

Incidences environnementales de stratégies d'alimentation innovantes en élevages porcins

*Sandrine ESPAGNOL (1), Didier GAUDRÉ (1), Aurélie WILFART (2), Sylvie DAUGUET (3),
Aurélie TAILLEUR (4), Florence GARCIA-LAUNAY (5)*

(1) IFIP, Institut du porc, 35651 Le Rheu, France

(2) UMR SAS, INRA, Agrocampus Ouest, 35000 Rennes, France

(3) Terres Inovia, 33600 Pessac, France

(4) ARVALIS-Institut du végétal, 44370 la Chapelle Saint Sauveur, France

(5) UMR PEGASE, INRA, Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France

sandrine.espagnol@ifip.asso.fr

*Avec la collaboration de Léonie Dusart (ITAVI), Paul Ponchant (ITAVI), Armelle Gac (IDELE),
Laurent Morin (Feedsim Avenir) et Yves Dronne (collaborateur Feedsim Avenir)*

Incidences environnementales de stratégies d'alimentation innovantes en élevages porcins

Les stratégies d'alimentation permettent de réduire les impacts environnementaux des élevages porcins : (1) en utilisant une formulation multiobjectif (MO) pour produire des aliments en prenant en compte les prix des matières premières et leurs impacts environnementaux, (2) en adaptant les aliments aux besoins des animaux pendant leur croissance. Cette étude analyse la combinaison de ces deux stratégies et les incidences environnementales associées en utilisant une approche de modélisation. Différentes stratégies de conduite alimentaire sont spécifiées pour la période d'engraissement : biphase (BP), biphase avec une réduction de la teneur en énergie (BPeg) ou en acides aminés (BPaa) des aliments ; multiphase pour des animaux en groupes (MPg) ou en individuel (MPi). Pour chaque stratégie, les aliments sont formulés à moindre coût (MinPrix) vs en mode MO. Les impacts environnementaux du kilogramme de porc en sortie d'élevage sont évalués par analyse de cycle de vie et comparés à un scénario de référence, BP-MinPrix. Avec le mode MO, presque toutes les stratégies (à l'exception de BPeg, pour les impacts acidification et changement climatique) conduisent à une réduction d'impacts : jusqu'à 10% dans le contexte actuel de disponibilité en matières premières. Trois facteurs expliquent les résultats contrastés entre stratégies et impacts : (1) la contribution relative des aliments aux différents impacts du porc (de 34% à 98%), (2) l'indice de consommation qui reflète l'efficacité globale du système et influence le niveau d'excrétion et les émissions gazeuses associées, (3) la teneur en protéines du régime qui explique le niveau d'excrétion azotée. Cette étude souligne la nécessité d'optimiser globalement les stratégies d'alimentation des animaux d'élevage, en prenant en compte les impacts des aliments, les performances des animaux et la gestion des effluents.

Environmental impacts of different innovative feeding strategies on pig farms

Feeding strategies can be used to reduce environmental impacts of pig production by (1) using a multiobjective function (MO) to formulate feeds based on the price and environmental impacts of feedstuffs and/or (2) adapting the feed to changes in animal requirements during the fattening phase. This study analyses combination of the two options and their environmental consequences. Five feeding strategies were specified for the fattening period: two-phase feeding (BP); two-phase feeding with a reduction in dietary energy content (BPeg) or amino acid content (BPaa); and a multiphase feeding strategy managed either at the pen level (MPg) or by individual feeding (MPi). For each strategy, feeds were formulated with both a least cost formulation (LC) and with a MO formulation. Environmental impacts per kg of pig live weight at the farm gate were assessed with Life Cycle Analysis and compared to those of a baseline scenario (BP-LC). With MO, all strategies reduced environmental impacts per kg of pig up to 10%, except the BPeg strategy for acidification and climate change impacts. Three main factors explained the results among impacts and strategies: (1) relative contribution of feed to LCA impacts of pigs (34-98%); (2) feed conversion ratio, which indicates the overall efficiency of the system and drives nitrogen excretion and gas emissions; and (3) the nutritional composition of feed (protein content), which explains nitrogen excretion. This study highlights the need to optimize the feeding strategy globally by considering feed impacts, animal performance and manure management.

