

Une nouvelle génération de multi-carbohydrase riche en xylanases et arabinofuranosidases efficace pour améliorer la digestibilité des aliments de porcs

Pierre COZANNET (1), Nadia YACOUBI (1), Thomas DUMONT (2), Aurélie PREYNAT (1)

(1) ADISSEO France SAS, CERN, 6 Route Noire, 03600 Malicorne, France

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

Pierre.Cozannet@adisseo.com

Une nouvelle génération de multi-carbohydrase riche en xylanases et arabinofuranosidases efficace pour améliorer la digestibilité des aliments de porcs

L'objectif est d'évaluer l'effet d'une supplémentation enzymatique (enz) riche en xylanases et en arabinofuranosidases sur la digestibilité des nutriments en utilisant des aliments avec des niveaux croissants en arabinoxylane (AX). L'expérience a été réalisée sur six porcs (58 kg). Les porcs sont répartis sur six traitements de niveaux croissants en AX (70-120 g/kg) avec et sans enz (Rovabio Advance®) selon un dispositif en carré latin. La teneur graduelle en AX a été obtenue en utilisant du blé et du son de blé. Les digestibilités iléale et fécale de l'énergie brute (EB), de la matière sèche (MS), de la matière organique (MO), des protéines, de l'amidon, des graisses et des fibres ont été mesurées en utilisant le titane comme marqueur. L'augmentation de la teneur en AX était négativement corrélée avec la digestibilité de l'ensemble des nutriments ($P < 0,001$, $R^2 = 0,76$). Une interaction entre l'ajout d'enzymes et la composition du régime est observée pour la digestibilité de l'énergie ($P = 0,044$). L'addition des enzymes a permis d'augmenter significativement la teneur en énergie digestible de 86 kcal/kg pour le régime avec la haute teneur en AX. L'ajout des enzymes a entraîné une amélioration significative de la digestibilité de tous les nutriments. Elle est en moyenne de 3,5 et 3,3 % pour la digestibilité iléale de la MO et des protéines, et de 1,2, 1,9 et 1,6% pour la digestibilité fécale de la MO, des protéines et de l'énergie. La digestibilité iléale des acides aminés suit une même relation, + 5 points pour le régime le plus riche en AX. Cette étude confirme que la présence d'AX réduit la digestibilité des nutriments et que l'ajout d'enz améliore la digestibilité globale des nutriments.

A new generation of multi-carbohydrase rich in xylanase and arabinofuranosidase to improve dietary digestibility in growing pigs

The objective was to evaluate effects of supplementation with an enzymatic complex (enz) rich in xylanase and arabinofuranosidase on the dietary digestibility of diets with different contents of arabinoxylan (AX). The experiment was performed on 6 pigs (58 kg). The pigs were randomly distributed among 6 treatments with increasing content of AX (70-120 g/kg) with and without enz (Rovabio Advance®) according to a Latin square design. The graduated content of AX was obtained using wheat and wheat bran. Digestibilities of ileal and total energy, dry matter (DM), organic matter (OM), protein, starch, crude fat and fibre were as measured using titanium oxide as an indigestible marker. The increase in AX content in the diet had a negative effect on most of the digestibility parameters ($P < 0.001$, $R^2 = 0.76$). Only an interaction between enz and diet composition was observed for energy digestibility ($P = 0.044$). Digestible energy content was significantly increased by 86 kcal/kg with enz for the diet with the highest AX content. Addition of enz also resulted in a significant increase in the digestibility of all nutrients tested, with average improvements of 3.5% and 3.3% for OM and protein ileal digestibility, respectively, and 1.2%, 1.9% and 1.6% for faecal OM, protein and energy digestibility, respectively. Ileal amino acid digestibility followed a similar trend, with an increase of 5% units for the high AX diet. This study confirms that the presence of AX reduces the digestibility of nutrients in pig diets and that the addition of enz improve the overall digestibility of nutrients.

