

La combinaison d'une multi-carbohydrolase et d'une phytase améliore les performances des porcs en croissance-finition en relation avec leurs niveaux nutritionnels

Pierre COZANNET (1), Thomas DUMONT (2), Marcio CECCANTINI (2), Maamer JLALI (1), Aurélie PRENAT (1)

(1) ADISSEO France SAS, 2 Rue Marcel Lingot, 03600 Commentry, France

(2) ADISSEO France SAS, 10 Place du Général de Gaulle, 92160 Antony, France

Pierre.Cozannet@adisseo.com

La combinaison d'une multi-carbohydrolase et d'une phytase améliore les performances de porcs en relation avec le niveau nutritionnel

Huit essais ont été mis en place afin d'évaluer l'impact de différents niveaux de nutriments (i.e. énergie nette (EN), acides aminés digestibles (Lys_{dig}), phosphore digestible (P_{dig}) et calcium (Ca) total) et de la supplémentation d'une combinaison enzymatique (multi-carbohydrolase/phytase) sur la croissance de porcs (25-110 kg). Ces essais avaient pour objectif d'établir la quantité de nutriments libérée par la combinaison d'enzyme. Les mesures ont été réalisées sur un total de 481 loges réparties dans 6 stations (avec 5 à 10 porcs par case). Les essais ont été conduits selon un dispositif similaire : un régime standard identique à tous les essais et un ou deux régimes moins denses en EN, Lys_{dig} et en P_{dig}/Ca total avec ou sans une combinaison xylanase, β -glucanase, α -L-arabinofuranosidase / phytase (Rovabio Advance phy ; 1800 unités xylanase, 1244 unités glucanase et 1000 FTU phytase /kg d'aliment). Les valeurs nutritionnelles du contrôle positif et des minima testés sont les suivantes : 2475 – 2351 kcal EN/kg, 0,79 – 0,75 % Lys_{dig} et 0,26/0,55 – 0,13/0,27 % de rapport P_{dig}/Ca total. Les résultats de croissance, d'ingestion et d'efficacité alimentaire ont été soumis à une analyse de variance en considérant les impacts du centre expérimental, des régimes et de l'enzyme comme des effets fixes et EN, Lys_{dig} et P_{dig} comme des variables quantitatives. Les résultats montrent un effet centre important ($P < 0.001$). Le coefficient de variabilité des données d'ingestion et de croissance et de l'efficacité sont de 11, 11 et 9%, respectivement. L'incorporation de l'enzyme conduit à une amélioration moyenne de plus de 2% du gain de poids et de l'efficacité alimentaire (respectivement 2,29 et 2,26 %, $P < 0,001$) qui dépend de la réduction en nutriments appliquée ($P < 0,001$). L'amélioration de l'efficacité alimentaire des porcs varie de 1,1 à 4,2 % avec la supplémentation enzymatique. La libération des nutriments par l'enzyme a été estimée à 80 kcal d'EN/kg, 0,04 % point de lys digestible et 0,15 % point P_{dig} .

Combining multi-carbohydrolase and phytase improves performance of growing pigs in connection with nutritional levels

Eight trials were designed to estimate impacts of different nutrient levels (i.e. net energy (NE), amino acids, digestible (Lys_{dig}) phosphorus (P_{dig}) and calcium (Ca) and a multi-carbohydrolase/phytase combination on pig growth (25-110 kg). Based on these trials, the amount of nutrient released by enzyme was estimated. Pigs in 481 pens from 6 facilities were measured (5 to 10 pigs per pen). Trials were conducted according to a similar design: a positive control diet that was identical for all trials and one or two diets deficient in net energy, digestible amino acids or digestible phosphorus/calcium, with and without a xylanase, β -glucanase, and α -L-arabinofuranosidase/phytase combination (Rovabio Advance Phy ; 1800 xylanase units, 1244 glucanase units and 1000 FTU phytase/kg of feed). Nutritional levels of the positive control and the minima tested were as follows: 2475–2351 kcal NE/kg, 0.79–0.75% Lys_{dig} and 0.26/0.55–0.13/0.27% P_{dig}/Ca . Growth, intake and efficiency were subjected to variance and regression analysis considering the experimental facility, diet and enzyme as fixed effects and NE, Lys_{dig} and digestible P as quantitative variables. Results suggested an effect of the experimental facility: 11% for ingestion and growth and 9% for efficiency ($P < 0.001$). Enzyme supplementation improved body weight gain and efficiency by more than 2% (2.29% and 2.26%, respectively, $P < 0.001$). This improvement was closely related to the reformulation applied ($P < 0.001$). The improvement in feed efficiency of pigs fed the diet supplemented with the enzyme ranged from 1.1–4.2%. Nutrients released by the enzyme were estimated at 80 kcal NE/kg, 0.04 % points of digestible lys units and 0.15 percentage points of P_{dig} .