INTRODUCTION

L'alimentation du bétail est au cœur des problématiques environnementales des productions animales, en induisant des impacts en amont de l'élevage et en conditionnant les impacts du processus de production lui-même. A l'amont, elle engendre des impacts via la production des matières premières, avec la consommation de ressources naturelles, l'émission de polluants et une mobilisation de surface : 33% des terres arables sont destinés à produire les aliments du bétail dans le monde (Steinfeld *et al.*, 2006). Il en résulte que l'alimentation est un poste majeur pour de nombreux impacts environnementaux du porc évalués par Analyse de Cycle de Vie (ACV) (Dourmad *et al.*, 2014; Espagnol *et al.*, 2012). Les aliments composés sont mobilisés dans le cadre de stratégies d'alimentation ; ils représentent généralement la totalité de la ration pour les porcs. Les quantités ingérées et les performances techniques (indices de consommation) déterminent en aval l'excrétion par les animaux. Les effluents d'élevage qui en résultent vont engendrer des impacts environnementaux, au cours des étapes de leur gestion : en bâtiment, au stockage et à l'épandage. Plus de la moitié de l'azote excrété peut être perdue sous forme d'émissions gazeuses polluantes (NH₃, N₂O) jusqu'à l'épandage (Espagnol *et al.*, 2015).

Si la production des aliments est à l'origine de dommages environnementaux, elle offre également des solutions pour réduire les impacts des produits animaux. Les aliments peuvent être mieux adaptés aux besoins des animaux (alimentation par phases) pour optimiser l'ingestion et l'absorption de nutriments, et en réduire l'excrétion (Brossard et Dourmad, 2017). Les impacts des aliments eux-mêmes peuvent également être réduits en choisissant des matières premières plus écologiques (Garcia-Launay *et al.*, 2017) lors de l'étape de formulation par la production d'éco-aliments. Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est de mesurer, au sein de différentes stratégies d'alimentation, l'efficacité de ces éco-aliments pour réduire les impacts environnementaux du porc.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Stratégies d'alimentation testées

Différentes stratégies d'alimentation pour les porcs à l'engrais sont retenues (Tableau 1) :

- Une stratégie biphasée avec un plafonnement à 2,5 kg d'aliment par porc et par jour (BP), modalité largement usitée dans les élevages porcins français. Ceci revient à alimenter les porcs charcutiers en deux phases successives, avec respectivement un aliment croissance et un aliment finition. Les contraintes de formulation de cette stratégie ont été fixées après échanges auprès de fabricants d'aliments.
- Deux stratégies biphasées admettant une dégradation de la qualité nutritionnelle des aliments distribués en *ad libitum*. Cette option a été retenue pour libérer les contraintes de formulation et se donner la possibilité d'accéder à des réductions d'impacts environnementaux par tonne d'aliment plus élevées, en pariant que cette réduction d'impacts ne soit pas annulée par une perte d'efficacité alimentaire. Une première stratégie réduit la concentration énergétique de la formule (BPeg) ; une seconde diminue la teneur en acides aminés digestibles (BPaa).

- Deux stratégies multiphase basées sur l'utilisation de 4 aliments distribués en mélange avec un plafonnement d'apport à 2,5 kg d'aliment par porc et par jour : avec pour l'une une distribution par case (MPg), pour l'autre une distribution individuelle (MPi). L'objectif environnemental de ces stratégies est la réduction des rejets azotés. Les aliments sont mélangés à des teneurs variables, en 9 paliers successifs, de manière à ajuster les apports au besoin des animaux en début de chaque phase, ce dernier étant considéré à 110% du besoin en lysine digestible sur énergie nette des femelles comme le recommandent Quiniou *et al.* (2013).

Tableau 1 – Stratégies d'alimentation testées et performances résultantes établies par modélisation

Stratégies	BP	BPeg	BPaa	MPg	MPi
<i>Caractéristiques des aliments engraissement</i>					
EN ¹ (MJ/kg)	9,5	8,8	9,5	9,5	9,5
LYSd/EN ² (g/MJ)	0,86/ 0,76	0,86/ 0,76	0,8/ 0,70	1,1-> 0,4 ⁴	1,1-> 0,4 ⁴
MAT ³ (%)	14,1	14,1	13,6	13,5	13,5
P (g P ₂ O ₅ /kg)	10,4	10,4	10,4	10,3	10,3
<i>IC⁵ en engraissement et excréments⁶ des porcs en kg/porc</i>					
IC	2,72	3,09	2,80	2,76	2,73
N	3,12	3,83	3,12	2,96	2,89
P ₂ O ₅	1,70	2,05	1,78	1,70	1,66
VS	39,4	50,9	41,5	41,1	40,4

¹EN : énergie nette ; ²LYSd/EN : Lysine digestible sur énergie nette (croissance/finition ou pour les différentes étapes des MP) ; ³MAT : matières azotées totales ; ⁴Evolution progressive du rapport Lysine dig/EN par palier de 10 kg depuis <40kg jusqu'à >110kg ; ⁵ IC : indice de consommation en engraissement modélisé avec MOGADOR (Cadero *et al.*, 2017) ; ⁶modélisation des excréments en azote (Corpen, 2003) et phosphore (Letourneau-Montminy *et al.*, 2012)

1.2. Formulation d'éco-aliments

Pour chacune des stratégies d'alimentation, les aliments d'engrais sont formulés en suivant deux logiques : une formulation à moindre coût donnant des aliments standards (MinPrix) et une formulation multiobjectif (MO) permettant d'obtenir des éco-aliments (Garcia-Launay *et al.*, 2017) ayant de moindres impacts environnementaux. Pour ces méthodes de formulation, quatre contextes économiques contrastés sont considérés (septembre 2011, juin 2012, août 2013 et février 2014), ainsi que deux contextes de disponibilité en matières premières, « actuel » (LIM) avec des limites de disponibilité variables des matières premières, ou moins contraint (NLIM) avec des limites de disponibilité plus lâches.

