

Analyse environnementale de stratégies d'alimentation de précision des porcs charcutiers

Florence GARCIA-LAUNAY (1), Cyrielle DELAGE (2), Nathalie QUINIOU (2), Ludovic BROSSARD (1),
Michel MARCON (2), Sandrine ESPAGNOL (2)

(1) PEGASE, INRAE, AGROCAMPUS OUEST UMR PEGASE, INRAE, 35590 Saint-Gilles, France

(2) IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35360 Le Rheu, France

Florence.garcia-launay@inrae.fr

Cette étude est réalisée dans le cadre du projet Feed-a-Gene,
financé par l'Union Européenne programme H2020 (convention n°633531).

Analyse environnementale de stratégies d'alimentation de précision des porcs charcutiers

L'alimentation de précision (AP) des porcs charcutiers pourrait réduire les impacts environnementaux de la production porcine. Pourtant peu de résultats ont été publiés sur ce sujet. Cette étude visait à évaluer par analyse du cycle de vie les impacts de l'AP de porcs charcutiers en comparaison d'une alimentation conventionnelle. Deux approches sont utilisées : l'une reposant sur des données obtenues dans deux expérimentations et l'autre sur des simulations réalisées avec un modèle de l'atelier d'engraissement. Dans l'expérimentation ExpAdLib, une stratégie biphasé (2P) *ad libitum* (AdLib) a été comparée à une AP AdLib. Dans l'expérimentation ExpRat, une stratégie en biphasé rationné (2Prat) a été comparée à une alimentation de précision rationnée (Rat). Quatre programmes d'alimentation ont été simulés : S2PREF = biphasé de référence, S2PBasProt = biphasé à basse teneur en protéines, SMPGr = multiphasé journalier groupe et SMPInd = multiphasé journalier individuel, selon deux plans de rationnement : AdLib et Rat. L'AP réduit de façon systématique les impacts acidification et eutrophisation, grâce à la réduction de l'excrétion d'azote. Pour l'impact sur le changement climatique, les résultats expérimentaux suggèrent une amélioration en AP AdLib mais pas en AP Rat. Les résultats simulés font état d'une amélioration claire sur l'acidification, l'eutrophisation et l'occupation des sols, mais pas d'amélioration sur le changement climatique en raison de la légère augmentation de l'indice de consommation. Cette étude confirme que l'AP est un levier de réduction des impacts environnementaux de la production de porcs charcutiers, particulièrement pour l'acidification et l'eutrophisation. L'AP doit faire l'objet d'une approche globale incluant la définition des niveaux d'acides aminés des aliments, la formulation des aliments, et la définition du niveau de rationnement, pour obtenir le meilleur gain environnemental.

Environmental assessment of feeding strategies of precision feeding

Precision feeding (PF) in growing-finishing pigs appears as a promising technology to decrease environmental impacts of pig production. However, few studies have compared environmental impacts of conventional and PF. Therefore, the aim of this study was to perform life cycle assessment (LCA) of pig production with either conventional or PF applied to growing-finishing pigs. Two approaches were used: using data from two experiments or relying on simulations performed with a fattening-unit model. In the ExpAdLib experiment, two-phase *ad libitum* (AdLib) feeding was compared to *ad libitum* PF. In the ExpRat experiment, two-phase restricted (Res) feeding was compared to restricted PF. In the model, four feeding programs – S2PREF (reference two-phase), S2LowProt (two-phase with low protein content), SMPGr (daily multiphase group feeding) and SMPInd (daily multiphase individual feeding) – were simulated according to two levels of supply: AdLib and Res. PF always decreased acidification and eutrophication impacts by reducing nitrogen excretion. Experimental results showed that climate change was reduced in PF AdLib but not in PF Res. Simulated results showed decrease in acidification, eutrophication and land occupation impacts, but not of climate change because of a worse feed conversion ratio. This LCA confirms that PF is a technology for reducing environmental impacts of pig production, particularly acidification and eutrophication. Nevertheless, definition of constraints on amino-acid and crude-protein contents, feed formulation and definition of the level of feed restriction should be made carefully in order to obtain the expected environmental gains with PF.