INTRODUCTION

Les régimes à base de blé et de maïs sont courants en alimentation porcine (Sauber et Owens, 2001). Cependant, la présence dans ces matières premières de facteurs anti-nutritionnels (polysaccharide non amylacés, PNA et phytate) rend leur utilisation non optimale dans la mesure où l'animal ne possède pas l'équipement enzymatique nécessaire pour dégrader ces composants (Shaw *et al.*, 2006). Il en résulte un emploi accru de phosphore minéral et de matières premières riches en énergie et en acides aminés en guise de compensation, ce qui entraîne une perte d'efficacité, des surcoûts et des pollutions phosphorée et azotée. Ces observations encouragent le développement d'enzymes dédiées à la dégradation de ces facteurs antinutritionnels : la phytase pour aider à dégrader le phytate et les multi-carbohydrolases pour aider à dégrader les PNA (Woyengo *et al.*, 2008). L'objectif de l'essai est de quantifier l'effet de ces deux types d'enzymes et de différents niveaux d'énergie, d'acide aminés et de phosphore digestible sur les performances des porcs en croissance et finition alimentés avec des aliments présentant différents niveaux d'énergie nette, d'acides aminés digestibles et de minéraux (calcium total et phosphore digestible).

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Huit essais ont été mis en place dans différents centres expérimentaux. Ces essais ont été conduits selon des dispositifs factoriels similaires. Le nombre de traitements varie de trois à cinq par essai comme décrit dans le tableau 1. Les traitements ont consisté en : 1/ témoin positif (TP), formulé pour couvrir les besoins en nutriments des animaux selon le NRC (2012), commun à tous les essais et formulé pour satisfaire les besoins des animaux, 2/ plusieurs témoins négatifs (TN) à teneur réduite en énergie nette (EN), lysine digestible (Lys_{dig}), phosphore digestible (P_{dig}) et calcium total (Ca). Les teneurs en EN, Lys_{dig} et P_{dig} des différents traitements varient, respectivement, de 10,35 à 9,62 MJ/kg, de 0,79 à 0,74% et de 0,26 à 0,13% (Tableau 1). Le profil en acides aminés digestibles a été ajusté relativement à la lysine. Deux phases alimentaires ont été distinguées durant les essais. Une phase croissance (25-50kg) et une phase finition (50-100kg) ont été produites. L'hypothèse a été faite que l'amélioration de la teneur en Lys_{dig} peut être appliquée à l'ensemble des acides aminés. Les lots TN1 ou TN2 ont été non supplémentés (TN1- ou TN2-) ou supplémentés (TN1+ TN2+) avec un mélange d'enzymes contenant des activités xylanase, β -glucanase, α -L-arabinofuranosidase et phytase (Rovabio Advance phy ; Adisseo France SAS, Antony, France). La dose commerciale de 200 ml/tonne d'aliment apporte 1800 unités de xylanase, 1244 unités de glucanase et 1000 unités phytasiques par kilogramme d'aliment. Une unité viscométrique d'activité endo-1,4- β -xylanase est définie comme la quantité d'enzyme nécessaire pour réduire la viscosité du mélange d'une unité par minute et par millilitre (ou par gramme) dans les conditions du test (pH = 5,5 à 30°C). Une unité glucanase d'activité endo-1,3(4)- β -glucanase est définie comme la quantité d'enzyme permettant la libération d'oligomères solubles dans l'éthanol et donnant une absorbance de 0,820 unité à la longueur d'onde de 590 nm dans les conditions de l'essai (20 min à pH = 4,6 et 30°C). Une unité phytase est définie comme la quantité d'enzyme

permettant de libérer une micromole d'orthophosphate minéral par minute à pH de 5,5 à 37°C. Les essais ont été réalisés sur des porcs mâles castrés et femelles de la génétique disponible dans le centre. Dans chaque loge, les porcs sont groupés par poids équivalents et de même sexe, et repartis sur la base de leur poids vif et de leur sexe entre les différents traitements expérimentaux. Les groupes de poids et de sexe sont repartis en bloc dans la salle. Les animaux sont nourris *ad-libitum*.

Le poids individuel et la consommation par case ont été enregistrés à chaque changement de phase alimentaire (i.e. croissance et finition), et jusqu'à l'atteinte du poids d'abattage (115-130 kg). La consommation moyenne journalière (CMJ) et le gain moyen quotidien (GMQ) ont également été mesurés sur ces différentes phases. L'indice de consommation (IC) par loge a été mesuré comme étant le ratio entre CMJ et GMQ. En cas de mortalité dans une case le poids du mort et le poids de l'aliment sont mesurés pour pouvoir corriger la CMJ et le GMQ moyen de la case.