La formulation multiobjectif s'appuie sur une fonction à minimiser qui intègre un index « coût » avec un poids α et un index environnemental avec un poids $(1-\alpha)$ pondérant lui-même quatre impacts environnementaux: le changement climatique (CC – 40%), la consommation d'énergie non renouvelable (CE – 20%), la consommation de phosphore (CP – 20%) et l'occupation des sols (OS – 20%). Ces derniers sont choisis pour leur caractère global et parce qu'ils sont fortement déterminés par le poste alimentation. Le coût et les impacts de l'aliment MinPrix servent de références en dénominateur dans la fonction multiobjectif.

$$\text{Fonction MO} = (1 - \alpha) \times \frac{\text{Prix}}{\text{Prix}_{ref}} + \alpha \times \left(\frac{2}{5} \times \frac{\text{CC}}{\text{CC}_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{\text{OS}}{\text{OS}_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{\text{CP}}{\text{CP}_{ref}} + \frac{1}{5} \times \frac{\text{CE}}{\text{CE}_{ref}} \right)$$

Avec $\alpha \in [0; 1]$

La formulation minimise cette fonction en imposant une limite maximale à la variation des impacts, à 105% de leur valeur de référence. Cette contrainte s'applique aux impacts intégrés dans la fonction MO, et également aux impacts acidification (AC) et eutrophisation (EU). La fonction MO et les contraintes de formulation visent à éviter les transferts de pollution entre impacts.

Les impacts environnementaux des intrants alimentaires, évalués par ACV sont tous issus de la base de données ECOALIM (Wilfart *et al.*, 2016) qui utilise une méthodologie d'évaluation homogène entre matières premières et prend en compte leurs itinéraires de production en France.

1.3. Calcul des impacts environnementaux des aliments et du kg de porc produit

Les stratégies d'alimentation définies sont appliquées à l'atelier d'engraissement d'un élevage naisseur-engraisseur de 260 truies.

Deux ACV sont réalisées (Figure 1) : la première est établie par tonne d'un aliment moyen d'engraissement (40% d'aliment croissance et 60% d'aliment finition pour les stratégies biphasé), avant fabrication ; la seconde par kilogramme de produit à la sortie de l'élevage (kg de poids vif de porcs). Son périmètre intègre le précédent en y ajoutant l'engraissement des porcs, les autres stades physiologiques (truies, porcelets en post-sevrage) et la gestion des effluents. On retiendra les modalités techniques les plus courantes, soit un élevage sur caillebotis avec stockage du lisier sous les animaux pendant leur durée de présence, puis stockage extérieur en fosse découverte jusqu'à épandage.

Les performances des animaux sont calculées à l'aide du modèle Mogador (Cadéro *et al.*, 2017) appliqué à un élevage conduit en 7 bandes, disposant de 5 salles d'engraissement et d'une salle tampon (pour la gestion des fins de lots avant départ), chaque bande contenant 400 porcs. Ce modèle intègre InraPorc® et une variabilité de profils animaux pour calculer l'ingestion et la croissance de chaque porc. Il permet ainsi de prendre en compte la variabilité entre porcs d'une cohorte. Cette approche est apparue d'intérêt notamment pour simuler de manière réaliste les effets de la stratégie d'alimentation multiphasé, avec ses nombreux paliers d'adaptation des aliments apportés au groupe. La population de porcs utilisée en entrée du modèle dans cette étude correspond à une population (Landrace X Large White) X (Piétrain X Large White), générée à partir de deux profils moyens (mâle castré et femelle) par Brossard *et al.* (2014).

Dans l'inventaire de l'ACV, les excréments en azote résultent du bilan réel simplifié (Corpen, 2003). Les pertes gazeuses azotées en cours d'élevage ou de stockage ont été calculées avec les facteurs d'émissions de l'EMEP (2013) appliqués à l'azote ammoniacal excrété, pour le NH₃, NO_x et N₂ et avec les facteurs de l'IPCC (2006) appliqués à l'azote total excrété, pour le N₂O. Ces émissions sont donc sensibles à la valorisation des aliments par les animaux et à la digestibilité de l'azote des régimes qui affecte la proportion d'azote ammoniacal. L'excrétion en phosphore est calculée à partir des équations de Letourneau-Montminy *et al.* (2012) qui ajustent la rétention des animaux aux formes en phosphore des aliments (P phytique et non phytique). L'excrétion en matières organiques et les pertes en méthane associées à la gestion des effluents sont issues des équations du GIEC Tier 2 (IPCC, 2006) et sont sensibles à la digestibilité de l'énergie et de la matière

organique. D'autres flux sont intégrés à l'ACV du kilogramme de produit, de la même façon pour tous les scénarios : les consommations en eau et en énergie de l'élevage, les impacts de la construction du bâtiment et des intrants animaux.

