

Le fractionnement physique du tourteau de colza conduit à une fraction fine avec un contenu protéique supérieur à celui d'un tourteau de colza sans traitement additionnel (+13%) et un plus faible contenu en fibres (-44%).

Ainsi, du point de vue du contenu protéique, les SPE peuvent remplacer le TSB mais leur ratio Lysine digestible / énergie nette est plus faible. Il faut plus de contenu protéique avec les SPE qu'avec le TSB pour apporter une même quantité d'acides aminés.

2. RESULTATS

2.1. Impacts des sources de protéines alternatives

En comparaison du TSB, les SPEs présentent un impact changement climatique systématiquement réduit de plus de 50% (Figure 2). En effet, ces SPEs ne sont pas à l'origine de déforestation, qui explique près de 60% de l'impact changement climatique du TSB.

L'impact consommation d'énergie non renouvelable des SPEs est également systématiquement réduit par rapport à celui du TSB. Cela vient en partie de processus de transformation moins consommateurs.

En effet, la consommation d'énergie nécessaire à la production du concentré protéique de biomasse est 85% moins élevée pour l'électricité et 90% moins élevée pour le chauffage que celles occasionnées par la production de TSB. Le traitement du soja européen réduit la consommation d'électricité et de chaleur de 37% et 43%, respectivement, par rapport à l'extraction à l'hexane. La consommation d'énergie non renouvelable plus importante du TSB vient également de son

approvisionnement puisque le transport explique 40% de l'impact. Au sein des SPEs, l'étape de décortiquage des graines de soja européennes génère une consommation d'électricité supplémentaire d'environ 3 kWh / tonne par rapport aux graines non décortiquées. La consommation énergétique du tamisage de tourteau de colza entraîne une consommation d'énergie supplémentaire d'environ 15% par rapport au tourteau de colza ordinaire.

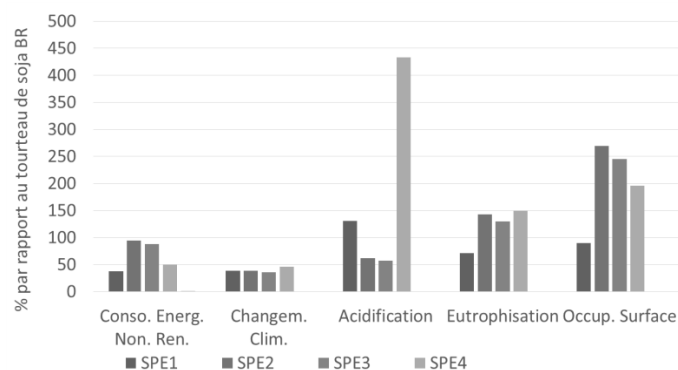


Figure 2 – Impacts des sources de protéines européennes (SPEs) en relatif par rapport à ceux du tourteau de soja brésilien (TSB) (base 100%)

D'autres impacts peuvent être augmentés avec les SPEs en comparaison du TSB. C'est le cas de l'occupation des terres (hormis pour le tourteau de colza fin). Ceci s'explique par le fait que le SB a deux récoltes par an. C'est également le cas de l'acidification (émissions d'ammoniac) pour SPE1 et SPE4 en raison de pratiques de fertilisation, par ailleurs absentes sur les légumineuses.

Tableau 2 – Taux d'incorporation du TSB et des SPEs dans les différents scénarios et impacts ACV par kg de porc au portail de la ferme (moyenne et écart type entre les contextes économiques et les pays)

Scénarios		Taux incorporation (g/kg)		Impacts / kg porc				
		TSB	SPE	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)
sREF		49 (20)	0	18,9 (0,488)	2,26 (0,032)	0,0702 (0,000759)	0,019 (0,000357)	3,83 (0,155)
sREFmax		129 (12)	0	20,3 (0,505)	2,38 (0,032)	0,0726 (0,001764)	0,019 (0,000382)	3,82 (0,153)
sSPE	SPE1	27 (15)	104 (22)	19,3 (0,449)	2,29 (0,014)	0,0736 (0,000702)	0,019 (0,000340)	3,91 (0,138)
	SPE2	0	94 (10)	19,4 (0,379)	2,18 (0,015)	0,0733 (0,000598)	0,019 (0,000400)	4,23 (0,174)
	SPE3	0	99 (13)	19,2 (0,431)	2,16 (0,014)	0,0727 (0,000557)	0,019 (0,000396)	4,19 (0,181)
	SPE4	14 (8)	135 (18)	19,8 (0,529)	2,30 (0,025)	0,0692 (0,000522)	0,019 (0,000355)	4,04 (0,15)
sSPE max	SPE1	35 (13)	126 (10)	19,8 (0,271)	2,30 (0,010)	0,0744 (0,000544)	0,019 (0,000196)	3,86 (0,091)
	SPE2	0	104 (6)	19,7 (0,499)	2,19 (0,015)	0,0741 (0,000473)	0,019 (0,000334)	4,3 (0,138)
	SPE3	0	115 (9)	19,7 (0,626)	2,17 (0,014)	0,0735 (0,000445)	0,019 (0,000301)	4,29 (0,12)
	SPE4	20 (11)	150 (0)	20,1 (0,271)	2,31 (0,016)	0,0692 (0,000437)	0,019 (0,000339)	4,07 (0,143)