Tableau 1 – Spécification des régimes¹

N°	Régimes			Enz ²	n loge	
	Diet	EN, MJ/kg	Lys_{dig} , %			P_{dig} , %
1	TP	10,35	0,79	0,26	0	70
	TN1	9,83	0,77	0,13	0/1	
	TN2	10,04	0,75	0,13	0/1	
2	TP	10,35	0,79	0,26	0	45
	TN1	10,04	0,77	0,13	0/1	
	TN2	9,83	0,75	0,13	0/1	
3	TP	10,35	0,79	0,26	0	54
	TN1	9,83	0,75	0,18	0/1	
4	TP	10,35	0,79	0,26	0/1	72
	TN1	10,04	0,77	0,18	0/1	
5	TN2	9,83	0,75	0,18	0/1	80
	TP	10,35	0,79	0,26	0	
	TN1	9,62	0,77	0,18	0/1	
6	TN2	9,62	0,77	0,13	0/1	45
	TP	10,35	0,79	0,26	0	
	TN1	9,62	0,74	0,18	0/1	
7	TN2	9,62	0,74	0,13	0/1	45
	TP	10,35	0,74	0,26	0	
	TN1	10,04	0,74	0,18	0/1	
8	TN2	10,04	0,74	0,13	0/1	70
	TP	10,35	0,79	0,26	0	
	TN1	9,62	0,75	0,13	0/1	
	TN2	9,83	0,74	0,13	0/1	

¹les régimes sont principalement composés de maïs, blé et tourteau de soja. Les régimes sont formulés pour être iso substrat. Les teneurs en énergie nette (EN), lysine digestible (Lys_{dig}) et phosphore digestible (P_{dig}) correspondent aux moyennes des teneurs des différentes phases.

²supplémentations enzyme : sans enzyme 0 ; avec enzyme 1.

1.2. Composition des régimes

Les régimes ont été formulés en prenant en compte les lots de matières premières disponibles dans tous les centres. Les régimes ont été réalisés à partir de blé, maïs et tourteau de soja majoritairement. Dans l'ensemble des essais, l'aliment TP a été formulé. Les témoins négatifs ont été ensuite répartis en fonction des possibilités expérimentales des différents centres. Les régimes testés sont décrits dans le Tableau1 pour leur teneur en EN, Lys_{dig} et P_{dig} . Une attention particulière est accordée à maintenir les teneurs en substrat (arabinoxylanes et phytate) les plus proches possible entre les régimes. Les teneurs

en substrat dans ces essais sont en moyenne de 1,28 ; 6,72 et 0,29% pour les arabinoxylyanes solubles, insolubles et l'acide phytique, respectivement. Les différents niveaux de nutriments ont été établis afin de réduire les covariances entre ces paramètres. En d'autres termes, la teneur en EN des régimes varie indépendamment de la teneur en Lys_{dig} et du P_{dig}. la corrélation entre teneurs en nutriments est par conséquent non significative.

1.3. Analyses statistiques et corrélation

Les données ont été analysées à l'aide de la procédure GLM de SAS (version 9.3, SAS Inst. Inc, Cary, North Carolina). L'individu statistique est la loge pour tous les essais. L'effet essai (n = 8) a été inclus dans le modèle en tant qu'effet aléatoire. La loge (n = 192) est considérée comme l'unité expérimentale pour les performances. Le modèle utilisé inclut l'effet du bloc intra centre (n = 8), du sexe (n = 2) et du traitement (n = 7). Les interactions d'ordre 2 entre les différents paramètres ont également été testé, non significatif, elles ne seront pas considérées par la suite. Une procédure de régression linéaire multiple incluant les teneurs en EN, Lysdig et Pdig a été utilisée pour la prédiction de la CMJ, du GMQ et de l'IC.

L'effet de l'enzyme est calculé grâce à la procédure NLIN de SAS. L'effet de l'enzyme est pris en compte au travers d'une augmentation de l'EN, de la teneur en Lys_{dig} et de la teneur en P_{dig}. Quatre équations ont été soumises et résolues simultanément pour le GMQ et l'IC :

$$\text{GMQ} = (\text{enz}=0) * (\text{centre} + a + (b * \text{CMJ} * \text{EN}) + (c * \text{CMJ} * \text{Lysdig}) + (d * \text{CMJ} * \text{Pdig}))$$

$$\text{GMQ} = (\text{enz}=1) * (\text{centre} + a + (b * \text{CMJ} * (\text{EN} + x)) + (c * \text{CMJ} * (\text{Lysdig} + y)) + (d * \text{CMJ} * (\text{Pdig} + z)))$$