INTRODUCTION

Les impacts environnementaux des élevages porcins sont associés de façon plus ou moins importante à la production des aliments et/ou à l'excrétion d'éléments (N, P, matière organique...) par les animaux et donc aux émissions à la ferme. L'atelier d'engraissement a une contribution majeure à ces impacts (Dourmad *et al.*, 2014). L'utilisation des technologies de l'information et de la communication est en plein essor en élevage porcine avec notamment l'apparition d'applications sur smartphone et le développement de capteurs ou automates capables d'enregistrer automatiquement des critères d'ambiance ou des données techniques (poids, ingestion). Les données générées par les élevages porcins et les informations utilisables pour leur pilotage sont donc appelées à se développer et à être mobilisées pour améliorer leur conduite.

Dans ce contexte, l'alimentation de précision (AP) apparaît comme une solution pour réduire les impacts environnementaux des élevages porcins, notamment pendant la phase d'engraissement (Andretta *et al.*, 2018). Elle se définit comme l'ensemble des technologies qui visent à l'acquisition de données individuelles de suivi des performances des porcs, au calcul des besoins nutritionnels individuels, et à la distribution à chaque porc chaque jour de l'alimentation qui couvre au plus près ses besoins. Deux mécanismes sont mis en avant pour expliquer le potentiel attendu de l'AP pour réduire les impacts environnementaux de la production porcine : (1) l'amélioration de l'indice de consommation et donc une économie d'aliment, et (2) la réduction de l'excrétion de N et P en particulier, réduisant ainsi les émissions en bâtiment, lors du stockage et de l'épandage des effluents (Andretta *et al.*, 2016).

L'AP fait l'objet de travaux visant à i) prédire en temps réel l'ingestion et la croissance du jour suivant pour chaque animal en fonction des jours précédents, ii) estimer les besoins nutritionnels jour par jour, et iii) mettre en œuvre l'AP en conditions expérimentales pour évaluer les progrès qu'elle permet effectivement. Cependant, les dispositifs d'AP sont actuellement encore en cours de développement et sont appelés à s'améliorer (Brossard *et al.*, 2019). Ils ne permettent donc pas encore de connaître complètement le potentiel futur de l'AP.

Plusieurs études ont déjà mesuré ou estimé les réductions d'excrétion d'éléments permises par l'AP (Andretta *et al.*, 2016; Brossard *et al.*, 2019). Cependant, très peu ont évalué par Analyse de Cycle de Vie (ACV) les progrès réalisés, en intégrant notamment les impacts associés au fonctionnement du dispositif d'alimentation de précision. Dans le cadre du projet H2020 Feed-A-Gene, nous avons réalisé cette analyse pour évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux de l'AP.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Méthodologie d'Analyse de Cycle de Vie

L'ACV inclut les impacts associés à la production des matières premières utilisées dans les aliments, le transport des matières premières, la fabrication des aliments et leur transport entre les lieux de production et d'utilisation, les émissions en bâtiment d'élevage associées aux animaux et aux déjections stockées sous caillebotis et les émissions au stockage. Le lisier produit est supposé remplacer une quantité de fertilisant

minéral (75% pour N, Nguyen *et al.* 2010 ; et 100% pour P, Sommer *et al.* 2008) et le gain environnemental associé à l'économie de fertilisant est affecté au processus d'épandage du lisier. L'unité fonctionnelle retenue est le kg de poids vif en sortie de ferme. Six catégories d'impacts ont été évaluées en utilisant des méthodes de caractérisation disponibles dans le logiciel Simapro, version V8.5.2 (PRé consultants, Amersfoort, the Netherlands) : la méthode ILCD pour le changement climatique (kg CO₂-eq) et l'acidification (molc H⁺-eq), la méthode CML 2001 pour l'eutrophisation (g PO₄³⁻) et l'occupation des terres en m².an et la méthode CED V1.8 pour la consommation d'énergie non renouvelable (MJ).

1.2. Scénarios étudiés

Deux stratégies d'alimentation innovantes ont été évaluées : une stratégie d'alimentation de précision avec distribution d'aliment *ad libitum* (qui ajuste la composition du mélange au besoin individuel journalier) et une stratégie d'alimentation de précision avec distribution rationnée d'aliment (qui ajuste la composition du mélange au besoin individuel journalier en fonction de la quantité distribuée). Ces stratégies ont été appliquées à la période d'engraissement. La première stratégie laisse aux porcs l'opportunité d'exprimer leur potentiel. La restriction est classiquement utilisée pour améliorer l'efficacité alimentaire des porcs et leur état d'engraissement à l'abattage. Le bénéfice des deux stratégies d'AP a été évalué avec deux approches différentes :

- *Une approche expérimentale.* Dans ce cas, les calculs ont été faits à partir des données obtenues dans les expérimentations conduites dans le cadre du projet Feed-A-Gene avec, comme données disponibles : les formules d'aliments, l'ingestion d'aliment et la consommation directe d'énergie. L'évaluation est alors réalisée en comparant les stratégies d'AP avec les traitements de référence des expérimentations (stratégie biphasée avec des aliments à basse teneur en protéines). Le bénéfice environnemental calculé représente l'amélioration qui pourrait être obtenue en appliquant en ferme commerciale la stratégie d'AP telle qu'elle est actuellement développée.

