

Analyse environnementale de l'utilisation de sources de protéines européennes pour l'alimentation porcine

Sandrine Espagnol, Cyrielle Delage, Éric Royer, Sylvie Dauguet, Søren Krogh Jensen, Florence Garcia-Launay

▶ **To cite this version:**

Sandrine Espagnol, Cyrielle Delage, Éric Royer, Sylvie Dauguet, Søren Krogh Jensen, et al.. Analyse environnementale de l'utilisation de sources de protéines européennes pour l'alimentation porcine. 52. Journées de la Recherche Porcine, Feb 2020, Paris, France. pp.337-342. hal-02479993

HAL Id: hal-02479993
https://hal.science/hal-02479993

Submitted on 2 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

2020. Journées Recherche Porcine, 52, 337-342.

Analyse environnementale de l'utilisation de sources de protéines européennes pour l'alimentation porcine

Sandrine ESPAGNOL (1), Cyrielle DELAGE (1), Eric ROYER (1), Sylvie DAUGUET (2), Søren KROGH JENSEN (3), Florence GARCIA-LAUNAY (4)

(1) IFIP-institut du porc, Le Rheu, France
(2) Terres Inovia, 33600 Pessac, France
(3) Aarhus Universitet, Danemark
(4) PEGASE, INRAE, AGROCAMPUS OUEST, 35590, Saint Gilles, France

sandrine.espagnol@ifip.asso.fr

Les auteurs remercient Alain Quinsac (Terres Inovia) pour l'aide apportée. Cette étude est réalisée dans le cadre du projet Feed-a-Gene, financé par l'Union Européenne au sein du programme H2020 (convention n°633531).

Analyse environnementale de l'utilisation de sources de protéine européenne pour l'alimentation porcine

La substitution au tourteau de soja brésilien (TSB), issu en partie de zones déforestées, avec des sources de protéines européennes (SPE), est une voie à l'étude pour réduire l'impact changement climatique de l'alimentation animale. Ce travail s'intéresse à de nouvelles sources de protéines européennes : une fraction fine de tourteau de colza (SPE1), deux tourteaux de soja Expeller, l'un avec décorticage préalable des graines (SPE2), l'autre sans (SPE3), et un concentré protéique issu de biomasse (SPE4). L'objectif est d'analyser les incidences environnementales de l'utilisation de ces matières premières dans l'alimentation des porcs charcutiers. Les impacts environnementaux sont évalués par Analyse de Cycle de Vie pour un kilogramme de porc au portail de la ferme. Les bénéfices environnementaux sont estimés en comparant des scénarios avec incorporation des SPE à des scénarios de référence utilisant les sources de protéines « classiques » (dont le TSB). L'exercice est conduit dans un contexte économique récent, considérant quatre pays européens et quatre années contrastées : il mesure l'opportunité actuelle d'utiliser ou non les SPE. Un deuxième contexte, favorable au TSB ou aux SPE, est simulé afin d'approcher le bénéfice potentiel des SPE. Dans le premier contexte, les résultats montrent un intérêt modéré des SPE car le TSB entre peu dans les formules de référence (<5%) : il n'y a pas grand-chose à substituer. Dans le deuxième contexte, l'intérêt des SPE ressort pour le changement climatique particulièrement pour les tourteaux Expeller (réduction d'environ 9%) mais avec un transfert de pollution sur l'occupation des sols (augmentation de 13%). Ces résultats soulignent la nécessité d'analyses à des échelles plus macroscopiques afin de prendre en compte les effets induits par les changements de formules.