INTRODUCTION

Les enzymes carbohydrases sont d'emploi courant en alimentation animale pour améliorer la valeur nutritionnelle des aliments, sécuriser l'emploi de certaines matières premières et, de façon générale, améliorer l'efficacité alimentaire de l'animal. Cependant, les effets biologiques sont variables selon la préparation enzymatique et surtout selon les caractéristiques chimiques des matières premières utilisées.

La fraction indigestible est identifiée comme la fraction non digérée par les enzymes endogènes. La proportion de cette fraction est positivement corrélée à la part de fibres (i.e. NDF ; Noblet et van Milgen, 2004) dans le régime qui emprisonne d'autres nutriments (i.e. amidon, protéines, matières grasses) et affecte les pertes endogènes selon le processus décrit par Bedford (2000). Dans les régimes, les céréales représentent la principale source d'énergie et de fibres. Ces fibres sont majoritairement de type arabinoxylane dans les céréales (70% ; AX ; Saulnier *et al.*, 2007). Peu digestibles, la dégradation de ces AX par des enzymes exogènes pourrait permettre l'amélioration de la digestibilité des différents nutriments dont les acides aminés (Kim *et al.*, 2008 ; Woyengo *et al.*, 2008).

L'objectif de l'essai est de mesurer l'effet d'un cocktail d'enzymes riche en xylanases et arabinofuranosidases sur la digestibilité de trois régimes permettant de créer un gradient d'AX dans l'aliment du porc.

1. MATERIEL ET METHODES

L'essai de digestibilité fécale a été réalisé au sein du Département of Animal Nutrition and Feed Science, College of Animal Science and Technology, Huazhong Agricultural University (Chine).

1.1. Régimes

La composition des régimes est décrite dans le tableau 1. Le régime bas a été formulé afin de satisfaire les besoins des animaux. Le régime haut a été réalisé en remplaçant 30 points de blé par 30 points de son de blé. Le régime intermédiaire a été obtenu par mélange 1 : 1 du régime haut et régime bas. Cette stratégie permet d'obtenir un gradient de teneurs en arabinoxylanes totaux de 68,8 à 118,2 g/kg. Chaque régime a été ensuite divisé en deux lots supplémentés ou non avec l'additif enzymatique Rovabio® Advance à hauteur de 50 g/t. Cet additif (apporte 1250 unités visco de β -1,4 endo xylanase, 860 unités de 1,3(4)- β -endo-glucanase et 4600 unités d'arabinofuranosidase/kg d'aliment).

1.2. Animaux et mesures

Chacun de ces régimes a été distribué, sous forme de soupe, à six porcs mâles castrés croisés Duroc \times (Large White \times Landrace) selon un dispositif en carré latin (tableau 2). Les animaux étaient équipés d'une canule iléo rectale et logés en cage métabolique. Le poids vif moyen en début d'essai était de 58 (+/- 1) kg. Les mesures ont été réalisées au cours de six périodes successives organisées de la façon suivante : après une période d'adaptation de 5 jours, une collecte fécale est opérée sur 3 jours suivie de 2 jours de collecte iléale. Durant ces périodes, le niveau d'ingestion de l'animal est fixé à 70 g d'aliment par kg PV^{0,75}, réparti en deux repas égaux. Cet apport est équivalent à

environ 1,8 fois l'entretien des animaux. Les jus iléaux ainsi que les fèces sont échantillonnés sur l'ensemble de la journée entre la distribution du repas du matin (8h00) et du soir (18h00). Les fèces et les jus iléaux sont ensuite pesés, homogénéisés en fin de période de collecte, échantillonnés et lyophilisés avant les analyses en laboratoire. Un échantillon moyen de chaque régime est également constitué (repas fictif). Les quantités d'aliment proposées aux animaux et la quantité de matière sèche (MS) des éventuels refus au cours de la période de collecte sont aussi enregistrées.