$$\text{IC} = (\text{enz}=0) * (\text{centre} + e + (f * \text{EN}) + (g * \text{Lysdig}) + (h * \text{Pdig}) + (i * \text{Pdig} * \text{Lysdig}) + (j * \text{Pdig} * \text{EN}))$$

$$\text{IC} = (\text{enz}=1) * (\text{centre} + e + (f * (\text{EN} + x)) + (g * (\text{Lysdig} + y)) + (h * (\text{Pdig} + z)) + (i * (\text{Pdig} + z) * (\text{Lysdig} + y)) + (j * (\text{Pdig} + z) * (\text{EN} + x)))$$

Les équations incluant le facteur enz=0 et enz=1 correspondent aux équations pour les témoins et les régimes supplémentés, respectivement. Le facteur centre correspond à l'effet centre variant selon 8 modalités. Les lettres de « a » à « j » sont les paramètres du modèle. Les facteurs « x », « y » et « z » correspondent à l'EN, la Lys_{dig} et le P_{dig} libéré par l'enzyme.

Tableau 2 – Performances moyennes obtenues sur l'ensemble de la période d'élevage selon l'essai et le régime

Essai	Régime	Témoin					Enzyme					Variation, %		
		Poids vif		GMQ, g/j	CMJ, g/j	IC	Poids		GMQ, g/j	CMJ, g/j	IC	GMQ	CMJ	IC
		Initial	Final				Initial	Final						
1	TP	30	120	818	2076	2,54								
	TN1	29	115	782	2085	2,67	30	119	809	2119	2,62	3,42	1,64	-1,86
	TN2	30	115	781	2077	2,66	30	119	814	2096	2,57	4,20	0,93	-3,09
2	TP	34	124	953	2556	2,69								
	TN1	34	123	953	2646	2,77	34	123	953	2476	2,60	-0,02	-6,43	-6,33
	TN2	34	118	899	2516	2,80	34	123	947	2521	2,66	5,34	0,17	-4,86
3	TP	26	116	1141	2749	2,41								
	TN1	26	111	1086	2683	2,47	26	113	1105	2711	2,46	1,80	1,05	-0,67
4	TP	25	125	857	2551	2,98	25	127	882	2552	2,89	2,85	0,02	-2,76
	TN1	25	125	864	2619	3,03	25	129	884	2690	3,04	2,35	2,74	0,39
	TN2	25	124	852	2621	3,08	25	125	856	2628	3,07	0,51	0,29	-0,25
5	TP	26	125	859	2177	2,53								
	TN1	26	123	834	2148	2,58	27	124	844	2156	2,55	1,21	0,36	-0,96
	TN2	26	124	824	2175	2,64	26	125	836	2172	2,60	1,52	-0,13	-1,69
6	TP	29	120	964	2810	2,91								
	TN1	29	114	901	2831	3,14	29	116	919	2869	3,12	2,06	1,35	-0,65
	TN2	29	112	877	2862	3,26	29	115	910	2825	3,10	3,70	-1,31	-4,85
7	TP	25	132	850	2535	2,98								
	TN1	25	129	824	2534	3,08	25	127	806	2480	3,08	-2,19	-2,13	0,07
	TN2	25	125	794	2463	3,10	25	130	831	2514	3,03	4,63	2,08	-2,44
8	TP	27	127	910	2161	2,37								
	TN1	27	120	854	2181	2,55	27	124	888	2180	2,45	4,03	-0,06	-3,97
	TN2	27	122	870	2192	2,52	27	124	885	2172	2,45	1,7 ?	-0,9 ?	-2,58

¹ données moyennes mesurées au cours des essais. Valeurs en gras correspondent aux variations minimums et maximums

Tableau 3 – Effet des enzymes sur les performances des porcs en fonction de la teneur en phosphore digestible (P_{dig}), énergie nette (EN) et lysine digestible (Lys_{dig})¹

Spécification des régimes	Cas N°1		Cas N°2		Cas N°3		Cas N°4	
P _{dig} , %	0,26		0,18		0,13		0,13	
EN, MJ/kg	10,35		9,83		9,83		9,62	
Lys _{dig} , %	0,79		0,75		0,75		0,73	
Enzyme	-	+	-	+	-	+	-	+
Poids vif, kg								
Initial	34	34	34	34	34	34	34	34
Final	127	127	123	124	123	125	122	126
Performance, g/jour								
GMQ	984	987	947	958	940	964	929	947
CMJ	2604	2569	2605	2606	2617	2615	2611	2625
IC	2,645	2,588	2,754	2,721	2,790	2,714	2,812	2,776