Environmental assessment of new European protein sources for pig feeds

Replacement of Brazilian soybean meal (BS) associated to deforestation with European protein sources (EPS) was studied to reduce the impact of feed production on climate change. This study examined four EPS: the fine fraction of rapeseed meal (EPS1), soybean meals obtained from an innovative extrusion process with dehulled soybeans (EPS2) or non-dehulled soybeans (EPS3), and Danish protein pastes extracted from green biomass (EPS4). The goal was to estimate environmental impacts of pig production resulting from incorporating EPS in feeds for fattening pigs. Environmental impacts per kg of pig liveweight at the farm gate were estimated using life cycle assessment. Potential benefits were assessed by comparing each scenario with EPS to reference scenarios with "classic" protein sources (including BS). The study considered the recent economic context of four countries (France, Germany, Spain and the Netherlands) for four contrasting years to assess the current potential for using EPS. A second, virtual, context was defined with scenarios favorable to either BS or EPS, and the potential benefit of EPS was then appraised. In the recent economic context, results showed a moderate benefit with EPS because SB had low incorporation rates in the reference formulas (<5%) (little SB to replace). In the virtual context, the benefit of EPS is apparent for climate change, particularly for European soybean meal (reduction of ca. 9%) but with a transfer of pollution to land use (increase of 13%). These results highlight the need for more macroscopic analyses to capture rebound effects.

INTRODUCTION

Les impacts des produits animaux en sortie des élevages (exprimés par kg de porc vif pour les élevages porcins) sont expliqués dans une part importante par la production des intrants alimentaires nécessaires à ces élevages : entre 60 et 67 % pour l'impact changement climatique et entre 68 et 71 % pour la consommation d'énergie non renouvelables (Dourmad *et al.,* 2014). Parmi les matières premières incorporées dans les aliments pour porcs ayant le plus d'impact sur le changement climatique se trouve le tourteau de soja brésilien (TSB), du fait de sa culture associée en partie à la destruction de la forêt primaire. Près de 80% du soja mondial sont cultivés sur le continent américain où 24 millions d'hectares de forêt (dont de la forêt primaire) et prairies ont été convertis en terres arables entre 2000 et 2010 (WWF, 2014). L'alimentation animale est l'utilisateur majoritaire de cette culture puisque 75% de sa production lui sont dédiés à l'échelle mondiale (WWF, 2014). L'intérêt pour cette matière première est lié à son riche contenu protéique (entre 46 et 48%) et à son profil en acides aminés bien adapté aux besoins des animaux. Pour autant, son utilisation est remise en cause en raison de ses impacts environnementaux et aussi de son statut d'OGM. Ainsi, la substitution en alimentation animale du soja importé du Brésil par des sources de protéines « locales », i.e. européennes (SPE) apparaît comme une alternative.

Cette étude a précisément pour objectif d'évaluer par Analyse de Cycle de Vie les incidences environnementales d'une utilisation de sources de protéines alternatives au soja importé du Brésil.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Matières premières de substitution considérées

Quatre matières premières innovantes SPE européennes sont considérées pour remplacer le SB : une fraction fine de tourteau de colza obtenue par tamisage (SPE1), du tourteau de soja obtenu par aplatissage – cuisson – pression (ACP) avec ou sans décorticage préalable (SPE2 et SPE3), et un concentré protéique issu de biomasse végétale produit au Danemark (SPE4). Certaines matières premières sont d'ores et déjà commercialisées (SPE2 et SPE3), d'autres sont uniquement produites pour le moment dans des unités expérimentales (SPE1 et SPE4).