1.3. Dosages, calculs et statistiques

Les matières premières ont été analysées pour leur teneur en matières minérales (NF V18-101), matières azotées (NF V18-100), cellulose brute (NF V03-040), fibres Van Soest (NF V18-122) et amidon Ewers (méthode polarimétrique, directive 1999/79 CE). Le profil en acides aminés des drêches et des excréta a été déterminé selon la directive 98/64/CE (Norme NF EN ISO 13903). Le Phosphore et le Calcium ont été analysés par spectrométrie d'absorption à 620 nm et par spectrométrie de flamme, respectivement (AOAC 2000). Les digestibilités apparentes de la MS, MO, EB et N ont été calculées à partir des mesures sur les aliments et les excréta selon les méthodes conventionnelles avec marqueur. Les résultats sont soumis à analyse de variance incluant les effets fixes individu (n=6), période (n=6), régime (n=3), enzyme (n=2) et les interactions. D'autre part, les régressions entre la teneur en AX et la digestibilité de l'énergie, des matières grasses (MG), de l'amidon et des protéines brutes (PB) avec et sans enzyme ont été établies. Les teneurs en nutriments digestibles des régimes ont été corrélées aux teneurs en énergie digestible.

Tableau 1 – Composition des régimes expérimentaux

Aliments	bas	medium	haut
Ingredients, unité			
Blé	78,0	66,3	54,3
Tourteau de soja	17,3	14,0	11,0
Son de blé	0,0	15,0	30,0
Prémix ¹	4,2	4,2	4,2
Oxyde de titane	0,5	0,5	0,5
Composition chimique			
Matière sèche, %	85,4	85,4	85,5
Cendres, %	4,0	4,3	4,7
Protéines brutes, %	16,7	16,2	15,7
Matières grasses, %	1,5	1,8	2,1
Cellulose brute, %	3,0	3,2	3,4
NDF, %	11,8	15,9	20,0
Arabinoxyle soluble, g/kg	15,5	20,8	26,2
Arabinoxyle insoluble, g/kg	53,3	72,8	92,0
Arabinoxylanes totales, g/kg	68,8	93,6	118,2

¹ Apporte minéraux et vitamines/kg régime : acétate rétinol, 10000 IU ; cholécalférol 2500 IU ; acétate dl- α -tocophérol acétate, 50 IU ; ménadione, 5,0 mg ; thiamine, 2,0 mg ; riboflavine, 5,0 mg ; pantothénique acide, 12,0 mg ; pyridoxine, 10,0 mg ; niacine, 30,0 mg ; biotine, 0,2 mg ; acide folique, 1,5 mg ; cyanocobalamine, 0,05 mg ; choline chlorure 1500 mg ; fer, 100 mg ; cuivre, 20 mg ; manganèse, 25 mg ; zinc, 100 mg ; sélénium, 0,3 mg ; iode, 0,3 mg.

Tableau 2 – Schéma du dispositif expérimental en carré latin

Période	1	2	3	4	5	6
Porc						
1	1 ¹	2	3	4	5	6
2	2 ¹	6	4	3	1	5
3	3 ¹	4	5	6	2	1
4	4 ¹	1	6	5	3	2
5	5 ¹	3	1	2	6	4
6	6 ¹	5	2	1	4	3

¹ les valeurs sont associées comme suit aux régimes. 1/bas ; 2/bas+enzyme ; 3/medium ; 4/medium+enzyme ; 5/haut ; 6/haut+enzyme

2. RESULTATS

La composition chimique en nutriments des régimes expérimentaux est résumée dans le tableau 1 et est conforme aux données des tables INRA-AFZ (INRA-AFZ, 2002). Les porcs ont ingéré l'ensemble de leur ration durant l'essai.