- *Une approche par modélisation.* Dans ce cas, l'AP est modélisée comme si les profils individuels des animaux étaient connus parfaitement au préalable. Le bénéfice environnemental évalué est celui vers lequel il sera possible de tendre dans le futur.

1.3. Schéma expérimental des essais *in vivo*

Deux expérimentations ont été mises en œuvre. La première (ExpAdLib) est réalisée en alimentation *ad libitum* et compare une stratégie biphasée (2PAdLib) et une stratégie d'alimentation de précision (APAdLib) (station expérimentale INRA Saint-Gilles ; Brossard *et al.*, 2019). La deuxième (ExpRat) est réalisée en alimentation rationnée et compare une stratégie biphasée (2PRat) à une stratégie d'alimentation de précision (APRat) (station expérimentale IFIP Romillé, Quiniou *et al.*, 2018).

Dans ExpAdLib, 64 porcs ont été engraisés de 70 à 161 jours d'âge (34 à 109 kg de poids vif, PV) dans une case unique équipée d'une bascule automatique et de huit alimentateurs de précision qui enregistrent la quantité d'aliment ingéré de chaque porc et fournissent un mélange ajusté de deux régimes (A et B avec, respectivement, 1,0 et 0,4 g de lysine digestible iléale standardisée (Lys) par MJ d'énergie nette (EN), et 9,7 MJ EN/kg) à chaque porc du groupe APAdLib.

Dans ExpRat, 96 porcs ont été engraisés de 82 jours à 180 jours d'âge (de 40 à 114 kg PV) dans une case unique équipée d'une station de pesée et de tri ainsi que d'une zone d'alimentation comprenant cinq alimentateurs de précision permettant d'enregistrer la consommation d'aliment et de distribuer un mélange de deux régimes (A et B avec, respectivement, 1,0 et 0,5 g Lys/MJ EN, et 9,75 MJ EN/kg) à chaque porc du groupe APRat. La quantité d'aliment distribué à chaque porc est de 4% du poids vif en début d'engraisement, puis est incrémentée de 27 g par jour/porc jusqu'à un plafond de 2,4 kg/j pour les femelles et 2,7 kg/j pour les mâles castrés.

Dans les deux essais, les porcs du groupe conduit en biphase reçoivent un mélange apportant 0,9 g Lys/MJ EN jusqu'à un PV moyen de groupe de 65 kg (croissance) et 0,7 g Lys/MJ EN ensuite (finition).

Pour les deux essais, l'évaluation des besoins en Lys a été réalisée quotidiennement et individuellement avec un outil d'aide à la décision (InraPorc®, 2006), sur la base des 20 enregistrements précédents de PV et d'ingestion. La composition du régime pour chaque porc a été changée en accord avec cette évaluation en mélangeant les aliments A et B dans les proportions adéquates.

1.4. Schéma expérimental *in silico*

Toutes les simulations sont réalisées avec des profils de mâles castrés et de femelles (Large White x Landrace) x (Large White x Piétrain) (Brossard *et al.*, 2014). Les teneurs en lysine retenues pour la formulation des aliments ont été définies relativement au besoin du profil moyen des femelles en croissance pour les aliments des stratégies biphase et pour l'aliment A des stratégies multiphase, et relativement au besoin moyen des mâles castrés pour l'aliment B des stratégies multiphase.

Quatre stratégies d'alimentation ont été construites avec des aliments formulés à 9,5 MJ EN/kg et différentes teneurs en Lys :

- Alimentation biphase (S2PREF) associant un aliment croissance à 16% de protéines brutes et 0,95 g Lys/MJ EN, et

un aliment finition à 15% de protéines brutes et 0,73 g Lys/MJ EN.

- Alimentation biphase à basse teneur en protéines (S2PBasProt) associant un aliment croissance à 15% de protéines brutes et 0,95 g Lys/MJ EN et un aliment finition à 13% de protéines brutes et 0,73 g Lys/MJ EN.