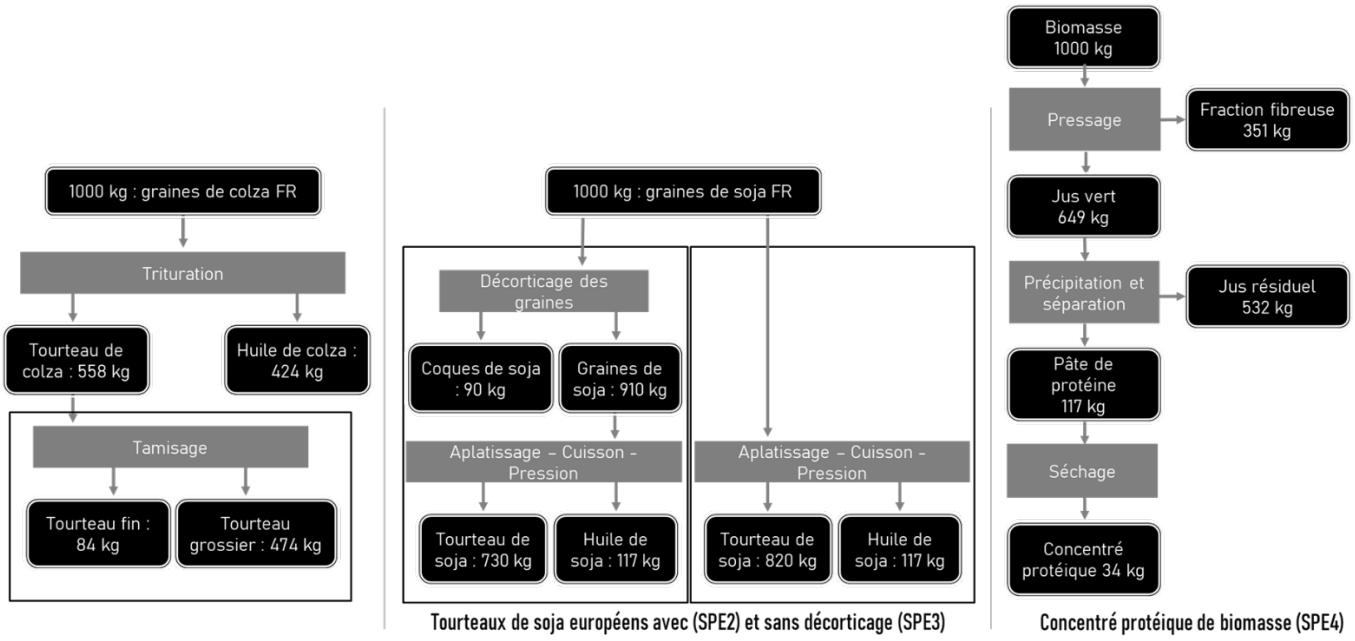


Figure 1 – Processus de production des SPEs considérées

SPE1 est obtenue après un tamisage d'un tourteau de colza « classique » (figure 1). Ce traitement physique permet de concentrer le contenu protéique de la fraction fine et de réduire son contenu en fibre. SPE2 et SPE3 sont issues de processus de transformation appliqués à des graines de soja produites en Europe.

La trituration se fait dans des usines plus petites que celles qui triturent les graines de soja importées : elles adoptent une méthode dite de « Cuisson-Pression » (Quinsac *et al*., 2012) qui produit un tourteau de soja dénommé « expeller » partiellement déshuilé. Le décorticage de la graine de soja avant trituration augmente la teneur en protéines finale du produit.

Des chercheurs danois ont mis au point un procédé de bio-raffinerie verte qui, à partir de biomasse végétale (ray-grass, trèfle violet, ou luzerne), produit la SPE4 utilisée ici (Hermansen *et al.,* 2017), destinée à l'alimentation des monogastriques (Santamaria-Fernandez *et al.* 2016).

Cette technique s'inscrit dans une économie circulaire avec une valorisation de tous les coproduits : la part fibreuse produite est destinée à l'alimentation des ruminants tandis que le jus résiduel est transformé en engrais organique pour répondre à la demande en fertilisants pour l'agriculture biologique qui est en pleine croissance au Danemark.

1.2. Scénarios d'utilisation des SPE en alimentation porcine

Les SPEs sont intégrées, une par une, dans les aliments d'engraissement d'une stratégie d'alimentation biphase (aliments croissance et finition). Quatre types de scénarios sont considérés :

- Une référence (sREF) sans utilisation de SPE dans un contexte économique correspondant à celui des 10 dernières années ;
- Une deuxième référence, toujours sans SPE, considérant

une situation prospective dans laquelle le TSB serait extrêmement intéressant économiquement et serait donc incorporé de façon importante dans les aliments (sREFmax) ;

- Une première série de scénarios avec incorporation de SPE (sSPE) dans le contexte économique favorable de ces 10 dernières années ; avec une seule SPE par scénario ;
- Une deuxième série de scénarios avec utilisation de chaque SPE dans les aliments (sSPEmax) au niveau de leur potentiel maximum d'incorporation.