Les résultats de digestibilité sont reportés dans le tableau 3. L'effet du régime est significatif sur l'ensemble des critères à l'exception de la matière grasse, de la cellulose brute, du phosphore et du calcium au niveau iléal et uniquement du calcium au niveau fécal. La digestibilité des nutriments est négativement corrélée avec la teneur en AX des régimes. Les différences moyennes entre les digestibilités fécale et iléale sont de 10,8, 3,2, 6,5 points pour la MO, l'amidon et les protéines ($P < 0,001$). L'addition du cocktail enzymatique impacte positivement les digestibilités de la majorité des paramètres ($P < 0,05$) excepté pour le phosphore, le calcium et la cellulose brute où il y a seulement une tendance ($P < 0,07$). Cette amélioration est, en moyenne, de 2,8 points au niveau iléal et de 2,2 points au niveau fécal. Seule l'interaction entre l'inclusion du complexe enzymatique et l'effet régime pour la digestibilité fécale de l'énergie est significative ($P = 0,04$). Cette interaction est représentée graphiquement dans la figure 1. Les données indiquent que l'enzyme permet de libérer, respectivement, 15, 55 et 86 kcal ED/kg d'aliment pour les régimes bas, medium et haut.

Tableau 3 – Digestibilité iléale et fécale des principaux nutriments.

Arabinose	bas		medium		haut		Statistique ¹			RSD	R ²
	70 g/kg		90 g/kg		120 g/kg		P value				
	-	+	-	+	-	+	Régime	Enzyme	Inter		
Digestibilité iléale, %											
MO	75,4 ^{ab}	77,2 ^a	74,2 ^{ab}	76,4 ^{ab}	68,7 ^c	72,4 ^{bc}	< 0,01	< 0,01	0,594	2,4	0,88
Amidon	89,4 ^{abc}	91,5 ^a	88,7 ^{bc}	89,5 ^{ab}	82,6 ^d	86,7 ^c	< 0,01	< 0,01	0,036	0,8	0,95
Protéines	80,6 ^{abc}	83,1 ^a	78,8 ^{bc}	81,0 ^{abc}	77,6 ^c	81,8 ^{ab}	0,024	< 0,01	0,432	1,9	0,82
MG	36,6 ^a	40,9 ^a	38,1 ^a	40,7 ^a	39,6 ^a	43,1 ^a	0,564	0,051	0,884	3,0	0,81
CB	1,3 ^a	3,7 ^a	1,7 ^a	2,2 ^a	1,0 ^a	5,3 ^a	0,685	0,071	0,422	2,3	0,66
Phosphore	43,9 ^a	45,4 ^a	46,0 ^a	45,5 ^a	42,3 ^a	49,0 ^a	0,792	0,063	0,098	2,4	0,88
Calcium	53,7 ^a	58,0 ^a	55,6 ^a	58,5 ^a	55,5 ^a	59,0 ^a	0,843	0,062	0,933	3,2	0,87
Digestibilité totale, %											
MO	86,0 ^a	86,3 ^a	84,3 ^{ab}	85,0 ^a	80,4 ^c	82,3 ^{bc}	< 0,01	0,021	0,193	1,1	0,97
Amidon	91,9 ^{ab}	92,9 ^a	90,9 ^{cd}	91,3 ^{bc}	87,7 ^e	90,1 ^d	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,4	0,98
Protéines	88,1 ^{ab}	88,9 ^a	84,1 ^c	87,5 ^{ab}	84,3 ^c	85,8 ^{bc}	< 0,01	< 0,01	0,105	1,3	0,84
MG	34,9 ^c	38,8 ^b	38,7 ^{bc}	40,1 ^{ab}	38,7 ^{bc}	43,4 ^a	0,023	< 0,01	0,148	1,4	0,94
CB	44,2 ^a	43,6 ^{ab}	38,5 ^{bc}	39,8 ^{abc}	36,0 ^c	39,0 ^{bc}	0,002	0,383	0,526	3,4	0,83
Phosphore	45,9 ^{ab}	45,4 ^{ab}	46,7 ^{ab}	47,6 ^a	42,2 ^b	47,5 ^a	0,028	0,019	0,018	1,3	0,92
Calcium	54,0 ^{ab}	57,5 ^a	52,3 ^b	57,5 ^a	50,7 ^b	56,8 ^a	0,377	0,000	0,409	1,6	0,96
Energie brute	87,4 ^{ab}	87,8 ^a	84,7 ^{cd}	86,2 ^{bc}	82,1 ^e	84,4 ^d	< 0,01	< 0,01	0,044	0,8	0,93

