

Les effets de la stratégie d'alimentation sur l'impact environnemental de la production porcine dépendent du contexte de production

Alessandra N.T.R. MONTEIRO (1,2), Florence GARCIA-LAUNAY (2), Ludovic BROSSARD (2), Aurélie WILFART (3), Jean-Yves DOURMAD (2)

(1) Animal Science Department, Maringá State University, 91540-000, Maringá, PR, Brazil

(2) INRA, AGROCAMPUS OUEST, UMR Pegase, 35590 Saint-Gilles, France

(3) INRA, AGROCAMPUS OUEST, UMR SAS, 35000 Rennes, France.

jean-yves.dourmad@inra.fr

Les effets de la stratégie d'alimentation sur l'impact environnemental de la production porcine dépendent du contexte de production

Différentes études récentes ont évalué par analyse de cycle de vie (ACV) les effets de l'alimentation sur les impacts environnementaux de la production porcine. Cependant, la plupart de ces études ont été conduites en Europe et la question des interactions avec le contexte de production reste posée. L'objectif de ce travail était d'évaluer ces effets dans deux situations contrastées, le Brésil et la France. L'ACV considérait la phase d'engraissement des porcs jusqu'à la porte de l'élevage : production des aliments, élevage des animaux, gestion des effluents, l'unité fonctionnelle étant un kg de gain de poids vif. Les performances des animaux étaient simulées à l'aide du modèle population d'InraPorc® (1000 mâles castrés et 1000 femelles par scénario). Les scénarios testés combinaient, dans chaque pays, quatre programmes d'alimentation (2 phases, 4 phases, multiphase, alimentation de précision), 12 modalités de formulation (2 sources de protéines x 2 origines du soja x 3 niveaux d'addition d'acides aminés(AA)). Les résultats montrent des interactions significatives entre programme alimentaire, origine du soja et localisation de la production. Pour l'impact changement climatique, l'intérêt de l'alimentation par phases et de l'addition d'AA est limité et même contreproductif au Brésil lorsque le soja provient du sud (sans déforestation), alors que c'est une stratégie intéressante en Europe et, dans tous les cas, lorsque le soja provient du centre-ouest, avec déforestation. Des effets similaires sont observés pour la demande en énergie. A l'inverse, l'alimentation par phases et l'addition d'AA réduisent significativement les impacts eutrophisation et acidification, de la même manière dans les deux pays. Pour tous les impacts, l'alimentation de précision est toujours la stratégie la plus efficace pour réduire les impacts environnementaux.

The effect of feeding strategy on environmental impacts of pig production depends on the context of production

Life cycle assessment (LCA) has been used in many studies to evaluate the effect of feeding strategy on the environmental impact of pig production. However, because most studies have been conducted in European conditions, the question of possible interactions with the context of production is still under debate. The objective of this study was to evaluate these effects in two contrasted geographic contexts of production, Brazil and France. The LCA considered the process of pig fattening at the farm gate, including production of feed, rearing of animals, and manure management. The functional unit considered was one kg of body weight gain. Performance of pigs was simulated for each scenario using the InraPorc® population model (1000 castrated males and 1000 females per scenario). The scenarios combined in each country 4 feeding programs (2-phase, 4-phase, multiphase and precision feeding), 12 formulation strategies (2 protein sources x 2 origins of soybean x 3 levels of amino acid (AA) addition). The results indicate that for some impacts there are clear interactions between effects of feeding program, origin of soybean and location of production. For climate change, the interest of phase feeding and incorporation of AA is limited and even counterproductive in Brazil when using soybean from South (without deforestation), whereas it is a more interesting strategy in Europe, and in all situations with soybean from Center West (with deforestation). Rather similar effects, as for climate change, were observed for cumulative energy demand. Conversely, potential eutrophication and acidification impacts were reduced by phase feeding and AA addition in a similar way in all situations. For all impacts, precision feeding was the most effective approach for reducing the LCA impacts of pig fattening.

INTRODUCTION

L'amélioration des conduites d'alimentation constitue un levier d'action important pour réduire l'impact environnemental de la production porcine (Dourmad et Jondreville, 2007). Il est ainsi possible d'accroître l'efficacité de rétention des nutriments par les animaux et de réduire les quantités excrétées, en particulier celles de l'azote (N) et du phosphore (P). Par ailleurs, une formulation des aliments mieux adaptée permet aussi de réduire l'impact environnemental en privilégiant les matières premières issues de cultures ou de processus de production qui génèrent moins d'impacts.