¹ performances prédites à partir des équations obtenues par le modèle. Les équations prennent en compte l'EN, la Lys_{dig} et le P_{dig} apporté par l'enzyme

2. RESULTATS

2.1. Analyse des régimes

Les valeurs de teneur en azote mesurées sont en accord avec les valeurs prédites à partir des tables INRA-AFZ (Sauvant *et al.*, 2004). Le rapport entre l'activité enzymatique mesurée dans les régimes et l'activité attendue est de 1,33 (1,13 à 1,58) et de 0,95 (0,70 à 1,13), respectivement pour la xylanase et la phytase. Ces valeurs sont acceptables relativement à l'imprécision analytique et aux erreurs inhérentes à l'application de ces produits.

2.2. Performances des porcs du lot témoin :

Les performances observées pour les témoins positifs montrent une variabilité importante entre les centres. L'effet du centre est hautement significatif pour l'ingestion, la croissance et l'efficacité alimentaire La CMJ, le GMQ et l'IC varient respectivement de 2076 à 2718 g/j, de 818 à 1125 g/j et de de 2,37 à 3,04.

2.3. Effet des variations de la teneur en nutriments

Pour les lots TN non supplémentés, la réduction de la teneur en nutriments impacte de façon significative les performances. Les teneurs en EN, Lys_{dig} et P_{dig} influencent de façon non significative l'ingestion des animaux aux bornes des plages de variation testées. Seul, l'effet du centre permet d'expliquer 71% de la variabilité ($P < 0,001$) avec un coefficient de détermination (R^2) égal à 0,71. Le GMQ est prédit à partir de l'interaction entre ingestion et la teneur en EN, Lys_{dig} et P_{dig} ($R^2 = 0,92$; $P < 0,001$). Le GMQ est positivement corrélé avec l'ingestion pour l'ensemble de ces nutriments. L'IC augmente quand la teneur en EN, Lys_{dig} et P_{dig} diminue ($r = -0,92$; $P < 0,001$). Les teneurs en EN, Lys_{dig} et P_{dig} expliquent respectivement 18, 28 et 54% de la variance de l'IC. L'IC peut également être prédit sur la base des teneurs en ces trois nutriments ($R^2 = 0,85$; $P < 0,001$). Ces facteurs sont inclus dans le modèle sous forme d'effets simples et d'interaction. La part de variabilité expliquée par chacun des facteurs est de 30, 23 et 20 %, respectivement pour les teneurs en P_{dig}, EN et Lys_{dig}. Des interactions significatives ont été observées entre les teneurs en P_{dig} / Lys_{dig} et P_{dig} / EN. Ces deux derniers facteurs expliquent 16 et 12 % de la variance, respectivement, pour l'interaction P_{dig} x EN et P_{dig} x Lys_{dig}. Les performances prédites à partir des teneurs en nutriments des régimes sont illustrées dans le tableau 3.

2.4. Effet de l'ajout d'enzyme sur les performances

L'analyse de variance de l'ensemble des résultats de performance suggère que l'effet du mélange d'enzyme est en moyenne de 20 g/j ($P < 0,001$) pour le GMQ et de -0,06 point ($P < 0,001$) pour l'IC. L'amélioration de l'IC par rapport au contrôle sans enzyme est en moyenne de 2,3 % ($P < 0,001$). L'effet de l'enzyme sur l'ingestion est non significatif. Cependant, l'impact de l'enzyme varie en fonction du régime testé ($P < 0,001$). En effet, le GMQ et l'IC varient de -2,2 à +4,2 % et de +0,4 à -6,3 % pour l'IC, respectivement (Tableau 2). Ces effets ont été associés à la libération de nutriments par l'enzyme. A partir des équations établies pour les régimes témoins, l'effet de l'enzyme a été converti en suppléments d'EN, de Lys_{dig} et de P_{dig} désormais disponibles pour l'animal. L'effet est équivalent à la libération de 334 kJ d'EN, 0,4 g de Lys_{dig} et 1,5 g de P_{dig} par kg d'aliment. L'effet de cette libération de nutriments sur les performances varie en fonction de la teneur en nutriment du régime. La comparaison des valeurs observées et des valeurs prédites par le modèle suggère une bonne qualité du modèle au travers d'un coefficient de corrélation de Pearson, respectivement, de 0,97 et 0,99 pour le GMQ et l'IC,

Différentes prédictions ont été réalisées dans le tableau 3. L'amélioration de l'IC est au minimum de l'ordre de -1,23 % pour le régime contenant 0,18 % de P_{dig}, 9,83 MJ EN par kg et 0,75 % Lys_{dig}. A l'inverse, l'amélioration est au maximum de l'ordre de -4,18 % pour le régime contenant 0,13 % de P_{dig}, 9,62 MJ EN par kg et 0,73 % Lys_{dig}. Les performances obtenues par supplémentation de l'enzyme sur ce régime correspondent aux performances d'animaux nourris avec un régime contenant 0,28% P_{dig}, 0,77 % Lys_{dig} et 9,95 MJ d'EN par kg.