¹ Analyse de variance sur l'ensemble des données ($n = 36$) avec les effets fixes de l'individu ($n=6$) et de la période ($n=6$) du régime ($n = 3$), de l'apport d'enzyme ($n = 2$) et l'interaction. Les effets porc et période sont significatifs pour tous les paramètres et ne sont pas présentés

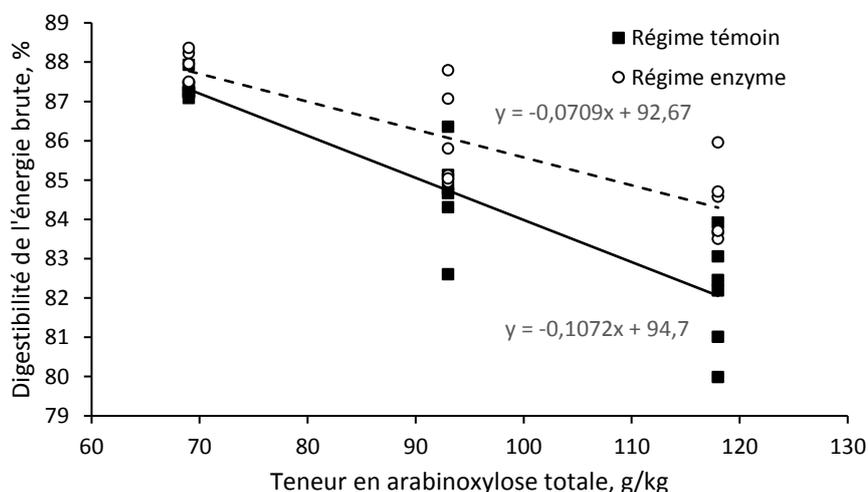


Figure 1 – Relation entre teneur en arabinose totale et la digestibilité de l'énergie dans des régimes avec et sans enzyme ($R^2 = 0,88$; RSD = 0,8 avec arabinose $P < 0,001$; porc $P = 0,028$; période $P = 0,039$; enz $P = 0,110$ et enz * arabinose $P = 0,010$)

Tableau 4 – Digestibilité iléale des acides aminés.