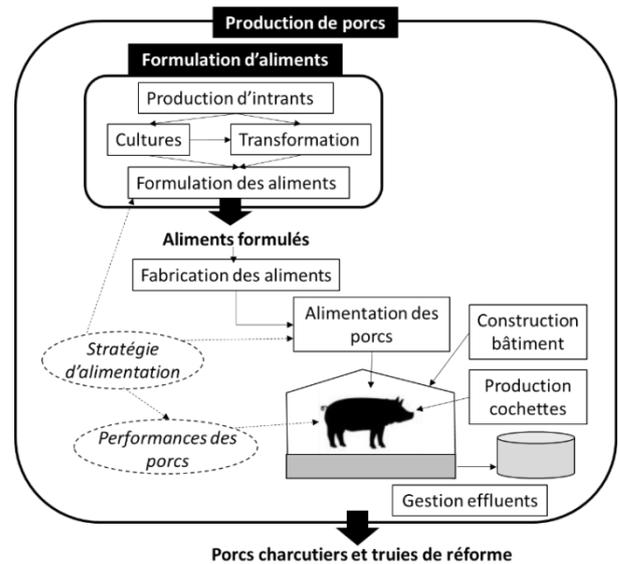


Figure 1 – Périmètres des ACV par tonne d'aliment et par kilogramme de produit

1.4. Evaluation des bénéfices environnementaux

Pour les ACV de la tonne d'aliment et du kilogramme de produit, les améliorations environnementales obtenues avec les éco-aliments sont évaluées en se rapportant à une situation de référence : la stratégie BP avec formulation à moindre coût. La réduction d'impact relative exprimée en pourcentage est le bénéfice environnemental. Ce dernier est réduit (dilué) entre les échelles de la tonne d'aliment et du kilogramme de produit. Son évolution entre les deux échelles est analysée pour les différentes stratégies. Une mise en évidence des critères déterminants est testée par régression linéaire pour déterminer le bénéfice nécessaire à l'échelle de l'aliment pour obtenir un certain bénéfice à l'échelle du produit.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Composition des éco-aliments

La mise en œuvre de la formulation MO pour les différentes stratégies d'alimentation testées conduit aux compositions d'éco-aliments présentées en figure 2. Des tendances communes à toutes les stratégies s'observent : l'incorporation des céréales diminue, passant en moyenne de 69% dans les aliments standards à, dans les éco-aliments, 59% en contexte LIM et 41% en contexte NLIM. Il en est de même pour les tourteaux, dont l'incorporation moyenne passe de 11% avec les aliments standards à 1% avec les éco-aliments en contexte NLIM. A l'inverse, l'usage des coproduits du blé (son et remoulage) augmente, d'une incorporation moyenne de 11% dans les aliments standards à 17% et 28% pour les éco-aliments, respectivement en contextes LIM ou NLIM. Il en est de même pour les protéagineux (pois) qui représentent en moyenne respectivement 5%, 12% et 25% de la formule, pour les aliments standards, les éco-aliments LIM et NLIM.

Des différences de composition sont également relevées entre les stratégies d'alimentation. En comparaison avec l'aliment BP

Minprix, les aliments BPeg contiennent moins de céréales et intègrent des pulpes de betterave. La réduction de la contrainte énergie explique la part plus importante dans l'aliment de matières premières fibreuses comme les pulpes de betterave. Les aliments BPaa ont une composition globale très semblable à celle des aliments BP, tant pour la formulation Minprix que pour l'éco-formulation ; c'est essentiellement l'apport en acides aminés de synthèse qui est modifié. Concernant les aliments MP, la réduction de la teneur en protéines a limité l'apport en tourteaux et a accru la part des céréales, relativement aux aliments BP. Le niveau énergétique souhaité de la ration étant de fait assuré par les céréales, des pulpes de betterave ont pu être incorporées aux éco-aliments.