Ces dernières années, l'analyse de cycle de vie (ACV) a été utilisée dans plusieurs études pour évaluer l'incidence de différentes stratégies de formulation des aliments, en particulier la réduction de la teneur en protéines et l'accroissement du nombre de phases alimentaires, sur les impacts environnementaux de la production de porc (Garcia-Launay *et al.*, 2014 ; Erikson *et al.*, 2005). Cependant, la plupart de ces études ont été conduites en Europe et la question des interactions possibles avec le contexte de production et l'origine de certains ingrédients reste posée. Les différences de contexte climatique et de potentiel agronomique entre le Brésil et l'Europe ont conduit au développement de filières de production porcine contrastées en termes de logement des animaux, de gestion des effluents et de formulation des aliments. L'objectif de cette étude est d'utiliser ces situations contrastées pour évaluer, à l'aide de l'ACV, les effets de différentes stratégies de formulation et de distribution des aliments, sur l'impact environnemental de l'engraissement de porcs.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Stratégies d'alimentation et performances des animaux

L'étude a concerné la phase d'engraissement des porcs dans deux situations géographiques, le Sud du Brésil et l'Ouest de la France. Quatre programmes d'alimentation ont été considérés : une alimentation bi-phase (2P), une alimentation en quatre phases (4P), une alimentation multiphase (MP) et l'alimentation individuelle de précision (PR). Ces stratégies sont combinées avec trois scénarios de formulation à moindre coût des aliments: (i) pas d'utilisation d'acides aminés (AA) libres (noAA), (ii) une utilisation d'AA avec des contraintes sur la teneur en protéines (avecAA) correspondant aux recommandations du Corpen (2003) pour la France et aux pratiques habituelles de terrain pour le Brésil (Rostagno *et al.*, 2011) et (iii) des aliments formulés sans contrainte minimale de teneur en protéines (basMAT). Pour chaque scénario, deux sources de protéines sont considérées : soit le tourteau de soja seul (SOY), soit un "mix" de différentes sources de protéines (MIX), tourteau de soja et farine de viande au Brésil, tourteau de soja, pois et tourteau de colza en France. Enfin, pour élargir le spectre des situations envisageables, deux hypothèses sont considérées quant à l'origine du tourteau de soja, le sud du Brésil (SU) et le centre Ouest (CO), correspondant à des situations contrastées en termes de déforestation. Au total 96 scénarios de formulation ont été évalués.

Les performances réalisées par les animaux pour les différentes stratégies alimentaires ont été estimées à l'aide du module population d'InraPorc® afin de prendre en compte l'effet de la variabilité individuelle (Brossard *et al.*, 2014) sur la rétention et l'excrétion de nutriments. Les performances zootechniques et les bilans de nutriments d'une population de 2000 porcs (50% de mâles castrés, 50% de femelles) ont été simulés pour chaque

stratégie dans chaque pays, soit sur 192000 porcs au total. Les profils individuels des animaux utilisés pour ces simulations ont été définis selon la méthode développée par Vautier *et al.* (2013), sur la base des performances obtenues dans les études de Monteiro (2014) au Brésil et Brossard *et al.* (2014) en France, considérées comme proche de celles obtenues dans ces deux zones géographiques. Deux aliments correspondant à 110% des besoins au début et à la fin de la période d'engraissement (pour chaque sexe dans chaque pays) sont formulés au moindre coût et distribués en mélange selon des proportions adaptées à chaque programme alimentaire. Dans le cas de l'alimentation de précision, la proportion des deux aliments est ajustée chaque jour pour chaque porc selon son potentiel de croissance et sa consommation d'aliment (Andretta *et al.*, 2014).

1.2. Analyse de cycle de vie

La définition des limites du système est similaire à celle utilisée par Nguyen *et al.* (2010) et Garcia-Launay *et al.* (2014). L'analyse de cycle de vie (ACV) considère l'activité d'engraissement de porcs en incluant les cultures pour la production des matières premières, la production et le transport des aliments, l'élevage des animaux et la gestion des effluents. Les conséquences environnementales de la gestion des effluents sont évaluées par extension du système, ces effluents venant en substitution d'engrais chimiques (Nguyen *et al.*, 2010).

L'inventaire des ressources utilisées est réalisé selon la méthodologie décrite par Garcia-Launay *et al.* (2014). Le soja est supposé produit au Brésil pour les deux contextes géographiques. Les impacts associés à la production du maïs au Brésil proviennent d'Alvarenga *et al.* (2012) et ceux du soja de Prudêncio da Silva *et al.* (2010) en tenant compte de la déforestation (PAS2050, 2011) pour la région du centre-ouest. Pour la France les impacts des matières premières sont issus de la base Ecoalim (Wilfart *et al.*, 2015). Les émissions entériques de CH₄ et les émissions gazeuses des effluents sont déterminées d'après Rigolot *et al.* (2010a, 2010b) et IPCC (2006) en tenant compte de la température annuelle moyenne extérieure dans chaque région.

