

Influence de la réduction de l'apport en nutriments sur les performances et les impacts environnementaux de l'engraissement des porcs au Brésil

Alessandra N.T.R. MONTEIRO (1,2), Paulo Armando V. de OLIVEIRA (3), Teresinha M. BERTOL (3), Alexandre de M. KESSLER (1), Arlei COLDEBELLA (3), Jean-Yves DOURMAD (2)

(1) UFRGS, Faculdade de Agronomia, 91540-000 Porto Alegre, Brésil

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

(3) Embrapa Suínos e Aves, 89700-991 Concórdia, Brésil

a_monteiro@zootecnista.com.br

Influence de la réduction de l'apport en nutriments sur les performances et les impacts environnementaux de l'engraissement des porcs au Brésil

Une production porcine durable à faible émission de carbone vers l'atmosphère est l'une des priorités dans la plupart des pays producteurs de viande du porc. Au Brésil, les aliments fournis aux animaux sont riches en nutriments et la question de la réduction des apports reste posée. L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet de la diminution de l'apport de nutriments sur les performances et les impacts environnementaux. L'étude a concerné la phase d'engraissement des porcs : production des aliments, élevage des animaux, gestion des effluents. Quarante porcs, femelles et mâles castrés, ont été répartis en blocs aléatoires avec deux traitements et 10 répétitions. Les traitements correspondaient à deux stratégies alimentaires avec quatre phases d'alimentation. Dans la stratégie ST (standard) les aliments sont formulés selon les recommandations Brésiliennes. Dans la stratégie BN (bas en nutriments) les besoins sont ajustés en utilisant le modèle InraPorc®. Les données de performances et d'excrétion sont utilisées pour calculer par ACV les émissions de carbone et les potentiels d'eutrophisation et d'acidification, l'unité fonctionnelle retenue étant le kg de gain de poids vif (GPV). Les deux stratégies conduisent à des performances zootechniques similaires avec en moyenne un GMQ de 919 g/j et un IC de 2,68 g/g. De même, les qualités des carcasses et des viandes ne sont pas influencées par les traitements. L'empreinte carbone est réduite avec la stratégie BN par rapport à ST (2,57 vs 2,67 kg CO₂-eq./kg GPV). Des effets similaires sont observés pour l'acidification (57,2 vs 62,3 g SO₂-eq./kg GPV) et l'eutrophisation (17,2 vs 19,0 g PO₄-eq./kg GPV). Ces résultats indiquent que l'ajustement nutritionnel basé sur l'utilisation de modèles de prédiction est une alternative intéressante à la formulation standard au Brésil, qui permet d'atteindre les mêmes performances techniques et de qualité de viande, tout en améliorant les résultats économiques et réduisant les impacts environnementaux.

Influence of reduced nutrient supply on performance and environmental impacts of pig fattening in Brazil

Sustainable low-carbon pork production is a priority in most pig meat producing countries. In Brazil the feed supplied to the animals is rich in nutrients and their reduction remains questioned. The objective of this study was to evaluate the effect of reducing dietary nutrient content for fattening pigs on their performance and environmental impact. The study addressed the growing-finishing phase of pig production including feed production, animal housing and manure management. Forty gilts and 40 barrows were distributed in a randomized block design with two treatments and 10 replicates per treatment. The treatments consisted in two feeding strategies with in four feeding phases in each. In the standard (ST) strategy, feed was formulated with standard Brazilian recommendations. In the low nutrient (LN) strategy, requirements were adjusted by using the InraPorc® model. Performance and excretion data were used to calculate, through life cycle assessment (LCA), the carbon emissions and the potentials of acidification and eutrophication. The functional unit was the kg of body weight gain (BWG). Both feeding strategies led to similar growth performance, with ADG of 919 g/d and FCR of 2.68 kg/kg. Carcass and meat quality were also not affected by treatments. Carbon footprint was reduced in the LN strategy in comparison with ST (2.57 versus 2.67 kg CO₂-eq./kg BWG). Similar effects were observed for acidification (57.2 versus 62.3 g SO₂-eq./kg BWG) and eutrophication (17.2 versus 19.0 g PO₄-eq./kg BWG). Results suggest that nutritional adjustment based on prediction models is a valuable alternative to standard formulation in Brazil, which allows to improve economic results and to reduce environmental burdens without affecting technical performance.

