Les sorties de l'outil, discutées avec les techniciens d'organisations de production apportent les éléments de réponse à l'optimisation des gaines de brassage en salle de gavage.

ABSTRACT

Ambigaine: a tool to aid design of ventilation ducts for gavage room.

The thermal comfort of poultry depends on the effective temperature (ET) experienced by the animal. It integrates the components of temperature, humidity and air velocity in their living area. Sustainability and animal welfare studies by the production chain has favored the choice of blowing ducts in gavage housing. This choice induced the need to better control the distribution of air speed in gavage rooms. A calculation tool was implemented for production organization technicians and feeders with two functions. The first makes it possible to realize a drilling plane of a new duct adapted to obtain the desired air velocities over all the housings of the row, the second, oriented to the diagnosis and the tool improvement, makes it possible to compare observed air velocities to the values simulated in the house with a given drilling. A series of measurements were carried out on 2 configurations of ducts fitted to an experimental gavage room. The observations made associated with the characteristics of the ventilators made it possible to establish an Excel® tool for a calculation of the air velocity in the dwellings. The calculated data were compared with the measured data. The mean velocities are correctly predicted (0.5 m/s) but the calculation does not account for fluctuations in velocity over time. At the maximum fan power these one exceeds 1 m/s. The tool thus produced visually returns, with a mesh size of 10 cm, the air velocities obtained in the form of surfaces colored according to the calculated speed level. The outputs of the tool, discussed with the technicians of production organizations provide the elements of response to the optimization of the ventilation ducts in the gavage room.

1. INTRODUCTION

Une enquête auprès d'un échantillon de gaveurs représentant une centaine de salles de gavage (Amand et al., 2015) a permis de déterminer que le potentiel de gestion de l'ambiance des bâtiments est correct (renouvellement, brassage, refroidissement, régulation...). Toutefois les réglages des paramètres d'ambiance utilisés par les gaveurs pour atteindre un même niveau de production s'avèrent assez différents. Cela signifie que des résultats techniques moyens similaires peuvent-être obtenus en combinant différemment les paramètres d'ambiance.

Le confort thermique des volailles passe par le respect de la température effectivement vécue (TEV) par l'animal (Le Menec et Valancony, 1994). Celle-ci intègre les composantes de température, d'hygrométrie mais aussi de vitesse d'air dans leur zone de vie.

Le brassage d'air est l'une des composantes sur laquelle les gaveurs s'appuient pour améliorer le bien-être des animaux. Le brassage facilite l'évacuation de l'excédent de chaleur produite par un métabolisme fortement sollicité en période de gavage. Il est donc indispensable d'optimiser la gestion des vitesses d'air. En effet, trop faibles, elles ne permettent pas d'obtenir un effet rafraichissant suffisant. Trop fortes, l'animal ressent une sensation de froid. Nous avons constaté ces effets en observant les productions de chaleur sensible et latente émises par les animaux (données non publiées).

Les résultats de l'enquête (Amand et al., 2015) montrent que les dispositifs de brassage par gaine présentaient des débits moyens installés de l'ordre de 66 m³/h/animal contre 146 m³/h/animal pour les systèmes de brassage en cascade. L'économie d'énergie se situerait dans un rapport de 2, d'autant plus que les ventilateurs utilisés en gaine débitent plus que ceux utilisés en cascade, donc ces derniers pour un même débit sont potentiellement plus nombreux.

Un travail sur l'optimisation de l'ambiance en salle de gavage a été engagé depuis 2011 par l'INRA et l'ITAVI dans le cadre du Palmipôle avec l'appui financier du CIFOG. Ce travail devrait permettre de mieux cerner les apports de chaleurs des canards en gavage, et par conséquent de mieux cerner leurs besoins bioclimatiques pendant cette phase. Ceci conduira à mieux dimensionner les équipements (ventilation, brassage, refroidissement, ...), mais aussi à préciser les modalités de régulation de l'ambiance en fonction du stade de gavage et des heures de repas notamment.

Le passage récent des gaveurs au logement collectif associé aux efforts de la filière pour améliorer le bien-être animal et réduire son empreinte environnementale a favorisé le choix du brassage de l'air par gaine. L'amélioration de la connaissance du besoin des animaux en vitesse d'air conduit au besoin de mieux maîtriser la distribution des vitesses dans les logements. Nos observations précédentes (non publiées) ont montré

que les salles dans lesquelles le brassage d'air se fait par gaine présentent des vitesses d'air hétérogènes intra-logement. Ceci s'explique par le fait que la perforation des gaines de brassage est souvent réalisée de manière empirique, par exemple une perforation par canard, les trous de même diamètre étant répartis uniformément sur l'ensemble de la gaine. L'objectif de ce travail est d'intégrer tous les phénomènes physiques intervenant dans la gaine et en sortie de celle-ci (rotation de l'air, pression statique, pression dynamique, perte de charge, orientation du flux) pour élaborer un outil de calcul du perçage des gaines de brassage destinés aux techniciens d'organisation de production et aux gaveurs.