Les incidences environnementales des SPE sont mesurées en comparant un scénario avec SPE et un scénario REF. Un bénéfice environnemental correspond à une réduction d'impact. Si un impact augmente entre les deux scénarios, cela suppose une dégradation environnementale ou un transfert d'impact. Deux comparaisons de scénarios sont testées afin de cerner les potentialités de réduction des impacts environnementaux du porc avec les SPE. Une première se place dans le contexte économique récent (sSPE – sREF) et une seconde évalue le potentiel maximal de réduction d'impacts avec les SPE (sSPEmax – sREFmax).

1.3. Calcul des impacts environnementaux par ACV

Les impacts sont calculés par Analyse de Cycle de Vie attributionnelle (ACVa) pour deux unités fonctionnelles : par tonne de SPE au portail de l'usine de production et par kilogramme de porc au portail de la ferme. Ainsi, deux périmètres sont considérés. Le premier concerne la production des SPE et inclut (1) l'étape culturale avec les opérations au champ et la production des intrants nécessaires (engrais, tracteurs…), (2) les processus de transformation avec la production des intrants requis, et (3) les étapes de transport pour l'approvisionnement en intrants et les trajets reliant les parcelles aux usines de transformation. Les ACV des SPE sont réalisées sous Simapro (v8.5.2 avec base de données Ecoinvent v3.4).

Le second périmètre est celui du cycle de vie d'un kilogramme de porc au portail de la ferme. Il intègre, (1) la production des intrants avec les intrants alimentaires (dont les SPE dans les scénarios où les porcs en consomment), les intrants animaux, les bâtiments ; (2) la gestion des animaux (en bâtiments) et de leurs effluents (au bâtiment et au cours du stockage). L'épandage des effluents est également pris en compte en différentiel par rapport à une fertilisation minérale équivalente en termes d'apports azotés : les émissions au champ liées à la fertilisation minérale (qui auraient eu lieu sans l'apport de lisier) sont retranchées des émissions liées à l'épandage des effluents.

Ainsi, seul(e) le surplus ou l'économie d'émissions, associé(e) à la fertilisation organique, est attribué(e) à la production de porc. Les ACV par kilogramme de porc sont réalisées avec le modèle MOGADOR (Cadero *et al.*, 2018) en considérant un profil de porc conventionnel (Large White x Landrace) x (Large White x Piétrain), (Brossard *et al.*, 2014), un élevage sur caillebotis intégral avec stockage des effluents sous les animaux (pendant la durée d'engraissement), suivi d'un stockage en fosse extérieure découverte.

Six impacts sont retenus : le changement climatique (ILCD, en kg CO_2-eq), les consommations d'énergie non renouvelable (CED 1.8, en MJ), l'acidification (ILCD, en molc H+-eq), l'eutrophisation (CML, en PO_4^{3-}-eq) et l'occupation des sols (CML, en m^2.an).

1.4. Formulation des aliments

La formulation des aliments se fait à moindre coût en respectant les contraintes relatives aux taux d'incorporation des matières premières et aux caractéristiques nutritionnelles souhaitées de l'aliment formulé.

Pour les matières premières classiques, nous avons considéré :

- Des prix moyens annuels dans 4 contextes économiques contrastés (2010-11, 2012-13, 2013-14 et 2016-17) relativement aux prix des céréales et des tourteaux, pour 4 pays européens (France, Allemagne, Espagne et Pays-Bas) ;
- Les valeurs nutritionnelles issues des tables d'alimentation de l'INRA-CIRAD-AFZ (Sauvant *et al.*, 2004) ;
- Les impacts environnementaux, évalués par Analyse de Cycle de Vie, de la base de données ECOALIM (Wilfart *et al.,* 2016). Le tourteau de soja brésilien (TSB) considéré est un tourteau moyen issu de graines provenant à 70% d'une zone liée à la déforestation et à 30% d'une zone non déforestée (Prudêncio da Silva *et al.*, 2010).