INTRODUCTION

Une production porcine durable à faible émission de carbone vers l'atmosphère constitue une priorité dans la plupart des pays producteurs de viande du porc. Au Brésil les aliments fournis aux animaux sont riches en nutriments et la question de la réduction des apports reste posée. Plusieurs études ont révélé que l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs pourrait être améliorée par un meilleur ajustement des apports aux besoins, ce qui nécessite une connaissance précise de la biodisponibilité des nutriments et une définition correcte des besoins (Hauschild *et al.*, 2012).

Dans la pratique, l'approche utilisée pour estimer les besoins en nutriments des porcs repose souvent sur des méthodes empiriques et des recommandations moyennes. Dans ce contexte, la modélisation apparaît comme une alternative intéressante qui permet une détermination plus dynamique et plus adaptative des besoins nutritionnels (van Milgen *et al.*, 2008) comparativement aux recommandations standards. La détermination des besoins nutritionnels pour un génotype donné peut être ainsi mieux ajustée en utilisant des outils d'aide à la décision basés sur ces modèles, tels que le logiciel InraPorc®.

Cet ajustement est important pour réduire le coût alimentaire, l'excrétion des nutriments dans l'environnement et l'utilisation de ressources non renouvelables (Dourmad et Jondreville, 2007). Dans ce contexte, l'ajustement des apports de nutriments selon les besoins des animaux apparaît une étape essentielle pour le développement d'une production porcine plus durable. Cependant, dans l'industrie, les besoins nutritionnels ne sont souvent pas estimés par des modèles mathématiques, et des apports excédentaires par rapport aux besoins sont souvent pratiqués afin de maximiser les performances en garantissant qu'il n'y ait pas de porcs sous-alimentés. Par ailleurs, les paramètres de composition de la carcasse et la qualité de la viande sont des facteurs importants dans l'industrie porcine et la réduction de certains nutriments, tels que la matière azotée totale (MAT), est parfois suspectée d'augmenter le dépôt de matières grasses. Les régimes à faible teneur en MAT fournissent plus d'énergie nette, en raison de la réduction de la désamination des acides aminés, la réduction de l'excrétion d'urée et la baisse de production de chaleur (Noblet *et al.*, 2001).

L'objectif de ce travail était donc d'évaluer l'effet de la diminution de l'apport de nutriments sur les performances et les impacts environnementaux.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux, logement et gestion

L'expérience a été réalisée à la station expérimentale de l'EMBRAPA à Concórdia (Santa Catarina – Brésil). Quatre-vingts porcs croisés, 40 femelles et 40 mâles castrés, âgés de 68 jours en moyenne, avec un poids initial moyen de $24,5 \pm 1,79$ kg ont été utilisés. Les porcs ont été répartis en blocs aléatoires avec deux traitements et 10 répétitions de quatre animaux, logés selon le genre. L'unité expérimentale était la case (2,80 x 2,40 m). Les animaux étaient logés sur caillebotis partiel, dans une salle naturellement ventilée. L'alimentation *ad libitum* a été distribuée par un distributeur semi-automatique et l'eau été fourni par un abreuvoir à niveau constant.

L'expérience a été divisée en quatre phases sur la période de croissance-finition, avec un régime spécifique pour chaque

phase : phase 1 (de 25 à 50 kg PV), phase 2 (de 50 à 80 kg PV), phase 3 (de 80 à 105 kg PV) et phase 4 (de 105 à 130 kg PV). La période de croissance a été considérée de 25 à 80 kg PV (de 0 à 63 j) et la période de finition était de 80 à 130 kg PV (de 64 à 112 j).

1.2. Besoins nutritionnels et régimes alimentaires

Deux stratégies d'alimentation ont été évaluées (Tableau 1) : une stratégie standard (ST) avec des aliments formulés selon les recommandations nutritionnelles brésiliennes pour les porcs de "performances supérieures" (Rostagno *et al.*, 2011) et une stratégie à teneur plus basse en nutriments (BN) avec des aliments formulés selon les besoins nutritionnels estimés par le modèle InraPorc® (version 1.6.5.3, Institut National de Recherche Agronomique, Saint-Gilles, France), en utilisant les mêmes performances moyennes pour calibrer le profil animal. Dans les deux cas les aliments étaient formulés au moindre coût.