L'ACV est réalisée selon la méthode CML 2001 (V3.02) implémentée dans Simapro (version 8.05, PRé Consultant, 2014) en considérant les impacts potentiels suivants : changement climatique (CC, kg CO₂-eq.), eutrophisation (EP, g PO₄-eq.), acidification (AP, g SO₂-eq.), demande cumulée en énergie (CED, MJ), et occupation de surface (OS, m².an). Les impacts sont évalués à la "porte de l'élevage" et l'unité fonctionnelle est un kg de gain de poids vif (GPV) pendant l'engraissement.

1.3. Calculs et analyses statistiques

Les résultats de performances et d'impacts environnementaux ont été soumis à une analyse de variance à l'aide d'un modèle incluant les effets du pays, de la source de protéines, de l'origine du soja, du nombre de phases, de la stratégie d'utilisation d'AA, et les interactions de premier et de second niveau entre ces facteurs. On considère comme unité statistique le résultat moyen d'une simulation sur 1000 porcs.

2. RESULTATS

2.1. Performances et excrétion des animaux

Les résultats relatifs aux performances des animaux et à l'excrétion d'azote et de phosphore sont rapportés au tableau 1. La teneur moyenne en MAT de l'aliment est influencée par le programme d'alimentation et le niveau d'incorporation d'AA.

Comparativement à l'alimentation bi-phase, l'alimentation de précision réduit la quantité de MAT de respectivement 8% et 14% en France et au Brésil. De même, l'incorporation d'AA réduit la quantité de MAT de l'aliment d'environ 20% entre noAA et BasMAT. Cette réduction de la teneur en MAT des aliments est associée à une diminution du coût alimentaire. Les poids moyens en début et en fin de simulation sont de respectivement 30 et 115 kg.

Le GMQ et l'IC ne sont pas affectés par la supplémentation en AA, mise à part une légère dégradation des performances pour le niveau le plus faible de MAT au Brésil.

A l'inverse, l'augmentation du nombre de phases d'alimentation tend à légèrement dégrader les performances, alors que les meilleures performances sont obtenues pour l'alimentation de précision.

Tableau 1 - Performance et excrétion d'azote et de phosphore selon la source de protéines, le programme d'alimentation et le niveau de supplémentation en acides aminés libres.

| | Source de protéines ¹ | | Programme d'alimentation ² | | | | Inclusion d'acides aminés ³ | | |
|------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--|---------------------|--------------------|
| | SO | MIX | 2P | 4P | MP | PR | noAA | avecAA | bas MAT |
| Brésil | | | | | | | | | |
| MAT, g/kg ³ | 144 _b | 147 _a | 152 _a | 146 _b | 143 _b | 141 _b | 160 _a | 149 _b | 126 _c |
| GMQ, kg/d | 0,847 _a | 0,844 _b | 0,844 _b | 0,834 _c | 0,827 _a | 0,878 _d | 0,847 _a | 0,847 _a | 0,843 _b |
| IC, kg/kg | 2,71 | 2,72 | 2,72 _c | 2,75 _b | 2,77 _a | 2,60 _d | 2,70 _b | 2,71 _{ab} | 2,72 _a |
| Coût aliment, €/kg GMQ | 0,560 _a | 0,537 _b | 0,562 _a | 0,556 _a | 0,554 _a | 0,523 _b | 0,573 _a | 0,553 _b | 0,520 _c |
| Excrétion N, kg/porc | 3,30 _b | 3,41 _a | 3,60 _a | 3,45 _b | 3,39 _b | 2,98 _c | 3,88 _a | 3,50 _b | 2,69 _c |
| Excrétion P, kg/porc | 0,632 _b | 0,680 _a | 0,665 | 0,658 | 0,657 | 0,642 | 0,696 _a | 0,670 _{ab} | 0,602 _b |
| France | | | | | | | | | |
| MAT, g/kg ³ | 156 | 156 | 167 _a | 159 _{ab} | 156 _b | 144 _c | 173 _a | 153 _b | 144 _c |
| GMQ, kg/d | 0,876 _b | 0,902 _a | 0,885 _b | 0,880 _b | 0,875 _b | 0,915 _a | 0,898 | 0,884 | 0,885 |
| IC, kg/kg | 2,74 _a | 2,70 _b | 2,72 _{ab} | 2,74 _a | 2,75 _a | 2,67 _b | 2,72 | 2,74 | 2,71 |
| Coût aliment, €/kg GMQ | 0,615 _a | 0,597 _b | 0,634 _a | 0,615 _{ab} | 0,607 _b | 0,569 _c | 0,639 _a | 0,607 _b | 0,572 _c |
| Excrétion N, kg/porc | 3,81 | 3,69 | 4,16 _a | 3,90 _{ab} | 3,79 _b | 3,17 _c | 4,37 _a | 3,68 _b | 3,22 _c |
| Excrétion P, kg/porc | 0,688 _b | 0,743 _a | 0,752 _a | 0,725 _a | 0,713 _{ab} | 0,673 _b | 0,728 _a | 0,744 _a | 0,675 _b |