3. DISCUSSION

Cette étude montre l'importance de l'effet de la teneur en nutriments sur les performances des animaux et l'effet bénéfique de l'ajout d'enzymes. Cette étude suit un dispositif testé auparavant chez le poulet (Sharma *et al.*, 2018). Parmi les nutriments testés, l'effet majeur d'une carence en phosphore sur l'ingestion, rapporté par différentes autres sources (Harper *et al.*, 1997 ; Braña *et al.*, 2006), n'est pas observé dans les études présentées ici. Les variations de la teneur en P_{dig} très fortes appliquées dans les études présentées ici, jusqu'à 50% de réduction, étaient en accord avec les données rapportées par ces auteurs, pourtant. Ces observations diffèrent également des observations effectuées sur volailles (Liu *et al.*, 2019).

La teneur des régimes en EN est négativement corrélée à l'ingestion des animaux. Ces résultats sont en accord avec les résultats de l'étude de Quiniou et Noblet (2012). Cette évolution n'est pas observée dans nos études réalisées avec une faible variation d'EN. Cependant, l'ingestion est très influencée par les conditions d'élevage (*i.e.* taille de groupe, espace disponible, température ambiante), le type de croisement et le statut sanitaire comme indiqué par l'effet essai (Nyachoti *et al.*, 2004). Le choix d'utiliser la teneur en nutriments digestibles pour la prédiction du GMQ est conforme aux choix faits pour d'autres modèles (van Milgen *et al.*, 2008). L'impact des teneurs en EN, en Lys_{dig} et en P_{dig} sur la croissance est en accord avec les résultats rapportés dans la littérature (Quiniou et Noblet, 2012 ; Gloaguen *et al.*, 2012). La corrélation positive entre le niveau de P_{dig} et le GMQ ou l'IC est en accord avec les observations de Ekpe *et al.* (2002). Les plages de teneurs en nutriments testées, 0,73 MJ EN/kg et 0.05% Lys_{dig} , dans cette étude sont toutefois trop étroites pour permettre de mettre en évidence une réponse différente d'une réponse linéaire. L'interaction entre la teneur en EN et la teneur en Lys_{dig} sur les performances est considérée à partir de l'estimation du besoin en g de Lys_{dig} par MJ d'EN (Zhang *et al.*, 2011). L'interaction entre la teneur en P_{dig} et la teneur en EN ou en Lys_{dig} est à notre connaissance non rapportée dans la littérature pour le porc. Ces interactions sont cependant relevées pour le poulet (Sharma *et al.*, 2018 ; Liu *et al.*, 2017, 2019).

La supplémentation des régimes TN avec une solution enzymatique à spectre large (xylanase, β -glucanase, arabinofuranosidase, phytase) améliore les performances de croissance et l'efficacité alimentaire des porcs entre 25 et 110 kg nourri avec des régimes à base de blé maïs et tourteau de soja. L'amplitude de l'effet des enzymes dépend cependant de la teneur en EN, Lys_{dig} et P_{dig} des régimes. Une méta- analyse réalisée sur ces essais suggère un effet plus important des combinaisons relativement à chacune des enzymes prises individuellement (Lindberg *et al.*, 2007 ; Moehn *et al.*, 2007 ; Nortey *et al.*, 2007 ; Woyengo *et al.*, 2008 ; Atakora *et al.*, 2011 ; Yáñez *et al.*, 2011). Les résultats obtenus dans notre étude sont supérieurs aux résultats des obtenus par incorporation individuellement de phytase et de carbohydrases. Ils correspondent à la somme des deux effets comme suggéré par Lawlor *et al.* (2019) présentant une combinaison multi-carbohydrolase/phytase différente. Cependant, les effets de la supplémentation en xylanase et phytase décrits dans notre étude sont différents des effets observés dans la littérature. En effet, l'augmentation de la digestibilité du phosphore suite à l'addition de phytase ne conduit pas à une augmentation de l'ingestion volontaire des animaux. Ces résultats sont en désaccord avec les résultats de Harper *et al.* (1997). Cette différence peut s'expliquer par la formulation des aliments.