Les teneurs en MAT (azote x 6,25), en acides aminés digestibles standardisés (AA DIS) et en phosphore digestible ont été utilisées et la formulation des aliments réalisée pour obtenir une teneur identique en énergie métabolisable (EM) entre les traitements et pour chaque phase. De la phytase microbienne a été ajoutée aux régimes BN au cours des phases de finition pour réduire la teneur en phosphore (P), avec l'objectif de réduire les apports de P. Les ingrédients ont été analysés et leur composition a été ajoutée à la base de données d'alimentation InraPorc®, ainsi que dans le logiciel de formulation à moindre coût.

1.3. Performances animales

Les animaux ont été pesés à l'arrivée (jour 0), pendant l'engraissement (jours 43, 63 et 91) et à la fin de l'expérience (jour 112). L'aliment a été pesé et distribué selon l'appétit des animaux de la case, et les refus ont été pesés chaque jour pour mesurer la consommation. Les données de consommation et de poids vif ont été utilisées pour calculer la consommation moyenne journalière (CMJ), le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC).

À la fin de l'expérience, après 112 jours d'engraissement, les porcs ont été abattus. Les épaisseurs de gras et de muscle ont été mesurées et, à partir de ces données, la teneur en viande maigre (TVM) a été calculée.

La mesure du pH a été effectuée dans le muscle *Longissimus thoracis*, 45 min et 24 h après l'abattage, en utilisant un pH-mètre portable numérique. Vingt-quatre heures après l'abattage, la couleur été mesurée par le système CIELAB (coordonnées L*, a* et b*, Minolta Camera Ltda., Japon) sur des échantillons du muscle *Longissimus thoracis*. Un échantillon de ce même muscle, pesant entre 8 et 12 g, a été recueilli pour l'évaluation de la perte d'eau sur 48 heures.

1.4. Bilan des nutriments et l'analyse du cycle de vie

Le coût moyen de l'alimentation (R\$/kg de gain de poids vif, GPV) au cours de chaque phase a été calculé en multipliant l'IC par le coût de l'aliment (R\$/kg). Les excréments d'azote et de phosphore ont été estimées selon l'approche de bilan de masse proposée par Rigolot *et al.* (2010).

L'analyse du cycle de vie (ACV) jusqu'à la porte de la ferme a concerné la production des grains et leur séchage, la production et le transport des matières premières, la production de l'aliment, le transport des aliments vers la ferme,

l'engraissement des porcs et la gestion des effluents et leur épandage (Nguyen *et al.*, 2010 ; Garcia-Launay *et al.*, 2014). Nous avons calculé les impacts sur le changement climatique (CC, kg CO₂-eq.), l'eutrophisation (EU, g PO₄-eq.), l'acidification (AC, g SO₂-eq.), l'écotoxicité terrestre (ET, g 1.4-DCB-eq.), la demande cumulée d'énergie (DCE, MJ) et l'occupation des

surfaces (OS, m².an). Les valeurs de CC, EU, AC, ET et OS ont été calculées avec les méthodes de caractérisation CML 2001 « baseline » et « all categories » (version 3.02 du logiciel Simapro®), et DCE selon sa version 1.05 (Ecoinvent version 2.2). Pour le CC, les facteurs d'impact retenus sont ceux calculés à l'horizon de 100 années selon les références IPCC (2006).

Tableau 1 – Composition des aliments expérimentaux¹

	Phase 1 (25 - 50 kg)		Phase 2 (50 - 80 kg)		Phase 3 (80 - 105 kg)		Phase 4 (105 - 130 kg)	
	ST	BN	ST	BN	ST	BN	ST	BN
Matières premières, g/kg								
Mais	647,1	764,1	703,0	777,3	751,0	811,0	797,3	834,3
Soja	304,5	200,0	268,1	199,0	223,9	165,8	179,6	145,8
Huile de soja	21,3	6,30	4,90	2,62	1,94	1,88		
Phosphate	11,7	12,0	9,23	9,40	8,29	5,95	7,59	5,39
Carbonate	8,13	6,70	7,42	5,75	6,64	7,51	6,06	6,88
COV	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Sel	3,52	3,54	3,30	2,04	3,09	3,09	4,04	4,04
L-Lys HCl	0,93	3,10	1,31	1,36	1,83	1,58	2,11	1,03
DL-Met	0,35	0,43	0,31		0,40	0,24	0,30	
L-Thr		0,90	0,08		0,44	0,30	0,47	
L-Trp		0,27		0,01		0,05	0,03	
Phytase						0,10		0,10
Composition, g/kg								
EM (MJ/kg)	13,78	13,78	13,876	13,876	13,664	13,64	13,62	13,62
MAT	182,1	148,0	171,0	146,5	161,2	144,3	135,5	125,5
SID lysine	9,43	8,67	8,91	7,34	8,29	6,73	7,48	5,85
P total	5,78	5,46	4,87	4,90	4,82	4,39	4,56	3,86
P digestible	3,04	3,47	2,68	3,02	2,48	2,70	2,30	2,57