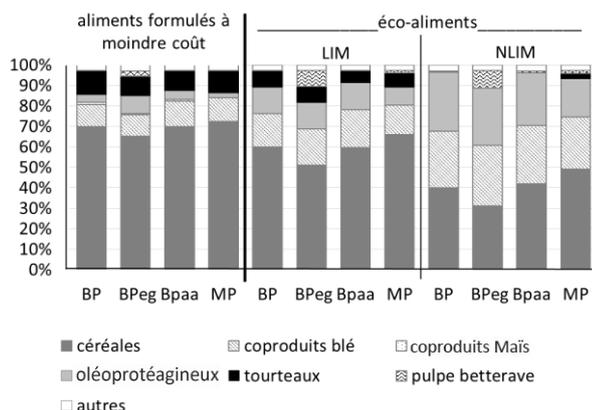


Figure 2 – Taux d'incorporation des familles de MP dans les aliments standard dans le contexte LIM et les éco-aliments (contextes LIM et NLIM)

Des différences s'observent aussi au sein des familles de matières premières entre les stratégies : ainsi, le tourteau de soja n'entre pas dans les formules d'aliments des stratégies biphasé (BP, BPeg et BPaa) en raison de contextes

économiques favorables aux autres sources de protéines. Il est toutefois incorporé dans les stratégies MP car l'exigence de réduction de la teneur en protéines des aliments a conduit à exclure d'autres sources de protéines comme le tourteau de tournesol décortiqué.

2.2. Efficacité environnementale des éco-aliments

2.2.1. Performances des animaux

Les indices de consommation (IC) en engraissement pour les différentes stratégies d'alimentation sont indiqués dans le tableau 1. En comparaison de la stratégie BP, l'IC est augmenté pour les stratégies BPeg, BPaa et MPg ($P < 0,001$). Pour les stratégies avec diminution respective de la teneur en énergie nette et en acides aminés des aliments (BPeg et BPaa), les animaux ont compensé la moindre qualité nutritionnelle des aliments en consommant davantage. Pour la stratégie MPg, la légère diminution des performances est liée au changement plus fréquent d'aliment qui accroît le risque d'une sous-alimentation des animaux les plus performants pendant la période de transition, et à l'adaptation des animaux comme l'ont déjà relevé Brossard *et al.* (2014) et Monteiro *et al.* (2016). Le MPI montre un IC semblable au BP.

2.2.2. Impacts environnementaux des aliments et des kilogrammes de porc

Relativement à l'aliment de référence (BP MinPrix) du tableau 2, les éco-aliments ont systématiquement conduit à des réductions des impacts environnementaux : de 1% à 24% selon l'impact concerné, en contexte LIM ; plus élevées, de 8% à 43%, en contexte NLIM. Les aliments standards (MinPrix) des différentes stratégies présentent également des différences d'impacts avec la référence. Ainsi les différences des éco-aliments avec la référence sont dues à la fois au choix de la stratégie et à la mise en œuvre de la formulation MO.

Tableau 2 – Impacts environnementaux¹ par tonne d'aliment et par kilogramme de porc en situation standard (MinPrix) dans les contextes LIM et NLIM et différences avec les éco-aliments (MO) comparés à la situation de référence BP-MinPrix-LIM (en gras)

			LIM						NLIM					
			CP	CE	CC	OS	AC	EU	CP	CE	CC	OS	AC	EU
Impacts stratégies MinPrix (unités ¹)	/t aliment	BP	2,90	5427	497	1421	9,67	3,76	3,03	5018	450	1516	8,21	3,56
		BPeg	2,88	4643	442	1484	8,06	3,59	2,89	4381	415	1485	7,58	3,47
		BPaa	2,88	5203	482	1391	9,44	3,68	2,87	4731	417	1476	7,58	3,40
		MP	3,03	5393	495	1330	9,82	3,82	2,97	5238	473	1428	8,65	3,81
	/kg porc	BP	0,010	20,4	2,35	3,99	0,06	0,01	0,010	19,5	2,25	4,17	0,058	0,014
		BPeg	0,010	20,0	2,53	4,51	0,06	0,02	0,010	18,9	2,36	4,25	0,061	0,015
		BPaa	0,010	20,2	2,37	4,02	0,06	0,01	0,010	19,2	2,23	4,18	0,057	0,014
		MPg	0,010	20,4	2,37	3,84	0,06	0,01	0,010	20,1	2,34	4,05	0,059	0,015
		MPI	0,010	20,3	2,36	3,82	0,06	0,01	0,010	20,0	2,32	4,02	0,058	0,015
		Part éco-aliments (%) ²	98%	76-77%	55-60%	98%	38-44%	67-71%	98%	75-76%	51-57%	34-41%	65-70%	98%
% Réduction impacts stratégies MO / références	/t aliment	BP	7%	12%	14%	13%	8%	13%	21%	19%	29%	11%	28%	21%
		BPeg	12%	20%	22%	15%	24%	19%	28%	25%	37%	14%	43%	29%
		BPaa	9%	14%	16%	14%	9%	14%	21%	20%	30%	12%	29%	23%
		MP	1%	5%	8%	12%	5%	5%	13%	10%	21%	11%	23%	15%
	/kg porc	BP	5%	7%	6%	10%	2%	6%	13%	10%	14%	8%	8%	11%
		BPeg	0%	5%	-2%	3%	-4%	0%	10%	7%	4%	0%	2%	5%
		BPaa	4%	7%	5%	9%	2%	6%	12%	9%	12%	6%	-8%	10%
		MPg	0%	2%	3%	8%	3%	3%	7%	5%	8%	7%	9%	8%
		MPI	0%	2%	3%	8%	4%	3%	7%	5%	9%	8%	10%	9%
		Légende réduction/ref		<5%			entre 5 et 10%			entre 10 et 20%			>20%	