L'incorporation de phytases dans les régimes a contribué à de meilleurs dépôts ou GMQ probablement grâce à une augmentation de la digestibilité de l'azote. Une étude précédente (Rosenfelder-Kuon *et al.*, 2019) suggère ainsi un

effet bénéfique des phytases sur la digestibilité du phosphore, du Ca et de l'azote, respectivement de 11,9, 8,1 et 1,5 points. Cette augmentation de la digestibilité de l'azote est liée à une diminution des pertes endogènes et à une rupture des complexes phytates- protéines, augmentant la biodisponibilité des nutriments. Les effets positifs de ce cocktail enzymatique sont observés également sur l'efficacité alimentaire des animaux. Cette observation est conforme à celles de Woyengo *et al.* (2008). Ces auteurs indiquent une amélioration de l'indice de 1,7% en présence de 500 FTU de phytase par kg de régime.

Les multi-carbohydrolases participent également à l'amélioration de l'efficacité alimentaire (Cromwell *et al.*, 1991). Les mécanismes invoqués sont liés à l'hydrolyse des parois végétales, rendant les nutriments plus accessibles à l'action des enzymes endogènes (Barrera *et al.*, 2004). Cette efficacité est liée à la présence, en particulier, de substrat (Cozannet *et al.*, 2019). Ces auteurs suggèrent une amélioration de la teneur en énergie digestible allant de 63 à 359 kJ par kg.

Notre étude démontre la difficulté de l'évaluation de l'effet des enzymes sur les performances de porcs en engraissement. Les dispositifs proposés par Sharma *et al.* (2018) représentent une alternative pour l'évaluation de l'effet de chacun des nutriments sur les performances des animaux. Notre travail permet cependant d'évaluer la capacité d'une solution enzymatique à libérer de l'énergie des acides aminés digestible et du phosphore digestible. Les niveaux d'équivalence de la solution sont de 334 kJ d'EN, de 0,4 g de Lys_{dig} et 1,5 g de P_{dig} par kg d'aliment. Le profil en acides aminés digestibles a été ajusté relativement à la lysine en supposant que l'amélioration de la teneur en Lys_{dig} peut être appliquée à l'ensemble des acides aminés. Les quantités d'acides aminés digestibles sont supérieures aux valeurs rapportées pour les produits individuellement.

CONCLUSION

Les animaux recevant un aliment à teneur réduite en énergie nette, acides aminés digestibles, phosphore digestible et calcium total ont des performances diminuées par rapport aux animaux nourris selon les recommandations du NRC (2012).

Cette étude permet de démontrer la résilience et l'efficacité moyenne de la combinaison d'une multi-carbohydrolases et une phytase sur les performances des porcs. Ces effets moyens varient en fonction de la teneur en nutriments des régimes. En moyenne la supplémentation enzymatique a permis la libération de 334 kJ d'EN, de 0,4 g de Lys_{dig} et 1,5 g de P_{dig} par kg d'aliment. Cette étude permet de présenter une méthodologie alternative pour l'évaluation de la part de nutriments libérés par la combinaison d'enzymes. Cette étude a été réalisée avec des régimes contenant des teneurs substrats équivalents, dans la mesure du possible. En revanche, il serait intéressant d'évaluer l'impact de la concentration du substrat (arabinoxylanes et phytate) sur l'efficacité de cette combinaison enzymatique sur les performances.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Atakora J.K.A., Moehn S., Sands J.S., Ball R.O., 2011. Effects of dietary crude protein and phytase-xylanase supplementation of wheat grain-based diets on energy metabolism and enteric methane in growing finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 166, 422-429.
- Barrera M., Cervantes M., Sauer W.C., Araiza A.B., Torrentera N., 2004. Ileal amino acid digestibility and performance of growing pigs fed wheat-based diets supplemented with xylanase. *J. Anim. Sci.*, 82, 1997-2003
- Braña D.V., Ellis M., Castaneda E.O., Sands J.S., Baker D.H., 2006. Effect of a novel phytase on growth performance, bone ash, and mineral digestibility in nursery and grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.*, 84, 1839-1849.