¹ST : les aliments sont formulés selon les recommandations Brésiliennes ; BN : les besoins sont ajustés en utilisant le modèle InraPorc®.

COV : complément oligo-vitaminique ; EM : énergie métabolisable ; MAT : matières azotées totales.

1.5. Calcul et analyses statistiques

Les calculs de l'ACV ont été effectués pour chaque unité expérimentale en fonction de sa performance individuelle et de son excréation. Ces calculs ont été effectués à l'aide d'un modèle développé avec le logiciel SAS (SAS v9.4, SAS Inst. Inc., Cary, NC). L'unité fonctionnelle considérée était un kg de GPV pendant la période d'engraissement.

Les performances, les caractéristiques des carcasses et des viandes, et les impacts environnementaux ont été soumis à une analyse de variance en utilisant la procédure GLM de SAS. Le modèle statistique comprenait les effets fixes du traitement, du genre et du bloc, ainsi que les interactions entre le traitement et le genre. Les différences ont été considérées significatives si $P < 0,05$.

Tableau 2 – Performances des porcs en croissance et en finition selon la stratégie d'alimentation¹

Critère	ST	BN	ETR ²	P-value
Poids initial, kg	24,7	24,4	0,594	0,330
Croissance (25 - 80 kg)				
CMJ, kg/j	2,11	2,11	0,092	0,899
GMQ, kg/j	0,881	0,877	0,043	0,819
IC, kg/kg	2,40	2,41	0,076	0,783
Finition (80 - 130 kg)				
CMQ, kg/j	3,06	2,88	0,182	0,050
GMJ, kg/j	1,01	0,972	0,049	0,153
IC, kg/kg	3,04	2,96	0,132	0,187
Total (25 - 130 kg)				
CMJ, kg/j	2,50	2,42	0,105	0,118
GMQ, kg/j	0,927	0,910	0,034	0,291
IC, kg/kg	2,70	2,66	0,083	0,318

¹ST : les aliments sont formulés selon les recommandations brésiliennes ; BN : les besoins sont ajustés en utilisant le modèle InraPorc®.

²ETR, écart-type résiduel ; Le modèle comprenait les effets du traitement, du genre, du bloc et l'interaction traitement x genre. La valeur de P est celle de l'effet traitement.

CMJ : consommation moyenne journalière ; GMQ : gain moyen quotidien ; IC : indice de consommation.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Il n'y avait aucun effet des traitements sur les performances ($P > 0,10$; Tableau 2), à l'exception du GMQ qui était de 5,0% inférieur chez les porcs nourris avec l'aliment BN pendant la

période de finition ($P = 0,05$), alors qu'aucune différence significative n'était observée pendant la période de croissance ou sur toute la période expérimentale.

Cela semble indiquer que les recommandations moyennes en MAT et SID AA des tables brésiliennes surestiment les besoins

réels des porcs dans nos conditions expérimentales. Ces résultats sont en accord avec les nombreux résultats de la bibliographie rapportés dans la synthèse de Dourmad et Jondreville (2007), indiquant qu'il est possible de réduire la teneur en MAT des aliments sans affecter les performances zootechniques, dès lors que les besoins en AA DIS sont couverts.

D'autres auteurs ont également observé que les besoins nutritionnels des porcs au Brésil sont inférieurs à ceux proposés par Rostagno *et al.* (2011), comme par exemple pour les besoins en tryptophane et en lysine digestibles chez des porcelets mâles castrés entre 15 à 30 kg (Pasquetti *et al.*, 2015) ou pour la méthionine et la cystéine pour les femelles entre 75 à 100 kg (Sangali *et al.*, 2017). Ceci est vraisemblablement lié à l'utilisation de marges de sécurité lors de la définition des recommandations moyennes au niveau national, ce qui se comprend compte tenu de la grande variabilité des conditions de production au Brésil.