Les prix de marché représentatifs n'existant pas toujours pour les SPE les plus innovantes, deux approches ont été utilisées suivant les scénarios. Dans sSPE, les prix de matières premières « classiques » de référence (pulpe de betterave, tourteau de soja 48 et tourteau de colza respectivement pour SPE1, SPE2/SPE3 et SPE4) ont été choisis en prenant leur prix le plus faible au cours des 10 dernières années, soit 150€/t pour SPE1, 290€/t pour SPE2 et SPE3 et 190€/t pour SPE4.

Dans le scénario sSPEmax le prix des SPE a été fixé à 0€/t afin de maximiser leur incorporation, tout en respectant les maximums de taux d'incorporation définis dans les contraintes de formulation : 15%, pour SPE1 et SPE4.

Tableau 1 – Caractéristiques nutritionnelles des sources de protéines alternatives, comparées aux tourteaux de soja et de colza

Par kg de matière première	Protéines brutes (g)	Fibres (g)	Matières grasses (g)	Energie nette pour le porc charcutier (MJ)	Lysine digestible / énergie nette (g/MJ)
Tourteau de soja brésilien	463	59	16	8,3	3,12
Tourteau de colza	339	128	22	6,7	2,03
Tourteau colza fin tamisé (SPE1)	385	72	17	7,1	2,16
Tourteau de soja ACP décortiqué (SPE2)	505	32	59	9,6	2,96
Tourteau soja ACP non décortiqué (SPE3)	466	51	78	9,6	2,72
Concentré protéique biomasse (SPE4)	337	205	63	5,1	2,59

Les caractéristiques nutritionnelles des SPE sont fournies par Carré *et al. (*2017) et Lærke *et al*, 2019 (Tableau 1).

Le concentré protéique de biomasse a une forte teneur en fibres en comparaison des autres sources de protéine ; sa teneur en protéines est à l'inverse la plus basse. Le tourteau de soja européen sans décorticage a un contenu protéique proche de celui du TSB. Le tourteau avec décorticage a un contenu protéique augmenté de 8% et une teneur en fibres réduite de 38%. Du fait du processus de trituration, les tourteaux de soja européens ont un contenu résiduel en huile supérieur à celui du TSB et donc un contenu énergétique supérieur.

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 décorticage 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.

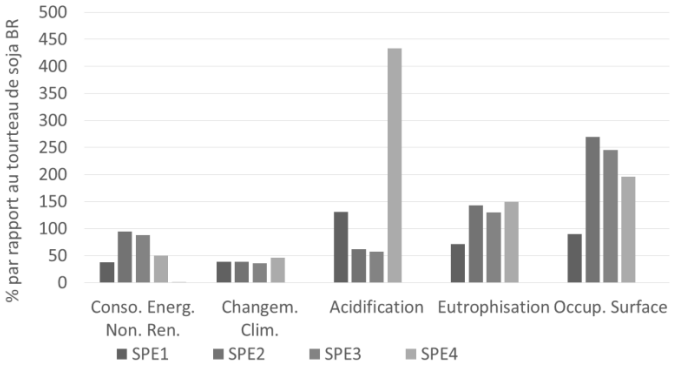


Figure 2 – Impacts des sources de protéines européennes (SPEs) en relatif par rapport à ceux du tourteau de soja brésilien (TSB) (base 100%)

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 ± 0,005, un poids d'entrée en engraissement de 30 ± 1,403 kg et un poids de sortie de 116 ± 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 avions 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 inefficiente 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 conséquentielles (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., Salaün 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. EAAP 2017 - Feed-A-Gene 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 EAAP 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., Primot 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