2. MATERIELS ET METHODES

Pour optimiser la perforation des gaines, nous avons caractérisé : (i) le débit et la pression générés par un ventilateur dans une gaine pour différents niveaux de puissance ; (ii) la distribution spatiale des vitesses d'air moyennes générées par une gaine dans une rangée de logements de canards collectifs. Pour ce faire, 2 configurations différentes ont été installées dans une salle de la station expérimentale d'Artiguères (40). Cette salle comporte 700 places réparties sur 4 doubles rangées de logements (Robin et al., 2017).

2.1. Les installations où se sont déroulées les mesures

Nous avons utilisé deux gaines constituées chacune d'un tronçon rigide en PVC connecté au ventilateur d'un côté et à une partie souple en aval raccordée et serrée sur le tronçon rigide à l'aide d'une sangle. Les caractéristiques des gaines sont reprises dans le tableau 1. Chaque gaine est positionnée sur une double rangée de logements collectifs de marque La Guitoune et de dimensions 0,825 m de long x 0,650 m de profondeur x 0,600 m de hauteur (figure 1). Le tableau 2 indique les emplacements de mesure le long de cette rangée. En amont de chaque gaine se trouve un ventilateur de marque et caractéristiques différentes (tableau 3). Le débit des ventilateurs est modulé par un variateur de fréquence.

Initialement, un redresseur de flux était installé dans chaque gaine en sortie de ventilateur. Nous avons réalisé des mesures avec et sans le redresseur. Compte tenu de l'absence d'impact clair de ce redresseur de flux sur la trajectoire de l'air à la sortie de la gaine et de l'hétérogénéité des redresseurs disponibles sur le marché, nous avons pris le parti de supprimer le redresseur de flux durant les mesures. Cette dernière option permet un gain économique, une réduction des pertes de charge et une plus grande facilité de nettoyage et désinfection des gaines.

2.2. Les observations

Des matériels de mesure utilisés couramment en climatisation ont été choisis afin de faciliter la reproduction de ces mesures pour calibrer ou valider l'outil de dimensionnement. Les mesures suivantes ont été effectuées : débit d'air, pression statique, pression

dynamique et pressions totale en gaine, vitesse d'air en sortie des trous de la gaine et dans les logements. Les mesures ont été réalisées en alimentant les ventilateurs à une fréquence de 20, 35 et 50 Hz.

Pour tenir compte de la rotation de l'air, mis en mouvement par le ventilateur et de la variation des pressions statique et dynamique entre le début et la fin de gaine, les mesures de vitesse ont été prises en sortie des trous et suivies pour établir la direction des jets d'air à l'aide de l'anémomètre et de fumigènes.

2.3. Les contraintes de développement de l'outil

Notre premier objectif était que l'outil développé représente correctement les observations décrites ci-dessus. Il faut donc que la valeur et l'hétérogénéité des vitesses permettent d'anticiper leur répartition dans les logements.

Notre second objectif était de fournir aux techniciens, voire aux gaveurs un outil facilement accessible, adaptable à des bâtiments variés, et pour lequel les informations demandées ne soient pas trop complexes ou trop nombreuses à renseigner.

Nous avons utilisé le tableur Excel® compte tenu de son utilisation par la majorité des personnes visées. Les paramètres dont dépendent les vitesses d'air dans les logements doivent être renseignés en entrée sinon calculés. Ce sont notamment les caractéristiques du ventilateur (diamètre, courbes débit/pression à différentes fréquences), son positionnement par rapport aux premiers logements, la géométrie des rangées de logements et des logements (longueur, largeur, emplacements sans logements), les particularités de la gaine (longueur totale, longueur de gaine souple, diamètre de la gaine, distance du bas de la gaine au fond de la cage), les perforations (diamètres utilisés, nombre de lignes de trous par rangée de logement, nombre et position des trous par ligne).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Processus représentés

Les cinq processus qui déterminent la distribution de l'air à la sortie des gaines sont par importance décroissante :

- l'augmentation de la pression totale et du débit d'air à l'entrée de la gaine avec l'augmentation de la puissance d'alimentation du ventilateur (régulation en tension ou fréquence) ;
- la diminution du débit d'air et l'augmentation de la pression totale à l'entrée de la gaine avec la diminution de la section totale de sortie d'air (nombre et diamètre des trous) ;
- la diminution de la pression dynamique entre le ventilateur et l'extrémité de la gaine ;
- l'augmentation correspondante de la pression statique (pression totale diminuant avec la perte de charge associée à la gaine) ;
- la rotation de l'air à la sortie du ventilateur.