Tableau 3 – Effet de la stratégie d'alimentation sur les caractéristiques des carcasses et des viandes¹

Critère	ST	BN	ETR ²	P-value
RMA, %	73,9	74,0	1,19	0,86
TVM, %	51,0	51,1	3,43	0,87
L*	46,0	46,3	2,31	0,65
a*	3,63	3,76	1,03	0,67
b*	4,43	4,56	1,05	0,68
pH 45 min	6,39	6,32	0,177	0,21
pH 24h	5,60	5,59	0,108	0,69
Perte d'eau, %	5,84	6,20	2,61	0,63

¹ST : les aliments sont formulés selon les recommandations Brésiliennes; BN : les besoins sont ajustés en utilisant le modèle InraPorc®.

²ETR, écart-type résiduel; voir note de bas de Tableau 2.

RMA : rendement moyen d'abattage ; TVM : teneur en viande maigre ; L*, a* et b* : couleur par le système CIELAB, où l'axe L* est la clarté (qui va de 0 – noir, à 100 – blanc), l'axe a* représente une extrémité vert (-300) et autre rouge (+299), et l'axe b* représente une extrémité bleu (-300) et autre jaune (+299).

Par ailleurs, ces recommandations sont plus élevées que celles du National Research Council (NRC, 2012), comme cela est indiqué dans la figure 1, où sont comparés les apports en nutriments dans cette étude avec ceux recommandés dans les tables brésiliennes (Rostagno *et al.*, 2011) et par le NRC (2012).

Pour le traitement ST, bien que les régimes aient été formulés avec des recommandations brésiliennes, les porcs ont consommé un peu moins d'énergie et de nutriments que prévu (93 à 95% des recommandations pour EM, P digestible, MAT et lysine DIS). Pour tous les nutriments, l'apport quotidien dans la stratégie ST était plus élevé que ce qui était recommandé par le NRC (2012), entre 115 et 141% selon les nutriments (EM, P digestible, MAT et SID lysine). En ce qui concerne la stratégie BN, les apports sont proches des recommandations du NRC pour l'énergie et les acides aminés. Pour le phosphore total et la MAT, les apports restent plus élevés, ce qui semble indiquer des possibilités de les réduire encore.

Les caractéristiques des carcasses et de qualité de la viande n'ont pas non plus été affectées par les stratégies d'alimentation ($P > 0,10$; Tableau 3). Ces résultats indiquent que la réduction des teneurs en nutriments, telle qu'elle a été conduite dans cette étude, n'est pas problématique pour la qualité des carcasses ni pour la qualité des viandes

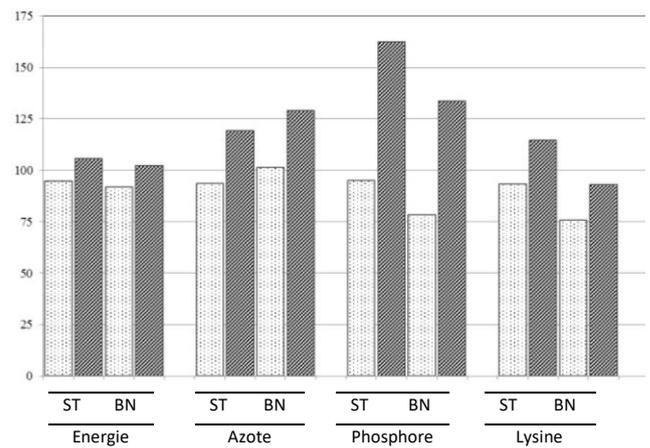


Figure 1 – Consommation moyenne (%) en nutriments et énergie métabolisable selon la stratégie d'alimentation (ST, stratégie standard; BN, stratégie à teneur basse en nutriments) en comparaison des recommandations Brésiliennes (pointillés) et de celles du NRC (hachuré).

Le coût moyen de l'alimentation par kg de GPV était de 6,8% inférieur pour la stratégie BN par rapport à la stratégie ST ($P < 0,001$; Tableau 4). Ce résultat était attendu puisque les régimes BN contenaient moins de tourteau de soja, plus coûteux que le maïs. Pomar *et al.* (2014) et Garcia-Launay *et al.* (2014) observaient également une réduction du coût des aliments lorsque les porcs étaient nourris avec des régimes à faible teneur en MAT.