¹SO = tourteau de soja seul; MIX = tourteau de soja, de colza et pois en France - tourteau de soja et farine de viande au Brésil

²2P : 2phases; 4P : 4 phases; MP : multiphase; PR : alimentation individuelle de précision

³noAA : sans supplémentation; avecAA : avec supplémentation et contraintes mini en protéines; basMAT : supplémentation en AA sans contraintes en protéines

⁴Les moyennes suivies de la même lettre ou sans lettre ne diffèrent pas significativement entre groupes (P > 0,05).

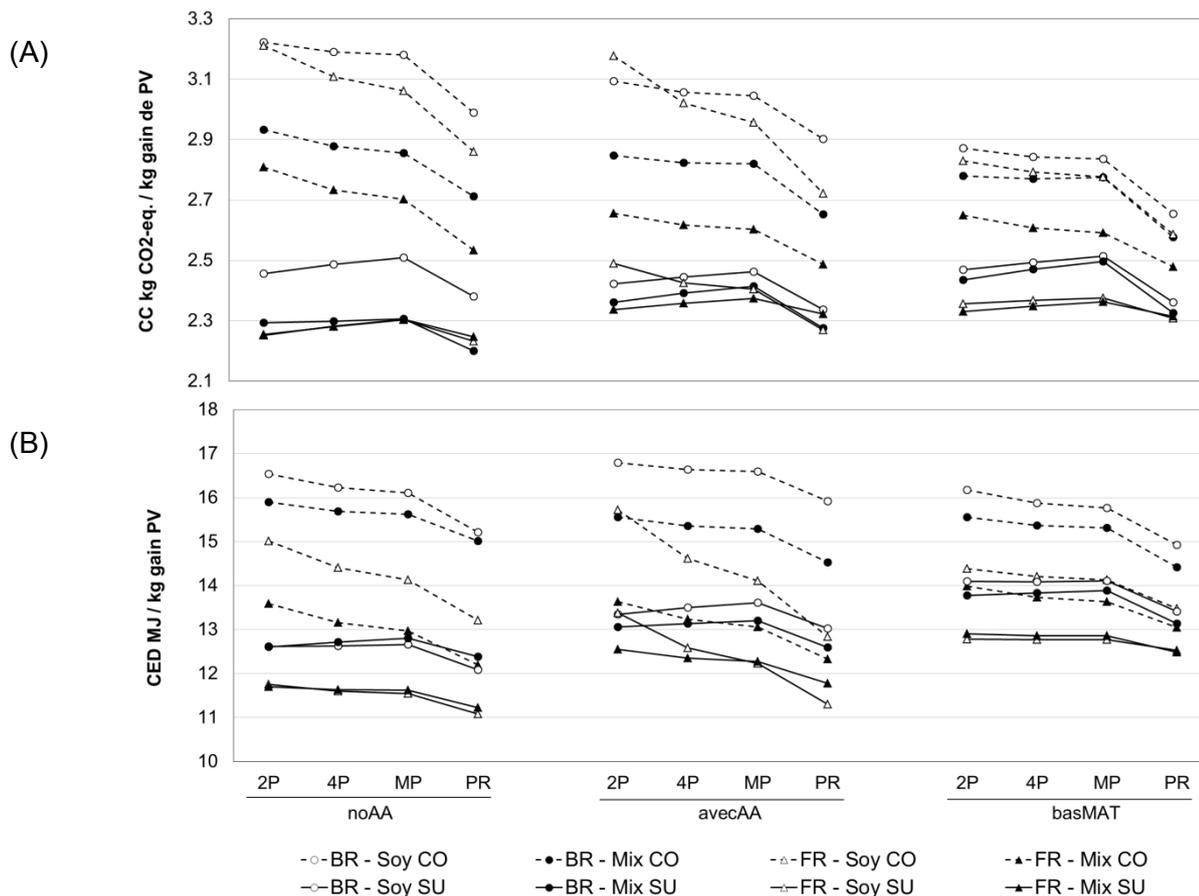


Figure 1 - Effet des programmes alimentaires sur les impacts changement climatique (CC, A) et demande en énergie (CED, B)
 BR : Brésil, FR : France, 2P : 2 phases, 4P : 4 phases, MP : multi-phase, PR : alimentation de précision noAA : sans supplémentation en AA ;
 avecAA : avec supplémentation et contraintes mini en protéines; basMAT : avec supplémentation sans contraintes en protéines