- Alimentation multiphase en groupe (SMPGr) dans laquelle les porcs sont nourris quotidiennement sur la base des besoins du profil moyen des femelles. Cette stratégie mélange chaque jour un aliment A à 17% de protéines brutes et 1,04 g Lys/MJ EN et un aliment B à 10% de protéines brutes et 0,43 g Lys/MJ EN.

- Alimentation multiphase individuelle (SMPInd) qui correspond à une alimentation de précision dans laquelle les profils de chaque porc seraient parfaitement connus pour calculer les besoins et le mélange à apporter. Cette stratégie mélange un aliment A à 17% de protéines brutes et 1,04 g Lys/MJ EN et un aliment B à 10% de protéines brutes et 0,43 g Lys/MJ EN.

Les aliments des quatre stratégies ont été formulés à moindre coût dans quatre contextes économiques (prix moyens annuels des matières premières en 2010-11, 2012-13, 2013-14 et 2016-17), en respectant des contraintes d'incorporation et les contraintes nutritionnelles définies plus haut. Les valeurs nutritionnelles des matières premières sont issues des tables d'alimentation INRA-CIRAD-AFZ (Sauvant *et al.*, 2004).

Les quatre stratégies ont été appliquées d'une part, en conditions d'alimentation *ad libitum* et d'autre part, en conditions de rationnement alimentaire associant un apport initial de 5% du PV et une augmentation d'apport de 30 g/j jusqu'à un plateau de 2,6 kg/j.

1.5. Inventaires de cycle de vie et outils utilisés

Le tableau 1 résume les sources de données utilisées dans les deux approches. Le logiciel SimaPro V8.5.2 a été utilisé pour construire les inventaires de cycle de vie et calculer les impacts environnementaux à partir des données expérimentales. Les impacts des stratégies simulées ont été obtenus avec le modèle Mogador (Cadéro *et al.*, 2018a).

Tableau 1 – Sources des données d'inventaires de cycle de vie

Catégories des inventaires	Approche expérimentale	Modélisation
Processus de production des matières premières utilisées dans les aliments	Jeu de données ECOALIM issu de la base de données Agribalyse V1.3.	
Processus de production d'énergie	Consommation moyenne des fermes porcines françaises (983 kWh/truie/an ; IFIP, 2006) (ecoinvent pour l'ICV d'1 kWh, Weidema <i>et al.</i> , 2013)	
Consommation d'électricité associée au dispositif d'alimentation de précision	2,005 kWh par porc entrant en engraissement (enregistrements en expérimentation)	
Consommation d'eau	Consommation moyenne des fermes porcines françaises (Massabie <i>et al.</i> , 2014)	
Transport	Expertise pour les distances (de l'usine de fabrication à l'élevage : 30 km) (Ecoinvent pour l'ICV d'1 t.km)	
Construction du bâtiment	Bâtiment d'élevage moyen base de données Agribalyse V1.3.	Non considéré
Emissions directes d'ammoniac (NH ₃) et d'oxydes d'azote (NO _x)	EMEP (2016)	Simulation ¹ (EMEP, 2016)
Emissions directes de protoxyde d'azote (N ₂ O)	IPCC (2006)	Simulation ¹ (IPCC, 2006)
Emissions directes de méthane (CH ₄)	IPCC (2006) tier 2	Simulation ¹ (IPCC, 2006 tier 2)
Lessivage de nitrates (NO ₃ ⁻)	IPCC (2006)	Simulation ¹ (IPCC, 2006)

¹Avec le modèle de Cadéro *et al.* (2018).

Il s'agit d'un modèle de l'atelier d'engraisement porcin capable (i) de simuler les performances de chaque porc de la bande, en interaction avec les pratiques de l'éleveur et la gestion des bandes, et (ii) d'évaluer leurs effets sur les performances techniques, économiques et environnementales

de l'atelier. Le modèle utilise un pas de temps journalier et exécute des actions telles que le comptage des porcs prêts pour le prochain départ à l'abattoir, l'envoi des porcs à l'abattoir, l'allotement d'une nouvelle bande... Le modèle Mogador a été ici paramétré pour simuler les stratégies dans

le cadre d'une conduite en sept bandes avec six salles et une salle tampon, et un poids objectif à l'abattage de 118,4 kg.