Tableau 4 – Coût par kg de gain de poids vif (GPV) et bilan d'azote et de phosphore des porcs en croissance-finition selon la stratégie d'alimentation¹

Critère	ST	BN	ETR ²	P-value
Coût \$/kg GPV	1,76	1,64	0,053	<0,001
Azote, kg				
Ingéré	7,48	6,30	0,282	<0,001
Excrété	4,74	3,60	0,223	<0,001
Phosphore, kg				
Ingéré	1,38	1,25	0,054	<0,001
Excrété	0,819	0,697	0,043	0,001

¹ST : aliments formulés selon les recommandations Brésiliennes; BN : besoins ajustés en utilisant le modèle InraPorc® ;

²ETR, écart-type résiduel; voir note de bas de Tableau 2.

Les bilans d'azote et de P sont présentés dans le Tableau 4. L'ingestion d'azote était de 16% plus élevée pour la stratégie ST par rapport à la stratégie BN ($P < 0,001$). Cela est lié à la réduction de la teneur en MAT des régimes BN, du fait d'un meilleur ajustement aux besoins. Au final la réduction de l'apport de MAT avec la stratégie l'alimentation BN s'accompagne d'une réduction significative de l'excrétion d'azote de 24% par rapport à la stratégie ST ($P < 0,001$).

Pour le P, l'ingestion est plus faible pour les animaux nourris avec le traitement BN ($P < 0,001$). Ceci est lié à la réduction de la teneur en P total des aliments BN qui résulte surtout de la supplémentation en phytase des régimes de finition. Bien que la phytase n'ait pas été ajoutée aux régimes de croissance, sa supplémentation pendant la finition a été suffisante pour réduire l'apport de P pendant toute la période, car c'est la phase où les porcs consomment la plus grande quantité d'aliment. Ce résultat est en accord avec les résultats rapportés dans différentes études antérieures (Cromwell *et al.*, 1993; Harper *et al.*, 1997; Ludke *et al.*, 2002).

Au final, la réduction de l'apport de P avec la stratégie l'alimentation BN s'accompagne d'une réduction significative de l'excrétion de P de 24% par rapport à la stratégie ST ($P = 0,001$).

Tableau 5 – Effet de la stratégie d'alimentation sur les impacts changement climatique (CC), acidification (AC), eutrophisation (EU), demande cumulée en énergie (DCE), écotoxicité terrestre (ET) et occupation des surfaces (OS). Les impacts sont exprimés par kg de gain de poids vif pendant l'engraissement.

Impact	ST	BN	ETR ²	P-value
CC, kg CO ₂	2,67	2,57	0,079	0,021
AC, g SO ₂	62,3	57,2	2,39	0,001
EU, g PO ₄	19,0	17,2	0,690	<0,001
DCE, MJ	13,3	13,4	0,342	0,876
ET, g DCB	17,4	16,7	0,548	0,013
OS, m ² .an	2,73	2,49	0,083	<0,001

¹ST : aliments formulés selon les recommandations Brésiliennes;

BN : besoins ajustés en utilisant le modèle InraPorc®.

²ETR, écart-type résiduel; voir note de bas de Tableau 2.

L'impact du CC a été réduit de 4% dans la stratégie BN par rapport à la stratégie ST ($P = 0,02$; Tableau 4). Garcia-Launay *et al.* (2014) ont évalué l'effet de l'alimentation sur l'impact environnemental de la production porcine en France. De la même manière que dans notre étude, ces auteurs ont constaté que la réduction de la teneur en MAT, soit par un meilleur ajustement des apports aux besoins des animaux, soit par l'accroissement de l'incorporation des AA industriels, réduisait l'impact CC d'environ 3% pour chaque unité de pourcentage de réduction de la teneur en MAT. L'effet de la réduction de la teneur en MAT sur les émissions de carbone résulte principalement de la réduction de l'incorporation du tourteau de soja, qui a un impact plus élevé par rapport au maïs. Comme nous avons fait l'hypothèse que le soja était produit dans le sud du Brésil, sans déforestation et, par conséquent, avec un faible impact de CC (Prudêncio da Silva *et al.*, 2010), il est probable que la différence entre les traitements soit beaucoup plus prononcée avec le soja issu de régions sujettes à la déforestation, comme l'ont montré Monteiro *et al.* (2016) pour la production porcine au Brésil et en France.