Arabinosylose Enzyme	bas		medium		haut		Statistique ¹			RSD	R ²
	70 g/kg		90 g/kg		120 g/kg		P value				
	-	+	-	+	-	+	Régime	Enzyme	Inter		
Digestibilité iléale des acides aminés, %											
ala	60,8 ^a	75,0 ^a	64,9 ^a	65,0 ^a	55,8 ^a	61,6 ^a	0,227	0,102	0,371	8,4	0,76
arg	90,5 ^{ab}	93,7 ^a	89,2 ^b	89,2 ^b	87,2 ^b	89,8 ^{ab}	0,007	0,021	0,252	1,6	0,84
asp	70,3 ^{ab}	82,6 ^a	73,0 ^{ab}	74,0 ^{ab}	56,9 ^b	63,4 ^b	0,008	0,056	0,408	6,9	0,82
cys	76,6 ^{ab}	76,7 ^{ab}	75,6 ^{ab}	74,1 ^{ab}	68,7 ^b	83,5 ^a	0,832	0,076	0,029	5,1	0,76
glu	90,7 ^{ab}	93,8 ^a	91,6 ^{ab}	92,0 ^{ab}	87,8 ^b	90,0 ^{ab}	0,020	0,029	0,423	1,7	0,80
gly	72,6 ^a	79,7 ^a	73,1 ^a	74,8 ^a	67,8 ^a	71,5 ^a	0,228	0,148	0,729	6,0	0,67
his	82,0 ^a	84,4 ^a	79,6 ^a	77,1 ^a	74,6 ^a	74,3 ^a	0,101	0,968	0,784	6,2	0,80
ile	75,4 ^a	82,1 ^a	74,3 ^a	75,6 ^a	67,7 ^a	72,1 ^a	0,245	0,286	0,862	8,3	0,56
leu	81,9 ^{ab}	87,6 ^a	77,1 ^b	78,7 ^{ab}	74,9 ^b	78,4 ^{ab}	0,011	0,059	0,654	3,8	0,78
lys	88,0 ^a	91,7 ^a	87,0 ^a	88,7 ^a	84,6 ^a	84,1 ^a	0,110	0,355	0,59	3,9	0,6
met	77,2 ^a	80,6 ^a	77,3 ^a	80,1 ^a	82,4 ^a	83,9 ^a	0,052	0,070	0,803	2,8	0,82
phe	82,3 ^{ab}	82,3 ^{ab}	84,4 ^{ab}	84,3 ^{ab}	80,6 ^b	85,2 ^a	0,086	0,032	0,015	1,4	0,86
ser	82,8 ^{ab}	87,6 ^a	79,0 ^{ab}	81,0 ^{ab}	73,1 ^b	80,2 ^{ab}	0,016	0,026	0,58	4,0	0,78
thr	82,9 ^a	87,4 ^a	79,8 ^a	82,1 ^a	78,5 ^a	82,9 ^a	0,092	0,034	0,838	3,4	0,73
tyr	91,2 ^a	90,2 ^a	92,3 ^a	90,7 ^a	90,4 ^a	90,8 ^a	0,822	0,514	0,745	2,4	0,73
val	77,4 ^a	84,1 ^a	76,8 ^a	77,6 ^a	73,5 ^a	77,7 ^a	0,157	0,066	0,523	4,3	0,72
tot	83,3 ^a	87,7 ^a	84,2 ^a	84,5 ^a	78,9 ^a	81,8 ^a	0,054	0,100	0,562	3,1	0,74

¹ Analyse de variance sur l'ensemble des données (n = 36) avec les effets fixes de l'individu (n=6) et de la période (n=6) du régime (n = 3), de l'apport d'enzyme (n = 2) et l'interaction. Les effet porc et période sont significatifs pour tous les paramètres et ne sont pas présentés

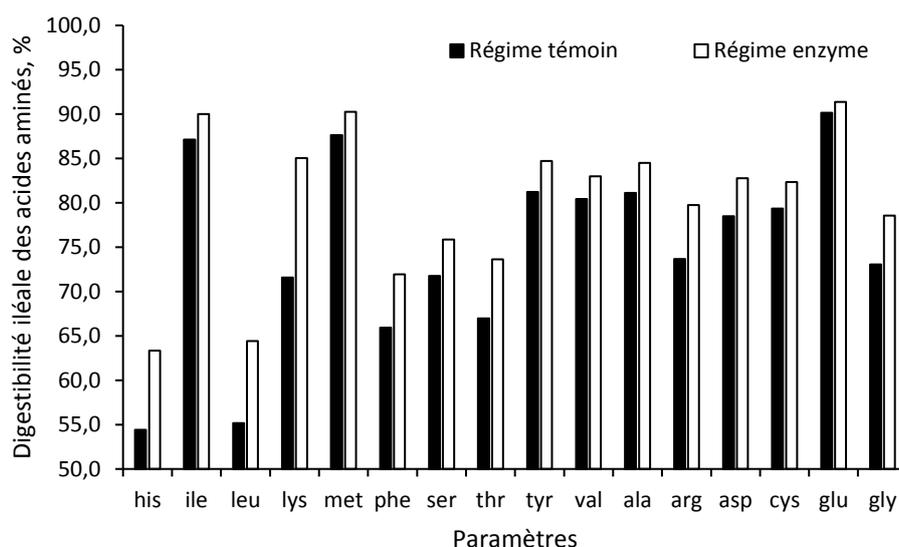


Figure 2 – Digestibilité des acides aminés essentiels du régime haut avec inclusion d'enzymes (R² = 0,85, RSD = 5,2% avec porc P < 0,001 ; période P < 0,001 ; enz P < 0,001 ; acide aminé P < 0,001 et enz * acide aminé P = 0,525)

