

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.

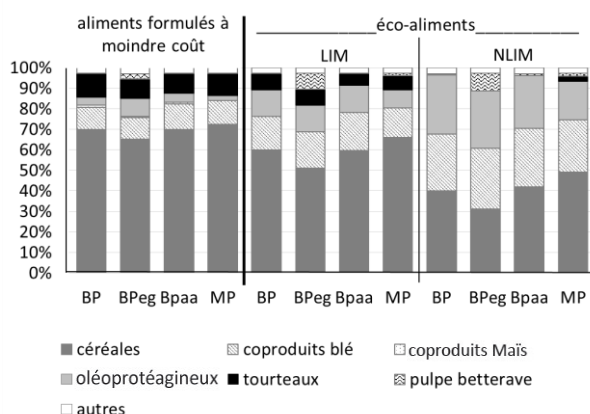


Figure 2 – Taux d'incorporation des familles de MP dans les aliments standard dans le contexte LIM et les éco-aliments (contextes LIM et NLIM)

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.

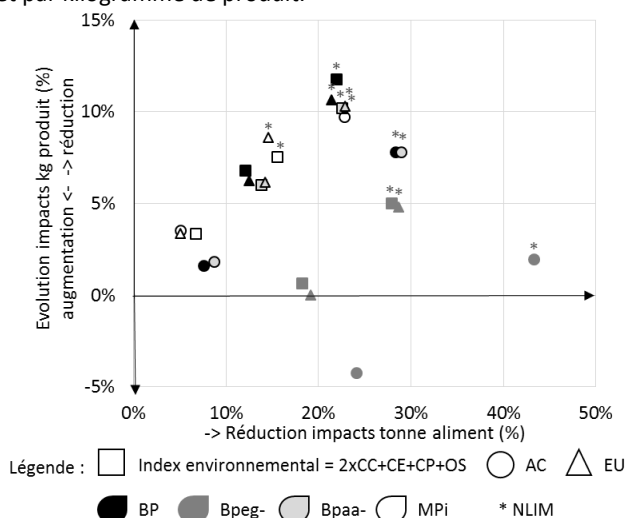


Figure 3 – Positionnement de l'incidence des éco-aliments sur les index environnementaux et les impacts AC et EU des aliments et des produits pour les contextes LIM et NLIM(*), en comparaison avec la référence BP-MinPrix

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 biphase 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 biphase 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.

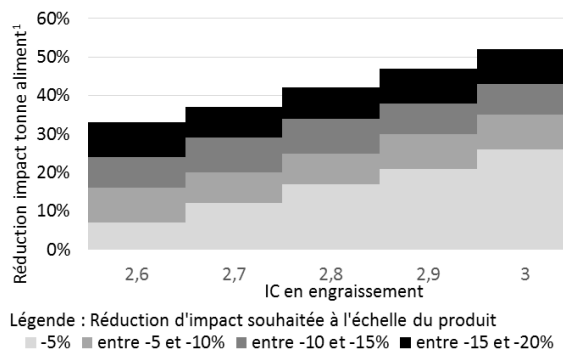


Figure 4 – Réduction requise d'impact CC par tonne d'aliment (relativement à BP-MinPrix), pour obtenir différentes gammes d'efficacité à l'échelle du produit, selon l'IC en engraissement (évaluée en mobilisant un modèle linéaire⁽¹⁾)

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.

⁽¹⁾ Equation modèle linéaire : % de réduction d'impact à l'échelle de l'aliment = $b_0 + b_1 \times \text{part alimentation dans impacts produit (\%)} + b_2 \times \text{IC} + b_3 \times \text{réduction d'impact au produit (\%)} ; \text{valeurs paramètres (écart type)} : b_0 = -1,15 (0,10), b_1 = 0,20 (0,02), b_2 = -0,48 (0,03), b_3 = 1,71 (0,13) ; R = 0,91.$

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.