L'acidification et le potentiel de l'eutrophisation ont été réduits d'environ 8% et 10%, respectivement, lorsque les porcs ont reçu les régimes BN au lieu des régimes ST ($P < 0,05$). Ceci résulte principalement d'une réduction de l'excrétion d'azote et de P (Tableau 3). En effet, l'azote et le P contribuent tous les deux à l'EU et l'azote contribue à l'AC par les émissions d'ammoniac (Guinée *et al.*, 2002). La réduction de l'excrétion d'azote s'accompagne d'une diminution des émissions gazeuses de NH₃ provenant du logement des animaux, et du stockage et de l'épandage des effluents. De même, Garcia-Launay *et al.* (2014) ont montré que la réduction de la teneur en MAT suite à l'augmentation de l'incorporation d'AA réduit les impacts sur l'AC et l'EU d'environ 31 et 20%, respectivement. Dans notre essai, l'impact EU a été réduit de 9% pour la stratégie BN par rapport à la stratégie ST. Cette réduction résulte principalement de la diminution de l'excrétion azotée et dans une moindre mesure de l'addition de phytase dans les régimes de finition. Kebreab *et al.* (2016) ont constaté que l'incorporation de phytase au lieu de la supplémentation en phosphate inorganique pourrait potentiellement réduire l'EU de 3%, en moyenne, dans des unités de production porcine en Europe, Amérique du Nord et Amérique du Sud.

L'impact sur la DCE n'a pas été affecté par les traitements ($P = 0,88$). Avec 70 à 100% du total, la production des aliments constitue de loin le poste le plus important pour l'impact DCE (Garcia-Launay *et al.*, 2014). Dans notre étude, les principales matières premières, le soja et le maïs, sont produites localement, ce qui explique en grande partie cette absence de différence, l'impact du transport étant très limité. Garcia-Launay *et al.* (2014) et Monteiro *et al.* (2016) observaient une réduction de la DEC lorsque la teneur en protéine était réduite mais seulement lorsque le soja provenait du Centre-Ouest avec une distance importante de transport par camion. A l'inverse, lorsque le soja provient du sud et que l'élevage porcin est aussi localisé dans le sud, comme dans notre étude, la supplémentation en AA tendait même plutôt à accroître l'impact DCE (Monteiro *et al.*, 2016).

Ogino *et al.* (2013) ont évalué l'impact environnemental de la production porcine au Japon. Ils ont également constaté que la réduction de la teneur en MAT par l'addition d'AA n'était pas très efficace pour réduire la consommation d'énergie. Selon ces auteurs la réduction de la teneur en MAT réduisait les émissions de N₂O, ce qui expliquait l'effet sur l'impact CC, alors que la consommation d'énergie était peu affectée, avec une réduction de 3% pour le régime à faible teneur en MAT, contre 1% dans notre étude.

L'impact ET a été réduit de 4% avec le traitement BN ($P < 0,05$). Ce résultat est associé à l'impact ET plus faible pour le maïs que pour le tourteau de soja et à sa plus forte incorporation dans les régimes BN. Garcia-Launay *et al.* (2014) ont rapporté que les formulations avec incorporation d'AA sans valeur minimale pour la teneur en MAT permettent de réduire l'impact ET d'environ 13% par rapport aux formulations sans ajout d'AA. Par contre, dans leur étude, le blé et le maïs étaient les principales céréales incorporées dans cette stratégie et les écarts de teneur en MAT des régimes étaient plus élevés.

Comme dans notre étude, Monteiro *et al.* (2016) ont montré que la réduction de l'apport en nutriments, associée dans leur étude à l'alimentation de précision, réduit l'impact ET dans tous les scénarios de formulation d'aliments, indépendamment de la source de protéines et de l'origine du soja.

L'impact sur l'occupation des surfaces (OS) a été réduit d'environ 9% avec la stratégie BN par rapport ST ($P < 0,01$). La réduction de l'OS est le résultat d'une diminution de l'inclusion du soja et d'une augmentation de l'inclusion du maïs dans les régimes BN. Prudêncio da Silva *et al.* (2014) ont rapporté que dans les conditions brésiliennes le tourteau de soja a un impact OS deux fois plus élevé que le maïs. Comme dans notre étude, Garcia-Launay *et al.* (2014) ont observé que la réduction de l'inclusion du tourteau de soja associée à celle d'AA dans les aliments a diminué l'impact OS d'environ 3%. De même, Monteiro *et al.* (2016) montrent que la réduction de l'apport en nutriments et l'accroissement de l'incorporation d'AA s'accompagnent d'une réduction de l'impact OS, indépendamment de l'origine du soja et du contexte de production (Monteiro *et al.*, 2016). Cela suggère que l'incorporation d'AA entraîne une réduction modérée de l'occupation des surfaces.