2. RESULTATS

2.1. Performances animales observées et simulées

Dans ExpAdLib (Tableau 2), l'application de l'AP (APAdLib) réduit l'indice de consommation de 5,6% par rapport à une alimentation biphase (2PAdLib). Cela se traduit par une baisse de la consommation totale d'aliment de 5,1% et une réduction de la quantité moyenne d'N ingéré de 4,2%. Dans ExpRat (Tableau 2), l'application de AP (APRat) augmente légèrement l'indice de consommation (3,1%) et la quantité totale d'aliment ingéré (1,9%). Cependant l'utilisation d'un mélange d'aliments ajusté individuellement et quotidiennement réduit la quantité d'N ingéré par porc de 6,5%. Les quantités d'N excrété par porc, calculées sur la base de ces résultats expérimentaux, diminuent respectivement de 8% et 10% en alimentation de précision *ad libitum* et rationnée par rapport à la stratégie biphase correspondante.

Dans l'approche par simulation (Tableau 3), le poids d'abattage moyen est similaire entre les différentes stratégies. L'indice de consommation est légèrement augmenté en passant d'une stratégie biphase à une stratégie multiphase (entre 1,8% et 2%).

En passant d'une alimentation biphase groupe (S2PREF) à une alimentation multiphase journalière individuelle (SMPInd), l'excrétion d'N est réduite dans les stratégies *ad libitum* et rationné, passant de 3,84 kg N/porc à 2,69 kg N/porc (-30%) en stratégies *ad libitum*, et de 3,72 kg N/porc à 2,63 kg N/porc (-30%) en rationné. Deux étapes successives de réduction de l'N excrété peuvent être observées.

La première amélioration est obtenue en passant d'une stratégie S2PREF à une stratégie S2PBasProt utilisant un aliment à basse teneur en protéines, qui réduit la quantité d'N excrété de 14%.

Une deuxième étape d'amélioration de 17% à 18% est obtenue en passant d'une alimentation multiphase journalière en groupe (SMPGr) à une alimentation de précision (SMPInd).

Tableau 2 – Performances de croissance et azote excrété pour les stratégies d'alimentation testées par l'approche expérimentale

Stratégie alimentation ¹	Poids d'abattage (kg)	Indice de consommation (kg/kg)	Consommation totale d'aliment (kg/porc)	N ingéré (kg/porc)
2PAdLib	117	2,85	234	5,21
APAdLib	117	2,69	222	4,99
2PRat	115	2,87	214	4,65
APRat	113	2,96	218	4,35

¹2PRat = biphase rationné, APRat = alimentation de précision en rationné, 2PAdLib = biphase *ad libitum*, APAdLib = alimentation de précision *ad libitum*.

Tableau 3 – Performances de croissance et azote excrété (moyenne et écart-type résultant de différents contextes économiques) pour les stratégies d'alimentation testées par simulation

Stratégie alimentation ¹	Plan de rationnement	Poids d'abattage (kg)	Indice de consommation (kg/kg)	Consommation totale d'aliment (kg/porc)	N excrété (kg/porc)
S2PREF	<i>Ad libitum</i>	118 (0,05)	2,78 (0,003)	248 (0,2)	3,84 (0,006)
S2PBasProt		118 (0,04)	2,78 (0,001)	247 (0,1)	3,32 (0,002)
SMPGr		117 (0,02)	2,83 (0,003)	249 (0,4)	3,25 (0,005)
SMPInd		117 (0,09)	2,83 (0,002)	249 (0,3)	2,69 (0,002)
S2PREF	Restriction	117 (0,04)	2,75 (0,001)	243 (0,0)	3,72 (0,000)
S2PBasProt		117 (0,04)	2,74 (0,003)	242 (0,2)	3,20 (0,004)
SMPGr		117 (0,08)	2,80 (0,001)	244 (0,1)	3,14 (0,001)
SMPInd		116 (0,05)	2,80 (0,002)	243 (0,2)	2,63 (0,002)

¹S2PREF = biphase groupe, S2PBasProt = biphase à basse teneur en protéines groupe, SMPGr = multiphase journalier groupe, SMPInd = multiphase journalier individuel pour alimentation de précision.

2.2. Impacts environnementaux associés aux stratégies d'alimentation observées et simulées

Dans l'approche expérimentale, la stratégie d'alimentation de précision *ad libitum* (APAdLib, Tableau 4) réduit tous les impacts par rapport à l'alimentation biphase (2PAdLib). L'occupation des sols est réduite de 3% en raison de la réduction de la consommation d'aliment, puisque plus de 95% de cet impact sont expliqués par les impacts de l'aliment. Le changement climatique, l'acidification et l'eutrophisation sont également réduits respectivement de 4%, 6% et 5%, en lien avec la réduction de l'excrétion d'N. La réduction de la consommation d'énergie non renouvelable n'est que de 2% parce que l'économie faite sur l'aliment est presque entièrement compensée par le surplus de consommation d'électricité par le système d'alimentation automatique.