3.2. Présentation de l'outil de calcul

L'outil de calcul se présente sous la forme d'un classeur Excel® composé de trois feuilles de calcul. Dans la feuille de « saisies », l'utilisateur sélectionne ses composants. Pour faciliter la saisie, la liste des logements collectifs actuellement utilisés a été pré-renseignée. De même, les caractéristiques des ventilateurs, des gaines et des emporte-pièce pour les trous peuvent être complétées à partir des données fournies par les fabricants. L'utilisateur complète ces informations avec les indications spécifiques de la salle étudiée : rangée simple ou double, nombre de modules, espaces de la rangée non constitués de loges (moteur, renforts, ...), position relative du ventilateur, de la gaine et de la rangée de logements.

Deux feuilles de « sorties » complètent la feuille de « saisie ». La première feuille de sortie sert à visualiser, avec un maillage de 10 cm, les vitesses d'air obtenues sur le plancher des logements arrosés par la gaine pour les débits mini et maxi du ventilateur (figure 2), la deuxième permet d'éditer le plan de perçage de la gaine indiquant pour chacune des perforations (figure 3) : son diamètre (en millimètres), sa distance en mètre(s) du ventilateur, sa distance à la pliure de la gaine (ligne diamétralement opposée à la ligne d'accrochage de la gaine). Le maillage de 10 cm nous a paru un bon compromis entre la facilité de lecture, la variabilité spatiale des vitesses d'air et la difficulté à évaluer un maillage plus fin par le nombre de mesures demandées.

3.3. Observations

Deux séries de mesures ont été réalisées pour calibrer puis valider les calculs. La première série consistait à caractériser le ventilateur (équations débit-fréquence-pression) et les modalités de sortie d'air (paramètres d'évolution des pressions statique et dynamique, vitesse et cône de soufflage, angles de sortie). La deuxième série a été comparée aux données calculées. Les vitesses moyennes sont correctement prédites (0,5 m/s) mais le calcul ne rend pas compte des fluctuations rapides de la vitesse au cours du temps qui dépassent 1 m/s.

3.4. Déploiement

Le déploiement sur le terrain est prévu en deux phases. Dans une première étape l'adéquation du fichier avec les modalités du conseil en élevage sera testée avec quelques techniciens préoccupés par cet enjeu spécifique. Dans une seconde étape, des formations seront organisées. Elles associeront une partie expérimentale au Palmipôle, destinée à illustrer et expliquer les processus à l'origine de la distribution des vitesses d'air, à une partie théorique conduisant à définir un plan de perçage adapté aux spécificités d'une salle. Nous souhaitons en outre accompagner ce déploiement d'une série de diagnostics comportant la caractérisation des vitesses d'air avant et après modification du perçage.

4. CONCLUSION

Des progrès dans la maîtrise des vitesses d'air dans les salles de gavage permettraient aux éleveurs d'améliorer le confort thermique des canards. Les gaines permettent d'associer une économie d'énergie électrique (par rapport au brassage en « cascade ») à une maîtrise de l'homogénéité des vitesses d'air dans les logements.

Un nouvel outil d'aide au perçage des gaines a été développé pour les salles de gavage. Il est basé sur des observations de vitesses d'air sous des gaines au

Palmipôle et s'appuie sur les connaissances actuelles des logements collectifs. Son déploiement est en cours.

REMERCIEMENTS

Nous remercions particulièrement Jean-Paul Saint-Cricq pour son aide à la réalisation des expérimentations au Palmipôle, les éleveurs et organisations de production qui nous ont accueilli en élevage ainsi que le CIFOG et le CASDAR pour leur soutien financier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

INRS, 1989, Principes généraux de ventilation – Guide pratique de ventilation, ED 695, 40 p.

Le Menec M., Valancony H., 1994. Sc. Tec. Avic., n°11, 28-30.

ITAVI-CNEVA, 1997. Sc. Tec. Avic. 1997, hors série, 64 p.

ITAVI-CNEVA, 1998. Sc. Tec. Avic. 1998, hors série, 64 p.