⁽¹⁾Unités en MinPrix : CP en kg P, CE en MJ, CC en kg CO₂eq, OS en m² an, AC en molc H+eq, EU en kg PO₄³⁻eq ; unités en MO : % de différence par rapport à la référence ; ⁽²⁾ Part de l'alimentation dans les impacts « produit » : fourchette de valeurs obtenues pour les différentes stratégies MO

Exprimées par kilogramme de porc, les stratégies avec éco-aliments ne conduisent pas toujours à une réduction d'impacts relativement à la référence (BP-MinPrix). Des bénéfices environnementaux sont effectivement constatés pour les stratégies BP, BPaa et MP avec des efficacités, suivant les impacts, allant jusqu'à 10% en contexte LIM et 14% en contexte NLIM. Pour la stratégie BPeg, des augmentations d'impacts sont constatées pour CC et AC en contexte LIM.

2.3. Incidence des différentes stratégies d'alimentation

La figure 3 positionne les stratégies d'alimentation MO et leurs impacts (index environnemental de la fonction MO, AC et EU) par rapport à leur efficacité environnementale en contextes LIM et NLIM, exprimés par tonne d'aliment et par kg de produit, en comparaison de la référence BP-MinPrix. Pour le MP, seule la stratégie MPi est représentée car elle montre des résultats très similaires à MPg (Tableau 2). Une dilution de l'efficacité des éco-aliments s'opère entre les échelles aliment et produit : les pourcentages de réduction obtenus par kilogramme de produit sont inférieurs à ceux obtenus par tonne d'aliment. Cette dilution s'observe de même pour l'index environnemental (combinaison des impacts CC, CE, CP et OS) et l'impact EU, et des trajectoires différentes sont relevées pour l'impact AC. Ces différences s'expliquent par la part de l'alimentation dans les impacts du produit, comprise entre 34 et 44% pour l'impact AC et entre 51 et 98% pour les autres impacts (Tableau 2) ; cela explique aussi en partie les différences d'efficacité des éco-aliments par tonne d'aliment et par kilogramme de produit.

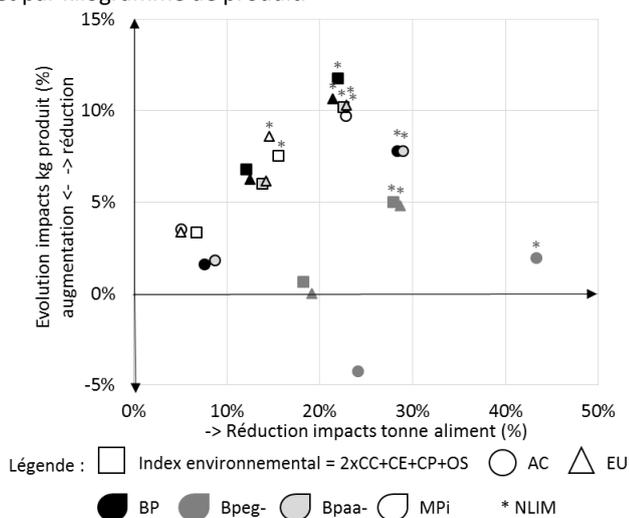


Figure 3 – Positionnement de l'incidence des éco-aliments sur les index environnementaux et les impacts AC et EU des aliments et des produits pour les contextes LIM et NLIM(*), en comparaison avec la référence BP-MinPrix

Dans la figure 3, les stratégies BP et BPaa présentent des résultats très proches. Des réductions légèrement supérieures s'observent par tonne d'aliment pour BPaa, du fait de moindres contraintes de formulation, mais cette avance relative est totalement perdue à l'échelle du kg de produit en raison des moindres performances techniques des animaux. La stratégie BPeg montre les plus importantes réductions d'impact par tonne d'aliment, respectivement pour les impacts CE et CC, 20% et 22% en contexte LIM, 25% et 37% en NLIM (Tableau 2). Les matières premières incorporées dans les éco-aliments comme la pulpe de betterave (Figure 2) apportent un

important bénéfice environnemental (en raison de l'allocation économique appliquée entre coproduits). Pour autant, à l'échelle du produit, ce bénéfice supplémentaire peut être totalement perdu, voire les impacts augmentés, relativement à la référence BP-MinPrix. Ces résultats soulignent l'importance des performances techniques comme facteur explicatif des différences d'efficacité environnementale des éco-aliments, observées entre les échelles aliment et produit.