La stratégie d'alimentation de précision rationnée (APRat vs. 2PRat) réduit l'impact acidification d'environ 4% mais l'occupation des sols augmente de 2% et les autres impacts restent semblables. La dégradation de l'indice de

consommation réduit les gains environnementaux puisqu'il faut plus d'aliment pour produire la même quantité de porc.

Les résultats obtenus par simulation (Tableau 5) montrent que l'AP réduit les impacts acidification (-11% à -14%) et eutrophisation (-7%) comparativement à une alimentation biphase à basse teneur en protéines, quel que soit le plan de rationnement. Ceci est dû à la réduction de l'excrétion d'N et des émissions (ammoniac, nitrates) qui en résultent. Comme pour l'approche expérimentale, la consommation d'énergie est légèrement augmentée en raison de l'électricité utilisée par le dispositif d'alimentation automatique.

L'impact changement climatique augmente en passant du biphase standard (S2PREF) au biphase à basse teneur en protéines (S2PBasProt). Ceci est associé à une augmentation de l'incorporation de tourteau de soja rendue nécessaire par les concentrations élevées en acides aminés à atteindre sans dépasser des teneurs limites en protéines.

L'impact changement climatique de l'aliment moyen (moyenne des impacts changement climatique des aliments A

et B, pondérée par leurs consommations respectives) ne diminue pas en alimentation de précision par rapport au biphase standard, que ce soit en alimentation *ad libitum* ou rationnée. Cependant, l'AP réduit faiblement l'impact changement climatique en comparaison avec un biphase à

basse teneur en protéines (S2PBasProt) ou un multiphase groupe (SMPGr).

L'occupation des sols est réduite de 5% en passant de l'alimentation biphase standard à l'AP, en lien avec la réduction de l'impact occupation des sols de l'aliment moyen.

Tableau 4 – Impacts environnementaux par kg de porc en sortie de ferme selon les stratégies d'alimentation explorées dans l'approche expérimentale

Stratégie alimentation ¹	Consommation d'énergie non renouvelable (MJ)	Changement climatique (kg CO ₂ eq)	Acidification (molc H+ eq)	Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻ eq)	Occupation des sols (m ² .an)
2PAdLib	21,38	2,48	0,0822	0,0179	3,85
APAdLib	21,02	2,40	0,0777	0,0171	3,72
2Prat	21,19	2,47	0,0779	0,0173	3,79
APRat	21,32	2,47	0,0746	0,0170	3,85

¹S2PRat = biphase rationné, APRat = alimentation de précision en rationné, 2PAdLib = biphase *ad libitum*, APAdLib = alimentation de précision *ad libitum*.

Tableau 5 – Impacts environnementaux par kg de porc en sortie de ferme (moyenne et écart-type dû aux contextes économiques) pour les stratégies d'alimentation testées par simulation

Stratégie alimentation ¹	Plan de rationnement	Consommation d'énergie non renouvelable (MJ)	Changement climatique (kg CO ₂ eq)	Acidification (molc H+ eq)	Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻ eq)	Occupation des sols (m ² .an)
S2PREF	<i>Ad libitum</i>	18,3 (0,47)	2,26 (0,027)	0,0784 (0,00040)	0,0203 (0,00021)	4,08 (0,076)
S2PBasProt		19,1 (0,42)	2,29 (0,048)	0,0718 (0,00082)	0,0192 (0,00045)	3,92 (0,183)
SMPGr		19,4 (0,41)	2,32 (0,041)	0,0716 (0,00064)	0,0191 (0,00038)	3,94 (0,102)
SMPInd		19,2 (0,27)	2,27 (0,024)	0,0630 (0,00047)	0,0178 (0,00041)	3,87 (0,131)
S2PREF	Restriction	18,2 (0,47)	2,25 (0,028)	0,0771 (0,00048)	0,0201 (0,00023)	4,06 (0,078)
S2PBasProt		19,0 (0,40)	2,27 (0,048)	0,0703 (0,00084)	0,0190 (0,00046)	3,89 (0,180)
SMPGr		19,3 (0,41)	2,30 (0,042)	0,0704 (0,00061)	0,0189 (0,00038)	3,91 (0,101)
SMPInd		19,2 (0,27)	2,26 (0,027)	0,0624 (0,00048)	0,0177 (0,00043)	3,85 (0,131)

¹S2PREF = biphase groupe, S2PBasProt = biphase à basse teneur en protéines groupe, SMPGr = multiphase journalier groupe, SMPInd = multiphase journalier individuel pour alimentation de précision.