2.2. Changement climatique

Avec du soja du sud (sans déforestation), les valeurs moyennes de CC varient selon le programme alimentaire entre 2,31 et 2,45 kg CO₂-eq./kg GPV au Brésil et entre 2,28 to 2,35 kg CO₂-eq./kg GPV en France (Fig. 1A). Les valeurs sont significativement plus élevées et plus variables avec le soja du centre-ouest, entre 2,75 et 2,96 kg CO₂-eq./kg GPV au Brésil et entre 2,61 et 2,89 kg CO₂-eq./kg GPV en France. Dans tous les cas, l'impact le plus faible est obtenu pour l'alimentation de précision.

Avec du soja du sud, l'impact le plus élevé entre les niveaux de supplémentation en AA est obtenu pour le scénario basMAT au Brésil et avecAA en France. Avec du soja du centre ouest, l'impact est toujours plus élevé pour le scénario sansAA. Indépendamment de l'origine du soja et du pays, la diversification des sources de protéines (MIX) s'accompagne d'une réduction de l'impact CC comparativement à l'utilisation du soja seul (SO), la différence étant toutefois plus faible lorsque le soja provient du sud du Brésil.

La variation d'impact CC entre programmes alimentaires diminue lorsque l'incorporation d'AA augmente (Figure 1A) et, dans les deux situations géographiques, il y a une interaction significative avec l'origine du soja. Avec du soja du centre ouest, l'impact CC diminue lorsque l'incorporation d'AA s'accroît et donc lorsque la teneur en protéines diminue, l'effet étant plus marqué lorsque le soja est la seule source protéique, alors qu'avec du soja du sud on observe plutôt une tendance inverse. De la même manière, l'accroissement du nombre de phases d'alimentation et l'alimentation de précision réduisent l'impact CC quand le soja provient du centre ouest, alors qu'avec le soja du sud seule l'alimentation de précision permet de réduire cet impact.

2.3. Demande en énergie

Les effets des différentes stratégies alimentaires sur la demande en énergie (CED) sont assez voisins de ceux observés pour l'impact CC (Figure 1B). La variation d'impact CED entre programmes alimentaires diminue lorsque l'incorporation d'AA augmente (Figure 1B) et il y a une interaction significative avec l'origine du soja. Avec le soja du centre ouest, l'impact CED diminue lorsque l'incorporation d'AA s'accroît et donc lorsque la teneur en protéines diminue, alors qu'avec du soja du sud l'impact CED tend au contraire à s'accroître.

De la même manière, l'accroissement du nombre de phases et l'alimentation de précision réduisent l'impact CED avec du soja du centre ouest, alors qu'avec le soja du sud seule l'alimentation de précision permet de réduire cet impact.

2.4. Acidification

Les résultats de l'impact AP sont rapportés à la figure 2A. On note une différence significative selon le contexte géographique, avec un impact en moyenne plus élevé au Brésil qu'en France. L'origine du soja a un effet beaucoup moins marqué que dans le cas des impacts CC et CED, l'impact moyen étant toutefois un peu plus élevé pour le soja du centre ouest. Dans toutes les situations, l'accroissement du nombre de phases et l'alimentation de précision s'accompagnent d'une réduction marquée de l'impact AP, la différence relative entre PR et 2P étant plus élevée en France (-16%) qu'au Brésil (-10%). De même, l'accroissement de l'incorporation d'AA entraîne une réduction marquée de l'impact AP.

Les effets étant additifs l'impact AP le plus faible est obtenu pour la combinaison PR-basMAT et l'impact le plus élevé pour la combinaison 2P-noAA.

2.5. Eutrophisation

Les résultats de l'impact EU sont rapportés à la figure 2B. On ne note pas d'effet marqué du contexte de production ni de l'origine du soja sur cet impact. L'impact EU diminue lorsque le nombre de phases alimentaires s'accroît, l'impact le plus faible étant observé pour l'alimentation de précision (16,3 g PO₄⁻ eq./kg GPV en moyenne) et le plus élevé pour l'alimentation bi-phase (18,2 g PO₄-eq./kg GPV en moyenne), soit un écart de l'ordre de 10%. L'accroissement de l'incorporation d'AA et la réduction de la teneur en protéines qui en résulte entraînent une réduction marquée de l'impact EU. Les effets étant additifs, l'impact EU le plus faible est obtenu pour la combinaison PR-basMAT et l'impact le plus élevé pour la combinaison 2P-noAA.