2.2. Taux d'incorporation du TSB et des SPEs dans les aliments et performances des animaux

Le taux moyen d'incorporation du TSB dans les aliments sREF (Tableau 2) est faible (en moyenne 4,9%). sREFmax présente un contexte plus favorable à l'utilisation de TSB : son taux d'incorporation atteint en moyenne 13%. Le taux d'incorporation des SPEs est plus faible dans le scénario sSPE que dans le scénario sSPEmax ; dans ce dernier, leur taux d'incorporation est proche du maximum déterminé par les contraintes de formulation (cf. 1.4.).

Les performances des animaux sont très stables entre scénarios avec en moyenne un indice de consommation en engraissement de $2,74 \pm 0,005$, un poids d'entrée en engraissement de $30 \pm 1,403$ kg et un poids de sortie de

$116 \pm 0,109$ kg. Cela est dû au fait que les mêmes profils individuels de porcs sont utilisés dans les simulations avec MOGADOR et que les contraintes de formulation conduisent à des aliments avec des profils nutritionnels qui permettent la même couverture des besoins (énergie nette, acides aminés, minéraux).

2.3. Incidences environnementales à l'échelle du porc

Les SPEs n'apportent que peu de bénéfice environnemental dans les scénarios sSPE : l'impact changement climatique est réduit de moins de 5% par rapport à sREF. Les autres impacts augmentent par rapport à sREF. Cela est dû au fait que le tourteau de soja BR ne représente actuellement qu'une petite fraction des aliments du fait de son coût relatif par rapport à

d'autres sources de protéines telles que le tourteau de colza et le tourteau de tournesol qui peuvent être utilisés en remplacement, avec toutefois une incorporation accrue d'acides aminés de synthèse (Quiniou *et al.*, 2011 ; Peyronnet *et al.*, 2010).

Dans le scénario sSPEmax, l'utilisation de SPEs réduit les impacts sur le changement climatique d'environ 8 à 9% par rapport à sREFmax. Cependant, l'impact sur l'occupation du sol augmente par rapport au niveau de référence (de 12% pour les tourteaux de soja européens SPE2 et SPE3).

Avec le concentré protéique de biomasse, l'impact acidification des scénarios sSPE et sSPEmax est réduit par rapport aux scénarios de référence. La digestibilité de son contenu azoté est plus faible, comparée à celle des autres sources de protéines. En conséquence, la fraction d'azote excrétée est plus élevée dans les fèces et plus faible dans l'urine (azote ammoniacal). Ainsi, les émissions d'ammoniac (corrélées à cet azote ammoniacal excrété) sont inférieures dans les scénarios avec SPE4 en comparaison des références, de même que l'impact de l'acidification qui en résulte.

3. DISCUSSION

3.1. Prise en compte de l'impact sur la déforestation

Le levier étudié dans ce travail est l'emploi de sources de protéines européennes en substitution du TSB, pour réduire l'impact de l'alimentation animale sur la déforestation et donc sur le changement climatique. La valeur de l'impact changement climatique considérée pour le TSB a donc toute son importance. Celle choisie correspond à l'importation « moyenne » du soja en provenance du Brésil dont seulement une partie est liée à la déforestation. Si nous avons considéré du SB totalement lié à la déforestation, la réduction de l'impact changement climatique des scénarios SPE en comparaison des scénarios sREF aurait été plus élevée. Cette distinction de SB associé ou pas à des zones déforestées commence à être tracée au niveau des importations et peut donc être connue des fabricants d'aliments. Si les pratiques de production de soja au Brésil cessent d'être associées à la déforestation, la différence d'impacts sur le changement climatique entre ce soja BR et les SPE deviendrait quasiment inexistante. C'est le cas aujourd'hui du soja nord-américain qui a un impact changement climatique proche du soja européen.