CONCLUSION

Les résultats de cet essai démontrent que l'ajustement des apports nutritionnels au moyen de modèles mathématiques au

lieu du recours (courant au Brésil) à une recommandation moyenne standard, conduit à des stratégies plus efficaces pour améliorer la durabilité économique et environnementale de la production porcine. Ceci est maintenant possible grâce des outils d'aide à la décision tels qu'InraPorc® et le NRC (2012).

Cependant, cela nécessite, pour être mis en œuvre avec succès, une caractérisation précise des profils des animaux, en termes de consommation d'aliment et de potentiel de croissance, sur la base de mesures dans des conditions pratiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cromwell G.L., Stahly T.S., Coffey R.D., Monegue H.J., Randolph J.H., 1993. Efficacy of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn-soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci.*, 71, 1831-1840.
- 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.
- 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., Koning A., Oers L.V., Sleswijk 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, 658 p.
- Harper A.F., Kornegay E.T., Schell T.C., 1997. Phytase supplementation of low-phosphorus growing-finishing pig diets improves performance, phosphorus digestibility, and bone mineralization and reduces phosphorus excretion. *J. Anim. Sci.*, 75, 3174-3186.
- Hauschild L., Lovatto P.A., Pomar J., Pomar C., 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 2255-2263.
- 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 (Accédé le 15 Septembre 2016).
- Kebreab E., Liedke A., Caro D., Deimling S., Binder M., Finkbeiner M., 2016. Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: A life cycle assessment. *J. Anim. Sci.*, 94, 2664-2681.
- Ludke M.C.M.M., López J., Ludke J.V., Nicolaiewsky S., 2002. Utilização da fitase em dietas com ou sem farelo de arroz desengordurado para suínos em crescimento/terminação. *R. Bras. Zootec.*, 31, 2002-2010.
- 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.
- Nguyen T.L.T., Hermansen J.E., Mogensen L., 2010. Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU. *Energ. Policy*, 38, 2561-2571.
- Noblet J., Le Bellego L., van Milgen J., Dubois S., 2001. Effects of reduced dietary protein level and fat addition on heat production and nitrogen and energy balance in growing pigs. *Anim. Res.*, 50, 227-238.
- NRC, 2012. Nutrients requirements of swine. The National Academies Press. Washington, 420 p.
- Ogino A., Osada T., Takada R., Takagi T., Tsujimoto S., Tonoue T., Matsui D., Katsumata M., Yamashita T., Tanaka Y., 2013. Life cycle assessment of Japanese pig farming using low-protein diet supplemented with amino acids. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 59, 107-118.
- Pasquetti T.J., Pozza P.C., Moreira I., Santos T.C., Diaz-Huepa L.M., Castilha L.D., Perondi D., Carvalho P.L.O., Kim S.W., 2015. Simultaneous determination of standardized ileal digestible tryptophan and lysine for barrows from 15 to 30kg live weight. *Livest. Sci.*, 181, 114-120.
- Pomar C., Pomar J., Dubeau F., Joannopoulos E., Dussault J.P., 2014. The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing-finishing pigs. *Animal*, 8, 704-713.
- 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.
- Prudêncio da Silva V., van der Werf H.M., Soares S.R., Corson M.S., 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. *J. Environ. Manage.*, 133, 222-231.
- Rigolot C., Espagnol S., Pomar C., Dourmad J.-Y., 2010. 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.
- Rostagno H.S., Albino L.F.T., Donzele J.L., Gomes P.C., de Oliveira R.F., Lopes D.C., Ferreira A.S., Barreto S.L. de T., Euclides R.F., 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3th edition, Viçosa, 252 p.
- Sangali C.P., Gasparino E., Vasconcellos R.S., Fachinello M., Monteiro A.N.T.R., Esteves L.A.C., Bonagurio L.P., Pozza P.C., 2017. Methionine + cystine levels and vitamin B6 supplementation on performance and enzyme expression of methionine metabolism of gilts from 75 to 100 kg. *R. Bras. Zootec.*, 46, 223-230.
- 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.