2.6. Utilisation de surface

Les résultats de l'impact OS sont rapportés à la figure 2C. On note un effet marqué du contexte de production sur le paramètre, l'impact étant plus élevé en France (4,0 m².an./kg GPV en moyenne) qu'au Brésil (2,5 m².an./kg GPV en moyenne), soit un écart de 40%. L'accroissement du nombre de phases n'affecte pas l'impact SU, alors qu'une réduction significative est observée dans le cas de l'alimentation de précision. L'accroissement de l'incorporation d'AA, et la réduction de la teneur en protéines qui en résulte, entraînent une réduction de l'ordre de 7% de l'impact OS entre noAA et basMAT.

3. DISCUSSION

L'accroissement du nombre de phases d'alimentation tend à légèrement dégrader les performances des animaux. Les aliments ont été formulés pour couvrir 110% du besoin de l'animal moyen de la population, comme proposé dans InraPorc pour tenir compte de la variabilité individuelle (van Milgen *et al.*, 2008). Il est probable, comme l'avaient déjà noté Brossard *et al.* (2009, 2014), que ce niveau était insuffisant pour couvrir au début de chaque phase les besoins des animaux les plus exigeants. Ceci semble confirmé par le fait que les meilleures performances sont obtenues avec l'alimentation de précision qui permet de couvrir les besoins de tous les animaux en permanence.

En faisant l'hypothèse que 70% du soja était importé du centre ouest du Brésil et 30% du sud, Garcia-Launay *et al.* (2014) observaient une diminution de l'impact CC en passant d'une alimentation bi-phase à une alimentation multiphase. C'est également ce que nous observons dans la présente étude lorsque le soja provient du centre ouest et qu'il est donc associé à de la déforestation. A l'inverse lorsque le soja provient du sud l'accroissement du nombre de phases n'entraîne pas de réduction de l'impact CC. L'accroissement du nombre de phases entraîne une réduction de l'incorporation de tourteau de soja, qui, lorsque celui-ci est associé à de la déforestation, entraîne une réduction significative de l'impact CC largement suffisante pour compenser la légère dégradation des performances. A l'inverse lorsque que le tourteau de soja n'est pas associé à de la déforestation la réduction de son incorporation à peu d'effet. Par contre, dans tous les cas, l'alimentation de précision qui maximise les performances, tout en réduisant la teneur