3.2. Intérêt de la prise en compte des échelles « aliment » et « animal » pour évaluer des stratégies alimentaires

Les résultats montrent l'intérêt de prendre en compte le cycle de vie de la production animale pour évaluer les stratégies d'alimentation. En effet, une matière première protéique n'est jamais totalement équivalente à une autre d'un point de vue nutritionnel (Tableau 1). Il n'est donc pas possible de réduire les impacts environnementaux d'un aliment en remplaçant simplement une matière première ayant des impacts élevés par une autre avec des impacts plus faibles. L'aliment est formulé avec un objectif nutritionnel final et chaque matière première y contribue. Ainsi, les différences d'impacts entre deux sources de protéines par tonne de matière première ne rendent pas compte des impacts relatifs des aliments complets incorporant ces matières premières, du fait des substitutions opérées lors de la formulation. Par ailleurs, les marchés de l'alimentation animale sont très volatils ; l'alimentation animale repose sur une optimisation au moindre coût et une large gamme d'ingrédients est disponible.

Les formules d'aliments changent donc facilement selon le contexte de prix ; il en est alors de même pour leurs impacts environnementaux. Le faible taux d'incorporation du TSB au moment de l'étude est associé à son prix élevé mais aussi à la disponibilité élevée du tourteau de colza issu de l'industrie de production des biocarburants. Un tel contexte peut être amené à évoluer. Ainsi, l'évaluation environnementale de stratégies d'alimentation doit inclure une analyse de sensibilité pour ces différents contextes économiques. Cela fournit une gamme de résultats possibles et plus de robustesse (Garcia-Launay *et al.*, 2017).

Malgré ces précautions, l'échelle de l'aliment ne permettra pas de rendre compte de l'incidence environnementale de matières premières innovantes, plusieurs aliments se succédant dans la vie d'un animal pour dessiner un plan d'alimentation global. Ce plan détermine l'apport nutritionnel aux animaux et in fine leurs performances. Une stratégie d'alimentation peut utiliser des aliments ayant des impacts plus faibles mais se montrer inefficace en conduisant à une baisse des performances des animaux (Espagnol *et al.*, 2018). L'incidence environnementale d'une matière première innovante destinée à l'alimentation animale doit donc *a minima* être évaluée aux échelles des aliments et des produits animaux obtenus.

3.3. L'utilité d'élargir le périmètre d'analyse

Les sSPE, comparés aux sREF, illustrent les risques de transferts de pollution : le changement climatique est réduit au détriment de l'occupation de surface et, pour certaines SPEs, de l'acidification. Ceci n'est pas inéluctable concernant l'occupation de surface : des essais agronomiques montrent que le soja européen peut être cultivé après la récolte d'une céréale (orge) ; toutefois, dans la situation actuelle d'une culture par an, la consolidation de telles innovations à l'échelle de larges territoires (voire de pays ou de l'Europe) reste une gageure. En effet, au niveau Européen l'accroissement des surfaces arables est peu envisageable : au contraire, la sole cultivée est menacée de réduction du fait du réchauffement climatique et de l'artificialisation de surfaces ; toute extension de la production se réalise alors en substitution d'une autre production. Ces conséquences indirectes ou effets de rebond doivent être considérés à une échelle d'évaluation plus large afin de déterminer les avantages ou les dommages globaux pour l'environnement. Ceci peut être réalisé par des ACV consécutives (ACVc) qui se réfèrent à un périmètre prenant en compte les changements causés par le processus de production. Van Zanten *et al.* (2018) ont comparé par ACVa et ACVc les impacts environnementaux d'aliments d'engraissement pour porcs incorporant respectivement du tourteau de soja ou deux autres sources de protéines (tourteau de colza et farines d'insectes nourris de déchets alimentaires). Selon le cas, les sources de protéines de substitution au soja apparaissent favorables ou défavorables pour des impacts comme l'occupation des terres, le changement climatique et les consommations d'énergie non renouvelable. Van Zanten *et al.* (2017) concluent que, pour approcher l'impact environnemental d'aliments du bétail, une ACVa peut être utilisée mais que, pour évaluer l'impact environnemental net d'une stratégie d'alimentation potentielle, il est recommandé de réaliser une analyse de risque environnemental. Cependant, bien que l'ACVc soit une méthode plus complète, elle est rarement appliquée car elle est complexe et contrainte à de nombreuses hypothèses et

scénarios sur les conséquences possibles (Schmidt, 2008, Chen *et al.*, 2012). Espagnol *et al.* (2019) ont évalué les effets de rebond associés à la production d'éco-aliments pour animaux (aliments avec des impacts environnementaux plus faibles) d'une manière différente, en analysant les conséquences environnementales à l'échelle d'un territoire virtuel (remplaçant des ingrédients alimentaires par d'autres pour produire des aliments écologiques, en modifiant également les rotations des cultures).

Des ACV attributionnelles ont été réalisées en utilisant plusieurs unités fonctionnelles et périmètres de système : kg de poids vif de porc, ha de terre utilisé, valeur économique produite, nombre de personnes nourries.