- Cozannet P., Yacoubi N., Dumont T., Preynat A., 2019. Une nouvelle génération de multi-carbohydase riche en xylanase et arabinofuranosidase efficace pour améliorer la digestibilité des aliments de porcs. Journées Rech. Porcine 51, 93-98.
- Cromwell G.L., Stahly T.S., Randolph J.H., 1991. Effects of phytase on the utilization of phosphorus in corn-soybean meal diets by growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 69, 358 (Abstr. 1.).
- Ekpe E.D., Zijlstra R.T., Patience J.F., 2002. Digestible phosphorus requirement of grower pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 82, 541-549.
- Gloaguen M., Le Floc'h N., Brossard L., Barea R., Primot Y., Corrent E., van Milgen J., 2012. Response of piglets to the valine content in the diet in combination with the supply of other branched-chain amino acids. *Animal*, 5, 1734-1742.
- 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.
- Lawlor P.G., Cozannet P., Ryan W.F., Lynch P.B., 2019. Effect of a combination phytase and multi-carbohydrolase enzyme supplement on growth performance and bone mineralization of pigs from six weeks to slaughter at 105 kg. *Livest. Sci.*, 223, 144-150.
- Lindberg J.E., Lyberg K., Sands J., 2007. Influence of phytase and xylanase supplementation of a wheat-based diet on ileal and total tract digestibility in growing pigs. *Livest. Sci.*, 109, 268-270.
- Liu K.G., Bello A., Jlali M., Cozannet P., Wu D., Davin R., Preynat A., 2019. Evaluation of the efficacy of a Multi carbohydase and phytase on corn-wheat-soybean meal-based diets with varying levels in metabolizable energy, digestible amino acids, available phosphorus and calcium. *Proceeding Australian Poultry Science Symposium.*, 30th, 172-176.
- Liu S.Y., Naranjo V.D., Chrystal P.V., Buyse J., Selle P.H., 2017. Box-Behnken optimisation of growth performance, plasma metabolites and carcass traits as influenced by dietary energy, amino acid and starch to lipid ratios in broiler chickens. *Plos One*, 14, e0213875.
- Moehn S., Atakora J.K.A., Sands J., Ball R.O., 2007. Effect of phytase-xylanase supplementation to wheat-based diets on energy metabolism in growing-finishing pigs fed ad libitum. *Livest. Sci.*, 109, 271-274.
- Nortey T.N., Patience J.F., Simmins P.H., Trottier N.L., Zijlstra R.T., 2007. Effects of individual or combined xylanase and phytase supplementation on energy, amino acid, and phosphorus digestibility and growth performance of grower pigs fed wheat-based diets containing wheat millrun. *J. Anim. Sci.*, 85, 1432-1443.
- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. National Academic Press, Washington, DC. nb pp?
- Nyachoti C.M., Zijlstra R.T., de Lange C.F.M., Patience J.F., 2004. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Can. J. Anim. Sci.*, 84, 549-566.
- Rosenfelder-Kuon P., Siegert W., Rodehutschord M., 2019. Effect of microbial phytase supplementation on P digestibility in pigs: a meta-analysis. *Arch. Anim. Nut.*, 74, 1-18.
- Sauber T.E., Owens F.N., 2001. Cereal grains and byproducts for swine. *Swine Nutrition*. A. J. Lewis and L. L. Southern (ed), New York, CRC Press, 785-802.
- Sharma N.K., Choct M., Toghyani M., Laurenson Y.C.S.M., Giriash C.K., Swick R.A., 2018. Dietary energy, digestible lysine, and available phosphorus levels affect growth performance, carcass traits, and amino acid digestibility of broilers. *Poult. Sci.* 97, 1189-1198.
- Shaw D.T., Rozeboom D.W., Hil G.M., Orth M.W., Rosenstein D.S., Link J.E., 2006. Impact of supplement withdrawal and wheat middling inclusion on bone metabolism, bone strength, and the incidence of bone fractures occurring at slaughter in pigs. *J. Anim. Sci.*, 84, 1138-1146.
- Quiniou N., Noblet J., 2012. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pig housed individually. *J. Anim. Sci.*, 90, 4362-4372.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables of composition and nutritive value of feed materials Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. INRA Editions, Versailles, France nb pages?
- O'Quinn P.R., Knabe D.A., Gregg E.J., 1997. Efficacy of Natuphos in sorghum-based diets of finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 75, 1299-1307.
- 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.
- Woyengo T.A., Sands J.S., Guenter W., Nyachoti C.M., 2008. Nutrient digestibility and performance responses of growing pigs fed phytase and xylanase-supplemented wheat-based diets. *J. Anim. Sci.*, 86, 848-857.
- Yáñez J.L., Beltranena E., Cervantes M., Zijlstra R.T., 2011. Effect of phytase and xylanase supplementation or particle size on nutrient digestibility of diets containing distillers dried grains with solubles co fermented from wheat and corn in ileal-cannulated grower pigs. *J. Anim. Sci.*, 89, 113-123.
- Zhang G.J., Yi X.W., Chu L.C., Lu, N., Htoo J., Qiao S.Y., 2011. Effects of Dietary Net Energy Density and Standardized Ileal Digestible Lysine: Net Energy Ratio on the Performance and Carcass Characteristic of Growing-Finishing Pigs Fed Low Crude Protein Supplemented with Crystalline Amino Acids Diets. *Agri. Sci. Ch.* 10, 602-610.