Le teneur en ED (MJ/kg) mesurée sur les animaux est corrélée aux teneurs mesurées en nutriments digestibles (g/kg) : protéines digestibles (MAD), matières grasses digestibles (MGD), cellulose brute digestible (CBD) et amidon digestible (AMID) (R² = 0,69 ; P < 0,001), L'équation obtenue est :

$$ED = 0,48 \text{ MAD} + 4,27 \text{ MGD} + 9,63E-02 * \text{AMID}$$

La teneur en ED est une fonction de la teneur MAD, en MGD et en AMID de façon significative. La teneur en cellulose brute digestible n'intervient pas de façon significative (P = 0,128). L'ensemble des autres coefficients sont significativement différents de 0 (P < 0,05). Cette relation est identique pour les régimes supplémentés ou non avec le complexe enzymatique. L'impact de l'enzyme étant pris en compte dans l'amélioration de digestibilité de la matière grasse, de l'amidon et de la protéine.

La digestibilité iléale des acides aminés suit une tendance similaire à la digestibilité de l'énergie. Les données sont présentées dans le tableau 4. L'augmentation de la teneur en AX d'un niveau bas à haut conduit à une baisse de la digestibilité. L'augmentation de la teneur en AX de 1 g/kg s'accompagne en moyenne d'une réduction de la digestibilité de -0.159 point de la digestibilité des acides aminés essentiels. L'inclusion du complexe enzymatique permet une amélioration moyenne 2,7 points pouvant atteindre 5,0 points pour le régime haut (Figure 2),

3. DISCUSSION

Les mesures de digestibilité des nutriments obtenues sont conformes aux résultats acquis par d'autres auteurs (Le Goff et al., 2002). La digestibilité de l'EB varie de 87 à 82%, cette gamme est incluse dans la gamme de 78 à 87% mesurée par ces auteurs.

Les mesures effectuées sur les animaux suggèrent, comme attendu, une meilleure digestibilité des nutriments au niveau fécal, comparativement aux valeurs iléales (Shi et Noblet, 1993). La différence entre ces deux valeurs indique la contribution du gros intestin dans la digestibilité. La valeur obtenue pour la MO est de 11 points pour les contrôles. Cette valeur est conforme à la valeur présentée par les précédents auteurs.

L'effet de l'enzyme sur la digestibilité de l'ensemble des nutriments est en accord avec des résultats précédents (Li *et al.*, 1996; Yin *et al.*, 2000; Cozannet et Preynat, 2012). L'effet est de plus confirmé par la bonne correspondance entre la teneur en nutriment digestible et la teneur en énergie digestible des régimes avec et sans enzyme. Les équations présentées entre teneur en énergie digestible et teneur en nutriments digestibles permettent d'évaluer l'origine de l'énergie avec et sans enzyme. D'autres auteurs rapportent des améliorations de la digestibilité et par conséquent de la teneur en nutriments digestibles. Cependant rares sont ceux qui relient les valeurs de teneurs en ED et de teneurs en nutriments digestibles. Il est clair, au vu des résultats de cette étude, que la capacité des enzymes exogènes à augmenter la teneur en ED des régimes est liée à la libération de nutriments autres que des fibres. Il s'agit de nutriments dont la digestibilité est pénalisée par la présence de fibres et dont la digestibilité est améliorée par la dégradation de ce facteur antinutritionnel.