3. DISCUSSION

L'AP appliquée chez les porcs charcutiers permet de réduire de façon systématique les impacts acidification et eutrophisation, grâce à la réduction de l'excrétion d'N obtenue par l'amélioration de l'adéquation des apports en acides aminés aux besoins de chaque porc au cours du temps. Pour l'impact changement climatique, les résultats expérimentaux suggèrent une amélioration en conditions d'alimentation *ad libitum* mais pas en conditions de rationnement alimentaire. Cela s'explique par une consommation d'énergie associée au fonctionnement du dispositif d'alimentation automatique qui n'est pas compensée par une amélioration de l'indice de consommation dans ce dernier cas. En effet, les résultats simulés font état d'une amélioration claire sur les impacts acidification, eutrophisation et occupation des sols, mais pas sur le changement climatique en raison d'une légère augmentation de l'indice de consommation.

Andretta *et al.* (2018) ont comparé une alimentation en groupe avec trois phases allant de 17,2% à 14,3% de protéines brutes à une alimentation de précision dans différents scénarios de production de soja (provenant en proportion variable de zones en partie déforestées). Leurs travaux s'appuient sur des résultats expérimentaux permettant de renseigner les niveaux de performances, en termes d'ingestion et de croissance, obtenus dans les différents scénarios. Leurs résultats montrent une réduction de l'impact changement climatique de 6% et une réduction des impacts acidification et eutrophisation de 5%. Cependant dans leur expérimentation, le groupe conduit en trois phases d'alimentation recevait en début d'engraissement un aliment

avec un niveau de protéines brutes plus élevé que celui de notre étude (17% vs 16% en biphase standard). Dans leur cas, l'aliment A était formulé de manière à couvrir les besoins du porc le plus demandeur, ce qui peut expliquer les divergences observées avec notre étude sur le changement climatique. Monteiro *et al.* (2016) ont également testé par simulation l'effet de différentes stratégies d'alimentation sur les impacts environnementaux de la production porcine. Dans le contexte français, leurs résultats montrent que l'indice de consommation et les impacts environnementaux sont réduits systématiquement en passant d'une alimentation biphase à une alimentation de précision. Les résultats obtenus dans notre étude sont issus des mêmes profils de porcs (produits par Brossard *et al.*, 2014) que ceux utilisés dans l'étude de Monteiro *et al.* (2016). Dans cette dernière étude, l'amélioration de l'indice de consommation observée en alimentation de précision peut être expliquée par la formulation d'aliments différents pour les femelles et les mâles castrés. L'alimentation de précision permet en effet d'améliorer l'adéquation entre les apports et les besoins de chaque porc. Ainsi le niveau maximum de Lys (Aliment A) est de 1,075 g/MJ EN pour les mâles castrés dans l'étude de Monteiro *et al.* (2016) alors que dans la nôtre il est de 1,04 g/MJ EN (identique pour femelles et mâles castrés). Les divergences entre ces deux études quant aux résultats sur les impacts environnementaux de l'alimentation de précision suggèrent que le gain environnemental permis est très sensible à la capacité du dispositif à couvrir les besoins des porcs ayant les besoins les plus élevés.

Dans cette étude, l'utilisation de données expérimentales nous a permis d'avoir une mesure précise des performances animales grâce à l'utilisation d'une bascule automatique et de

distributeurs automatiques de concentré. L'utilisation de données simulées nous a permis d'élargir le nombre de conditions expérimentales explorées et de contextes pris en compte (ici quatre contextes économiques de formulation d'aliment) et d'accéder à des variables qui sont difficilement mesurables (comme le niveau d'N excrété chaque jour par chaque porc sur l'ensemble de la période d'engraissement). L'utilisation du modèle Mogador nous permet aussi d'envisager dans la suite de cette étude des analyses d'incertitude pour vérifier la stabilité des résultats obtenus (Espagnol *et al.*, 2018) ou encore d'évaluer l'importance des facteurs de variation des résultats (Cadéro *et al.*, 2018b) par analyse de sensibilité.

CONCLUSION

L'évaluation environnementale de l'AP appliquée pendant la phase d'engraissement a été réalisée sur la base de données expérimentales et de simulations.