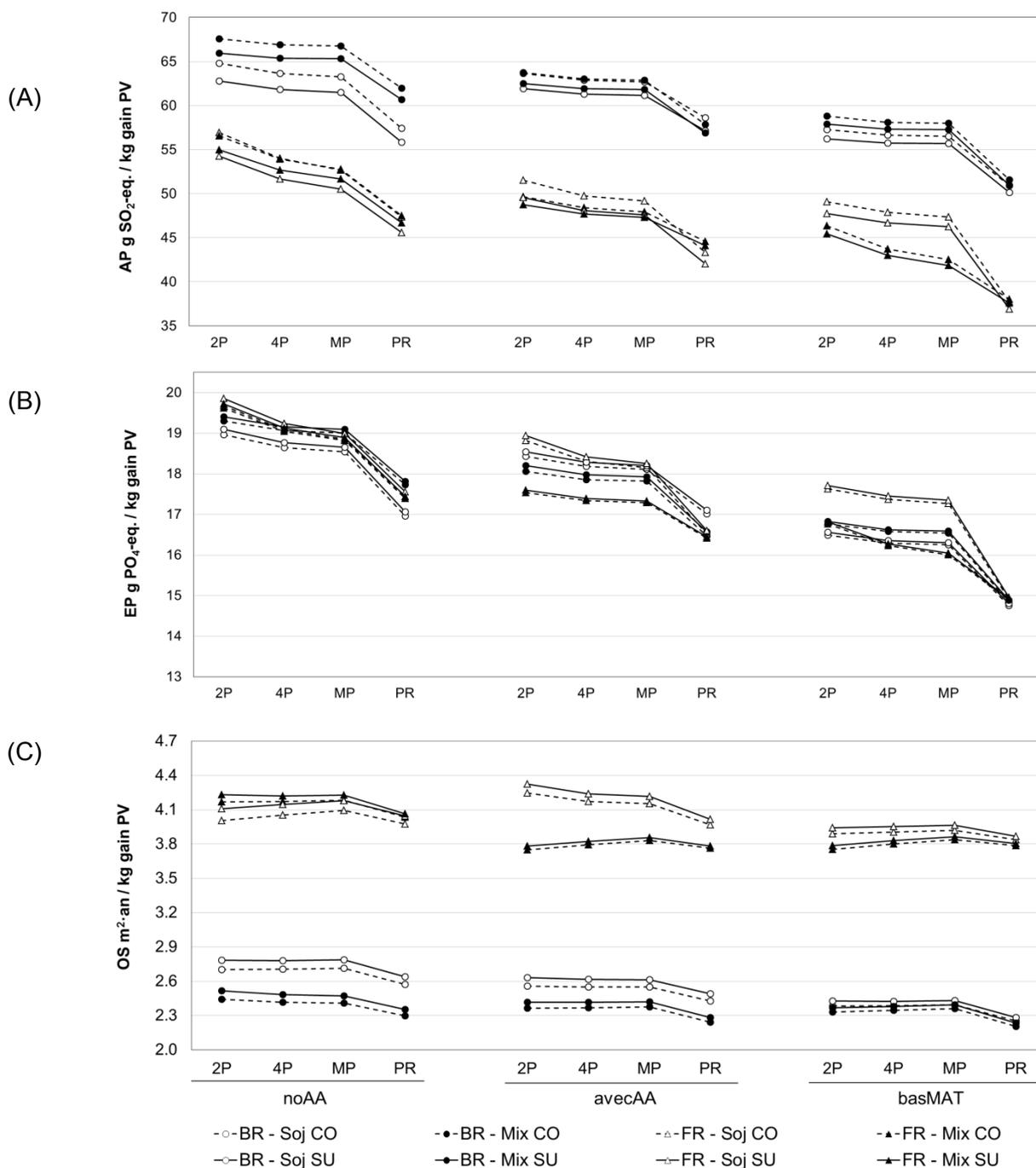


Figure 2. Effet des programmes alimentaires sur les impacts acidification (AP, A), eutrophisation (EU, B) et occupation de surface (OS, C)

BR : Brésil, FR : France, 2P : 2 phases, 4P : 4 phases, MP : multi-phase, PR : alimentation de précision noAA : sans supplémentation en AA ; avecAA : avec supplémentation et contraintes mini en protéines ; basMAT : avec supplémentation sans contraintes en protéines

en protéines de l'aliment, s'accompagne de l'impact CC le plus faible.

L'incorporation d'AA et la réduction de la teneur en protéines qui en résulte s'accompagnent d'une diminution de la variabilité entre scénario, ce qui indique que les effets de la stratégie d'alimentation et du contexte de production sont plus marqués avec des aliments riches en protéines. On note une interaction marquée entre le contexte de production et la supplémentation en AA. Lorsque le soja est associé à de la déforestation la supplémentation en AA s'accompagne d'une réduction de l'impact CC, comme l'avaient aussi observé Garcia-Launay *et al.* (2014). A l'inverse, lorsque le soja provient du sud la supplémentation en AA tend à accroître l'impact CC.

L'incorporation croissante d'AA s'accompagne d'une réduction de l'incorporation des matières premières riches en protéines qui sont remplacées par des céréales. Ceci explique qu'avec un tourteau de soja à fort impact CC on observe une réduction de l'impact de l'aliment alors que c'est l'inverse avec un soja à faible impact.

De même que dans les études d'Eriksson *et al.* (2005) et Garcia-Launay *et al.* (2014), la diversification des sources de protéines s'accompagne d'une réduction de l'impact CC. Dans le cas du Brésil cela résulte de l'incorporation de farine de viande, un sous-produit à faible impact, alors que pour la France cela s'explique par l'incorporation de tourteau de colza et de pois produits en Europe et non associés à de la déforestation.

Les effets observés pour l'impact demande en énergie (CED) sont similaires à ceux obtenus pour le changement climatique. Les impacts sont plus élevés avec le soja du centre ouest, mais dans ce cas la différence est surtout liée à l'effet du transport dans la mesure où la déforestation n'a pas d'impact marqué sur ce critère contrairement au CC. La possibilité de réduire l'impact CED en accroissant le nombre de phases ou en supplémentant les aliments par des AA est confirmée avec le soja du centre ouest, comme l'avaient aussi montré Garcia-Launay *et al.* (2014). Ce n'est par contre pas le cas lorsque le soja provient du sud et qu'il n'est pas associé à la déforestation.