Les résultats de cet essai permettent de valider le caractère anti nutritionnel des AX et confortent celles acquises dans une précédente étude chez le poulet (Cozannet *et al.*, 2017).

Les teneurs en AX des régimes testés ici sont bien plus élevées que celles testées dans l'expérience chez le poulet. L'effet de 1 g/kg d'AX diminuerait la teneur en énergie de 3 kcal ED/kg chez le porc et de 34 kcal d'énergie métabolisable /kg chez le poulet. Ces valeurs passent à 2 kcal ED/kg chez le porc et de 20 kcal EM/kg chez le poulet en présence d'enzyme. On peut donc suggérer que l'effet antinutritionnel des AX serait 10 fois plus important chez la volaille comparativement au porc. L'efficacité des enzymes semble équivalente en permettant de réduire du tiers l'effet antinutritionnel des AX. Dans l'absolu, l'impact des enzymes est cependant quantitativement différent pour les deux espèces.

CONCLUSION

Cet essai évalue le potentiel d'amélioration de la digestibilité des nutriments par les enzymes carbohydrases. Le dispositif utilisé dans cette expérience a, par ailleurs, permis de vérifier l'influence du niveau de substrat AX sur la réponse à l'apport d'enzymes. Enfin, la mise en place de mesures de la digestibilité de l'ensemble des éléments constitutifs de la matière organique permet d'évaluer l'origine de l'énergie libérée par l'incorporation des enzymes étudiées. Des travaux complémentaires seront nécessaires pour conclure sur la pertinence du critère AX total pour la prédiction de l'effet de l'enzyme. Il serait intéressant d'établir des relations entre l'effet de l'enzyme et la composition en nutriments des régimes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 16th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Bedford M.R., 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition – their current value and future benefits. *Anim. Feed Technol.*, 86, 1-13.
- Cozannet P. et Preynat A., 2012. Digestibilité iléale et fécale des nutriments d'un blé, d'une orge et d'une drêche de maïs chez le porc : effet d'un cocktail enzymatique. *Journées Rech. Porcine*, 44, 209-210.
- Kim P., Kidd M.T., Montanhini Neto R., Geraert P.A., 2017. Next-generation non-starch polysaccharide-degrading, multi-carbohydrase complex rich in xylanase and arabinofuranosidase to enhance broiler feed digestibility. *Poult. Sci.*, 96, 2743-2750.
- Kim J.C., Sands J.S., Mullan B.P., Pluske J.R., 2008. Performance and total-tract digestibility responses to exogenous xylanase and phytase in diets for growing pigs. *Anim. Feed Technol.*, 142, 163-172.
- Le Goff G., van Milgen J., Noblet J., 2002. Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Anim. Sci.*, 74, 503-515.
- Li S., Sauer C., Huang S.X., Gabert V.M., 1996. Effect of β -glucanase supplementation to hullless Barley or wheat-soybean meal diets on the digestibilities of energy, protein, β -glucans, and amino acids in young pigs. *J. Anim. Sci.*, 74, 1649-1656.
- Noblet J., van Milgen J., 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.*, 82, E229-E238.
- Noblet J., Shi, X.S., 1993. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adult sows fed at maintenance. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 137-152.
- Saulnier L., Sado P.E., Branlard G., Charmet G., Guillon F., 2007. Wheat arabinoxylans: Exploiting variation in amount and composition to develop enhanced varieties. *J. Cer. Sci.*, 46, 261-281.
- INRA-AFZ, 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Sauvart D., Pérez J.M., Tran G., Coord., INRA Eds, Paris, 291 p.
- 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.
- Yin Y.L., McEvoy J.D.G., Schulze H., Hennig U., Souffrant W.B., McCracken K.J., 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients as evaluated with PVTC-cannulated or ileo-rectal anastomised pigs fed diets containing two indigestible markers. *Livest. Prod. Sci.*, 62, 133-141.