La stratégie MPi indique, relativement aux autres stratégies, des efficacités environnementales plus faibles en contexte LIM : réductions d'impacts de 8% par kg d'aliment, ou 5% à l'échelle du produit. Ceci s'explique par les contraintes de formulation spécifiques des aliments MP. Ainsi l'aliment formulé à 1,1 g lys digestible / MJ EN pour couvrir 110% du besoin moyen de la population en début d'engraissement contient du tourteau de soja, dont l'impact CC est le plus élevé parmi les tourteaux (prise en compte de l'effet déforestation pour le tourteau brésilien). Par ailleurs, cette stratégie MP permet bien de réduire l'excrétion azotée des porcs, de respectivement 5% et 7% ($P < 0,001$) pour MPg et MPi, par rapport à la stratégie BP (Tableau 1). Cette réduction est plus importante relativement à la référence biphasé du Corpen (2003) dont la teneur en protéines est supérieure à celle de la référence BP (15,6% vs 14,1%), pouvant être considérée comme un biphasé à basse teneur en protéines. La réduction des rejets avec le MP permet de diminuer les émissions d'ammoniac lors de la gestion des déjections qui explique près de 60% de l'impact AC par kg de produit (Tableau 2). Ainsi, les réductions d'impact AC par kg de produit de la stratégie MPi sont plus importantes que celles observées pour le BP.

2.4. Un outil de pilotage pour les fabricants d'aliment

Une régression linéaire confirme l'importance des critères « part de l'alimentation dans les impacts du produit » et IC en engraissement pour rendre compte de la dilution du bénéfice environnemental des éco-aliments entre l'échelle aliment et l'échelle produit.

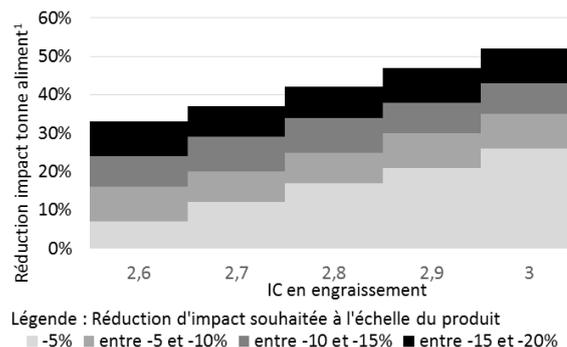


Figure 4 – Réduction requise d'impact CC par tonne d'aliment (relativement à BP-MinPrix), pour obtenir différentes gammes d'efficacité à l'échelle du produit, selon l'IC en engraissement (évaluée en mobilisant un modèle linéaire⁽¹⁾)

La figure 4 illustre son application à l'impact CC et permet à un fabricant d'aliment de quantifier la réduction d'impact par kg d'aliment à atteindre pour obtenir une fourchette d'efficacité donnée par kg de produit, selon le niveau d'efficacité alimentaire.

2.5. Enseignements

Cette étude permet d'évaluer les bénéfices environnementaux de l'usage d'éco-aliments pour la filière porcine. Ces bénéfices exprimés par kilogramme de produit montrent une réduction des impacts modérée (6% pour l'impact CC du BP en contexte LIM). Ce bénéfice pourrait toutefois être plus important car, dans notre étude, les éco-aliments n'ont été formulés que pour le stade engraissement qui représente (seulement) 60% du tonnage total d'aliments d'un élevage naisseur engraisseur. Des gains sont envisageables également sur les autres stades d'élevage.

Ce bénéfice est contraint par la disponibilité en matières premières intéressantes au plan environnemental, comme le pois ou les coproduits de blé. En effet, un potentiel de réduction plus important est obtenu en contexte NLIM lorsque la disponibilité est assouplie et que ces matières entrent jusqu'aux limites maximales d'incorporation définies (30% pour le pois et 20% pour le remoulage). Ces niveaux d'incorporation pourraient être envisagés à court terme sur des marchés de niches, mais le bénéfice environnemental pourrait aussi n'être que partiel (une formule ou ensemble de formules) car les matières premières ainsi introduites seraient de fait moins disponibles pour d'autres aliments porcins ou d'autres filières animales. En effet, les mêmes matières premières sont requises dans les éco-aliments avicoles (Dusart *et al.*, 2017) et les concentrés bovins. Le véritable moteur de progrès se situe donc dans une modification des pratiques de production des matières premières ou dans des modifications d'assolement qui permettraient de disposer de plus de protéagineux (Munier-Jolain et Carrouée, 2003).