Une vision complète des incidences en ressort, mettant en évidence la nécessité de compléter les ACVa réalisées dans cette étude par une analyse plus globale selon un périmètre plus large.

CONCLUSION

Les atouts environnementaux des SPE dépendent du contexte économique et du taux d'incorporation du TSB. Dans le contexte récent, les conditions générales (économiques...) étaient peu incitatives à l'utilisation importante du TSB en production porcine.

Dans un contexte virtuel qui serait plus favorable au TSB, il serait alors possible de réduire l'impact changement climatique de la production porcine en utilisant des SPE, notamment le tourteau de soja européen, ce qui entraînerait une utilisation accrue des terres.

Il est de fait nécessaire d'intégrer les effets de rebond dans un périmètre d'analyse plus large, éclairant notamment les plans actuels de développement des SPE au niveau des producteurs de cultures et des fabricants d'aliments pour animaux : l'ambition est de faire passer la production de 150 000 ha de soja par an en France à 250 000 ha en 2030.

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. *Anim Prod Sci*, 54, 1939-1945.
- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J.-Y., Salaun Y., Garcia-Launay F., 2018. Modelling interactions between farmer practices and fattening pig performances with an individual-based model. *Animal*, 12 (6), 1277-1286.
- Carré P., Royer E., Wikselaar P., Quinsac A., Bikker P., 2017. Nutritional evaluation of dehulling and thermal treatments for production of expeller soybean meal. *EAAAP 2017 - Feed-A-Genie Book of Abstracts*.
- Chen I.C., Fukushima Y., Kikuchi Y., Hirao M., 2012. A graphical representation for consequential life cycle assessment of future technologies. Part 1: methodological framework. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17 (2), 119-125.
- Dourmad J.Y., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., Gonzàlez 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.
- Espagnol S., Gaudre D., Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Garcia-Launay F., 2018. Incidences environnementales de stratégies d'alimentation innovantes en élevages porcins. *Journées Rech. Porcine*, 50, 31-36.
- Espagnol S., Lauer M., Aissani L., Wilfart A., 2019. Effets rebonds d'une écoconception des aliments du bétail. *Journées Recherche Porcine*, 51, 193-194.
- Garcia-Launay F., Wilfart A., Dusart L., Nzally C., Gaudre 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.
- Hermansen J.E., Jørgensen U., Jensen S.K., Weisbjerg M.R., Dalsgaard T.K., 2017. Green biomass - Protein production through bio-refining. 72p
- Lærke H.N., Stødkilde L., Ambye-Jensen M., Jensen S.K., Sørensen J.F., Nørgaard J.V., Bach Knudsen K.E., 2019. Extracts of green biomass as source of protein for pigs. 6th EAAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition (ISEP), Belo Horizonte (BR), 9-12 September 2019.
- Peyronnet C., Alibert L., Dauguet S., Quinsac A., 2010. Tourteau de colza pour les porcs. 6p.
- Prudêncio da Silva V., van der Werf H.M.G., Spies A., Soares S.R., 2010. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management*, 91, 1831-1839.
- Quiniou N., Primit Y., Peyronnet C., Quinsac A., 2011. Des aliments pour porcs moins riches en protéines et en tourteau de soja fabriqués à base de tourteau de colza et d'acides aminés. *TechniPorc*, 34 (3), 13-16.
- Quinsac A., Labalette F., Carré P., Janowski M., Fine F., 2012. Comment valoriser dans l'alimentation animale, les graines de soja produites en France ? Comparaison de deux procédés de transformation : l'aplatissage-cuisson-pression et l'extrusion-pression. *Ol. Corps Gras Lipides*, 19, 347-357.
- Santamaria-Fernandez M., Uellendahl H. W., Lübeck M., 2016. Organofinery: a biorefinery for the production of organic protein-rich feed for monogastric animals. In *Proceedings 1st International Conference on Bioresource Technology for Bioenergy, Bioproducts and Environmental Sustainability*
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G. (Eds.), 2004. INRA-AFZ Tables of composition and nutritive value of feed materials. Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, Wageningen.
- Schmidt J.H., 2008. System delimitation in agricultural consequential LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13 (4), 350-364.
- Van Zanten H.H.E., Bikker P., Meerburg B.G., De Boer I.J. M., 2018. Attributional versus consequential life cycle assessment and feed optimization: alternative protein sources in pig diets. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23, 1-11.
- WWF, 2014. The growth of soy: Impacts and solutions. 96p. http://awsassets.wwfdk.panda.org/downloads/wwf_soy_report_final_jan_19.pdf
- 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* 11(12):e0167343.doi:10.1371/journal.pone.0167343