Amand G., Peillod C., Audren C., Diguët J., Laborde M., Robin P., Hassouna M., Litt J., Rousset N., 2015. TeMA, n°33, 4-9

Robin P., Amand G., Pertusa M., Laborde M., Godfrain B., 2017. TeMA, n°41, à paraître

Tableau 1. Caractéristiques des gaines de brassage utilisées

Gaine	Caractéristiques	Gaine (F)	Gaine (Z)
Tronçon rigide	Diamètre (m)	0,66	0,53
	Section (m ²)	0,342	0,221
	Longueur (m)	2,1	2,1
Tronçon souple	Diamètre fin (m)	0,68	0,60
	Section fin (m ²)	0,363	0,283
	Longueur (m)	16,065	16,065

Tableau 2 . Distance des emplacements de mesure par rapport au ventilateur

N°	Distance au ventilateur (m)
1	10,93
2	12,57
3	14,24
4	15,68
5	17,08

Tableau 3. Caractéristiques des ventilateurs utilisés

Marque et modèle	Diamètre (mm)	Débit maxi à 0 Pa (m ³ /h)	Pression maximum (Pa)	Vitesse de rotation max à 0 Pa (T/mn)	Alimentation électrique (V)	Intensité à 0 Pa (A)
Fancom 3463	629	17 530	250	1 445	400-415	2,64
Ziehl –abegg FC0564D .4I. _ VT 560	560	12 700	?	1 260	400	1,6

Source : documents constructeurs

Figure 1 . Exemple de rangée de logements ventilés par une gaine (a) ou ventilés en cascade (b).

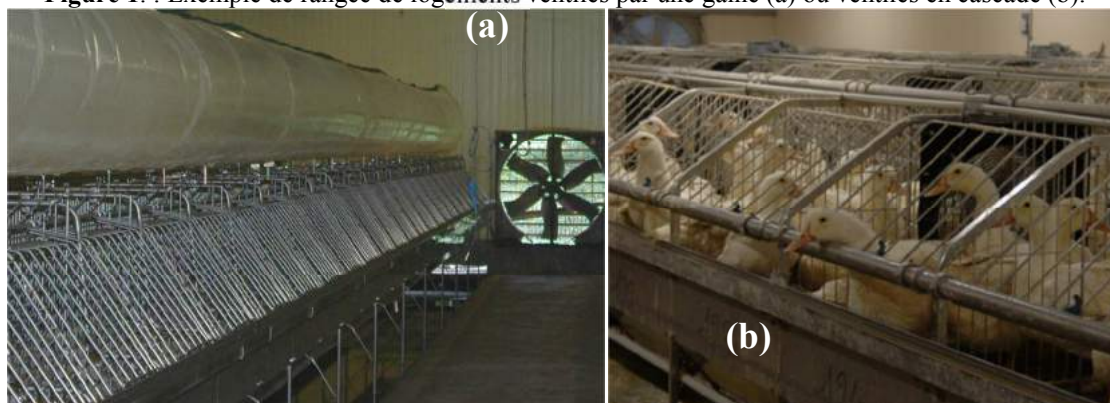


Figure 2 : exemple de sorties couleur selon les vitesses d’air calculées dans les logements au niveau 0 (fond de la loge ; absc=distance au ventilateur en m) sur le visuel du schéma de sortie – ① = à puissance maxi du ventilateur – ② = à puissance mini du ventilateur - ③ échelle des couleurs utilisées selon les vitesses d’air calculées (m/s) ; les variations spatiales s’expliquent notamment par le choix de 2 lignes de trous et la présence des séparations de logements ; les différences entre les cartes ① et ② s’expliquent par la répartition des pressions dans la gaine en fonction du perçage et du ventilateur)



Figure 3 : Exemple de sortie du plan de perçage associé à la figure 2

Géométrie de perçage choisie																									
numéro du premier logement :		126																							
sens variation		-1																							
début comptage		fin de gaine																							
n° section gaine				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
n° logement				126					125									124					123		
absc. début cage/gaine				0,00					0,82									1,64					2,46		
1ère ligne côté gauche				n° trou		1	2	3		4	5		6		7		8		9						
				diamètre		54-D	54-D	54-D		54	54-D		54		54		54		54						
				distance fin de gaine (m)		17,94	17,53	17,12		16,90	16,71		16,49		16,08		15,67		15,21						
				distance pliure (cm)		-12,5	-12,5	-12,5		-9,5	-9,5		-9,5		-9,6		-9,7		-9,9						
1ère ligne côté droit				n° trou		1	2		3	4		5		6		7		8		9					
				diamètre		54-D	54-D		54-D	54		54-D		54		54		54		54					
				distance fin de gaine (m)		17,94	17,53		17,12	16,86		16,71		16,45		16,04		15,63		15,18					
				distance pliure		11,4	11,4		11,4	12,9		12,9		12,9		12,8		12,8		12,7					



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