Dans la mesure où l'excrétion d'azote contribue aux émissions d'ammoniac impliquées à la fois dans les phénomènes d'acidification et d'eutrophisation (Guinée *et al.*, 2002), les impacts AP et EU sont logiquement réduits dans les deux contextes géographiques par l'accroissement du nombre de phases et l'incorporation d'AA.

Des différences marquées entre pays sont observées pour l'occupation de surface. Elles reflètent à la fois des écarts de rendements et des pratiques culturales différentes. Le maïs est la principale céréale utilisée en alimentation porcine au Brésil alors qu'en France il s'agit plutôt du blé et de l'orge, dont les

rendements par ha sont moindres. Par ailleurs, il est fréquent au Brésil de réaliser deux, voire trois cultures chaque année sur la même parcelle.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude indiquent que l'alimentation de précision apparaît comme la stratégie la plus efficace pour réduire l'impact environnemental de l'engraissement des porcs, alors que l'intérêt de l'accroissement du nombre de phases d'alimentation et de la supplémentation par des acides aminés dépend de l'impact considéré, de l'origine du tourteau de soja et du contexte géographique. Pour l'impact changement climatique, ces stratégies sont efficaces en Europe et avec du soja associé à de la déforestation. Elles le sont beaucoup moins lorsque le soja n'est pas associé à de la déforestation, surtout au Brésil. A l'inverse, dans le cas des impacts eutrophisation et acidification, l'accroissement du nombre de phases d'alimentation et la supplémentation par des acides aminés sont des stratégies toujours efficaces pour réduire les impacts.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été conduit dans le cadre du programme de thèse "sandwich" financé par la fondation Brésilienne CAPES.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andretta I., Pomar C., Rivest J., Pomar J., Lovatto P.A., Radünz Neto J., 2014. The impact of feeding growing-finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 92, 3925-3936.
- Brossard L., Dourmad J.-Y., Rivest J., van Milgen J., 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. *Animal*, 3, 1114-1123.
- Brossard L., Vautier B., van Milgen J., Salaün 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.
- 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 effluents sur la nature et la gestion des déjections produites. CORPEN, Paris (FRA), 41 p.
- de Alvarenga R.A.F., Prudêncio da Silva V., Soares S.R., 2012. Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. *J. Clean. Prod.*, 28, 25-32.
- Dourmad J.-Y., Jondreville C., 2007. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. *Livest. Sci.*, 112, 192-198.
- Eriksson I.S., Elmquist H., Stern S., Nybrant T., 2005. Environmental systems analysis of pig production – the impact of feed choice. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 10, 143-154.
- Garcia-Launay F., van der Werf H.M.G., Nguyen T.T.H., Le Tutour L., Dourmad J.-Y., 2014. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using Life Cycle Assessment. *Livest. Sci.*, 161, 158-175.
- Guinée J. B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., Oers L. V., Sleeswijk A. W., Suh S., de Haes H.A.U., 2002. Handbook on life cycle assessment: Operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, Leiden, The Netherlands.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Emissions from Livestock and Manure Management. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf (Accessed 15 September 2016)
- Monteiro A.N.T.R. 2014. Avaliação de programas nutricionais com redução do nível de proteína bruta e fósforo total da dieta para suínos nas fases de crescimento e terminação. Master Diss. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Nguyen T.L.T., Hermansen J.E., Mogensen L., 2010. Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU. *Ener.y Policy*, 38, 2561-2571.
- PAS2050. 2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emission of goods and services. British Standards Institute, London, UK.
- Prudêncio da Silva V., van der Werf H.M., Spies A., Soares S.R., 2010. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *J. Environ. Manage.*, 91, 1831-1839.
- Rigolot C., Espagnol S., Pomar C., Dourmad J.-Y., 2010a. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. *Animal*, 4, 1401-1412.
- Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Beline F., Paillat J.-M., Dourmad J.-Y., 2010b. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, 4, 1413-1424.
- Rostagno H.S., Albino L.F.T., Donzelle J.L., Gomes P.C., de Oliveira R.F., Lopes D.C., Ferreira A.S., Barreto S.L.D.T., Euclides R.F., 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. UFV Editions, Viçosa, MG. 252 p.
- van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.-Y., Sève B., Noblet J., 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 143, 387-405.
- Vautier B., Quiniou N., van Milgen J., Brossard L., 2013. Accounting for variability among individual pigs in deterministic growth models. *Animal*, 7, 1265-1273.
- Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Espagnol S., 2015. LCI results of feedstuffs for French livestock. *Proc. 66th Ann. Meet. Europ. Fed. Anim. Sci.*, Warsaw, Poland, p. 411.