Les résultats montrent que les stratégies d'alimentation peuvent également contraindre l'accès aux matières premières d'intérêt. Les niveaux énergétiques requis des aliments pour

répondre aux besoins des animaux, assurer leurs performances techniques et réduire leur excréation azotée bloquent l'entrée de matières premières d'intérêt environnemental (comme la pulpe de betterave) et la formulation d'aliment à basse teneur en protéines exige un certain niveau d'apport en céréales au détriment de cultures protéagineuses comme le pois. Ceci montre la nécessité d'intégrer les critères environnementaux dans la formulation, en complément des critères de coût et des contraintes nutritionnelles pour tester les améliorations possibles dans différentes gammes d'aliments des fabricants.

CONCLUSION

Cette étude montre que l'intérêt environnemental de la production d'éco-aliments pour l'engraissement des porcs, apparente à l'échelle du kg d'aliment, devient plus limitée à l'échelle du kilogramme de porc. A ce stade, les éco-aliments apparaissent donc comme une bonne pratique qui devra être complémentaire d'autres stratégies (Guinand *et al.*, 2010) pour obtenir des réductions plus importantes.

Cette étude souligne par ailleurs la nécessité d'optimiser globalement les stratégies d'alimentation des animaux d'élevage en prenant en compte les impacts des aliments, les performances des animaux et la gestion des effluents. Les interactions et transferts illustrés ici entre l'échelle de l'aliment et celle du kg de porc sont également à prendre en compte entre productions animales à l'échelle d'un territoire mobilisant un gisement commun de matières premières pour nourrir les animaux.

Les auteurs remercient le CASDAR (partenariat et innovation-2012) et l'ADEME (ADEME REACTIF-2012, 1260C0061) pour le financement du projet ECOALIM.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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. *Animal Prod. Sci.*, 54, 1939–1945.
- Brossard L., Dourmad J.-Y., 2017. Precision feeding and nutrition of pigs. *Livestock Forum*, Feria Barcelona 27 April 2017
- Cadero A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J.-Y., Salaun Y., Garcia-Launay F., 2017. Modélisation des performances technico-économiques et environnementales de l'atelier d'engraissement porcin à l'aide d'un modèle dynamique, mécaniste et stochastique. *Journées Rech. Porcine*, 49, 151-156.
- CORPEN, 2003. Estimation des rejets d'azote-phosphore-potassium-cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. Ministère de l'écologie, 41 p.
- Dourmad J., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., Gonzalez J., Houwers H., Hviid M., Zimmer C., Nguyen T., Morgensen L., 2014. Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal*, 8, 2027-2037.
- Dusart L., Garcia-Launay F., Wilfart A., Méda B., Bouvarel I., Espagnol S., 2017. La formulation multi-objectif : une méthode originale et efficace pour formuler des aliments écologiques et économiques. *Journées de la recherche avicole et palmipède à foie gras*, 12, 366-370.
- Espagnol S., Rugani A., Baratte C., Roguet C., Marcon M., Tailleur A., Rigolot C., Dourmad J.-Y., 2012. Environmental and socioeconomic references of French conventional pig systems. *Journées Rech. Porcine*, 44, 109-114.
- Espagnol S., Guinand N., Genermont S., Hassouna M., 2015. Efficacité sur les émissions gazeuses d'itinéraires techniques en élevage porcin intégrant des bonnes pratiques environnementales. *Journées Rech. Porcine*, 47, 171-176.
- Garcia-Launay F., Wilfart A., Dusart L., Nzally C., Gaudré D., Laisse-Redoux S., Espagnol S., 2017. Une formulation multi-objectifs pour réduire les impacts environnementaux des aliments pour porcs charcutiers. *Journées Rech. Porcine*, 49, 239-244.
- Guinand N., Aubert C., Dollé J.-B., 2010. Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage. *RMT élevages et environnement*, 303 p.
- Létourneau-Montminy M.P., Jondreville C., Sauvart D., Narcy A., 2012. Meta-analysis of phosphorus utilization by growing pigs: effects of dietary phosphorus, calcium and exogenous phytase. *Animal*, 6, 1590-1600.
- Monteiro A. N. T. R., 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.
- Munier-Jolain N., Carrouée B., 2003. Quelle place pour le pois dans une agriculture respectueuse de l'environnement? *Argumentaire agri-environnemental. Cahiers Agricultures*, 12, 111-120.
- Quiniou N., Vautier B., Salaun Y., Van Milgen J., Brossard L., 2013. Modélisation de l'effet de la stratégie alimentaire et du contexte de prix des matières premières sur les performances moyennes, leur variabilité, et les rejets azotés à l'échelle d'une population de porcs. *Journées Rech. Porcine*, 45, 155-160
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C.d., 2006. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. 390 p.
- Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. ECOALIM: a dataset of environmental impacts of feed ingredients used in french animal production. *Plos One*, 17p. DOI:10.1371/journal.pone.0167343.