Le gain environnemental permis par l'AP est clairement démontré pour l'acidification et l'eutrophisation, grâce à la réduction de l'excrétion en azote. Les résultats sont plus contrastés pour l'impact sur le changement climatique, qui est réduit dans le cas d'une expérimentation appliquant l'AP en conditions *ad libitum* mais pas dans le cas d'un rationnement.

Dans les simulations, l'impact changement climatique est peu réduit par rapport à une alimentation biphase standard, en raison d'une dégradation de l'indice de consommation, à la fois en alimentation *ad libitum* et rationnée. Ainsi, le gain environnemental permis par l'AP est très sensible aux modalités d'application (teneur en Lys des pré-mélanges formulés, impacts des aliments, niveau d'alimentation). Ainsi la construction d'une stratégie d'AP doit prendre en compte les effets des niveaux d'apports en acides aminés digestibles des pré-mélanges et du niveau de rationnement à la fois sur les impacts des aliments formulés, leur consommation et l'excrétion d'azote, conjointement aux résultats économiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andretta I., Pomar C., Rivest J., Pomar J., Radünz J., 2016. Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. *Animal*, 10, 1137-1147.
- Andretta I., Hauschild L., Kipper M., Pires P.G.S., Pomar C., 2018. Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. *Animal*, 12, 1990-1998.
- Brossard L., Vautier B., van Milgen J., Salaun Y., Quiniou N., 2014. Comparison of in vivo and in silico growth performance and variability in pigs when applying a feeding strategy designed by simulation to control the variability of slaughter weight. *Anim. Prod. Sci.*, 54, 1939-1945.
- Brossard L., Marcon M., Dourmad J.-Y., van Milgen J., Lopez V., Quiniou N., 2019. Application of a precision feeding program in growing pigs: effect on performance and nutrient use. *Proc. Conference "70. Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP)"*, pp. 469.
- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J.Y., Salaun Y., Garcia-Launay F., 2018a. Modelling interactions between farmer practices and fattening pig performances with an individual-based model. *Animal*, 12, 1277-1286.
- Cadéro A., Aubry A., Brun F., Dourmad J.Y., Salaun Y., Garcia-Launay F., 2018b. Global sensitivity analysis of a pig fattening unit model simulating technico-economic performance and environmental impacts. *Agric. Systems*, 165, 221-229.
- Dourmad J.Y., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., González J., Houwers H.W.J., Hviid M., Zimmer C., Nguyen T.L.T., Morgensen L., 2014. Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal*, 8, 2027-2037.
- EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016. Technical chapter 3.B Manure Management. IPCC 2006. Emissions from livestock and manure management. In *Guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use, volume 4*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, (ed. HS Eggleston, L Buendia, K Miwa, T Ngara and K Tanabe), Japan, pp. 10.1-10.87.
- Espagnol S., Lauer M., Garcia-Launay F., 2018. Feed eco-design: how to make a good decision? Part 1- Uncertainty analysis of feed formulation. *Proc. Conference "11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018"*, Bangkok, Thailand, pp. 195.
- IFIP, 2006. Les consommations énergétiques dans les bâtiments porcins, ed. IFIP, Paris, 6p.
- InraPorc, 2006. A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. www.rennes.inra.fr/inraporc. INRA - UMR SENAH, Saint-Gilles, France.
- Massabie P., Roy H., Boulestreau-Boulay A-L., Dubois A., 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs. 12p.
- Monteiro A., Garcia-Launay F., Brossard L., Wilfart A., Dourmad J.-Y., 2016. Effect of feeding strategy on environmental impacts of pig fattening in different contexts of production: evaluation through life cycle assessment. *J. Anim. Sci.*, 94, 4832-4847.
- Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E., Mogensen, L., 2010. Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU. *Energ Policy*, 38, 2561-2571.
- Quiniou, N., Marcon, M., Brossard, L., 2018. Precision feeding with a decision support tool dealing with daily and individual pigs' body weight. *Proc. Conference "69 Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP)"*, pp. 530.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. INRA-AFZ Tables of composition and nutritive value of feed materials. Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 301 p.
- Sommer, S.G., Maahn, M., Poulsen, H.D., Hjorth, M., Sehested, J., 2008. Interactions between phosphorus feeding strategies for pigs and dairy cows and separation efficiency of slurry. *Environmental Technology*, 29, 75-80.
- Weidema BP, Bauer C, Hirschier R, Mutel C, Nemecek T, Reinhard J, et al. The ecoinvent database: Overview and methodology, Data quality guideline for the ecoinvent database version 3, www.ecoinvent.org. 2013.