

Digestibilité iléale et totale apparentes des nutriments chez le porc en croissance : effet de la granulation, de la xylanase et de la présence de coproduits

Élisabeth CHASSÉ, Frédéric GUAY, Marie-Pierre LÉTOURNEAU-MONTMINY

Département des sciences animales, Université Laval, 2425 rue de l'Agriculture, G1V 0A6, Québec (QC),
Canada

marie-pierre.letourneau-montminy.1@ulaval.ca

Digestibilité iléale et totale apparentes des nutriments chez le porc en croissance : effet de la granulation, de la xylanase et de la présence de coproduits

L'objectif cette étude était de déterminer l'effet de la xylanase et de la granulation sur la digestibilité d'aliments comportant des coproduits. Six porcs ont été canulés à l'iléon distal et ont reçu un des six traitements expérimentaux selon un dispositif 6x6 en carré latin. Les traitements étaient à base de maïs-tourteau de soja (T), coproduits (Co) et le même aliment additionné de xylanase (Co-Xyl), lesquels étaient servis sous forme de granules (G) ou de farine (F). Les données ont été analysées à l'aide de contrastes testant l'effet du régime, de la granulation et de la xylanase. La granulation a permis une amélioration de la digestibilité de toutes les rations, et ce de façon plus importante dans le régime témoin. En effet, la digestibilité iléale de la matière sèche (MS), de la protéine brute (PB), de l'énergie brute (EB) et des matières grasses (EE) a été augmentée par la granulation, respectivement de 19, 28, 19 et 24% chez le témoin, alors que ces améliorations n'étaient de 2, 5, 2 et 14% pour la ration Co et de 9, 8, 8 et 17% pour Co-Xyl ($P < 0,01$). La digestibilité iléale apparente des AA suivait celle de la PB ($P < 0,01$). La digestibilité totale des fibres ADF et NDF a été augmentée avec la granulation pour les rations témoin, respectivement de 62 et 54%, et pour Co-Xyl, de 65% et 45% ($P < 0,01$). La rupture des parois cellulaires des végétaux avec la granulation explique probablement l'amélioration de digestibilité observée. Aucun effet supplémentaire de la xylanase n'a été observé (Co-Xyl vs Co) suggérant que son action dans les rations avec des coproduits de blé, tels que les résidus de biscuiterie et le remoulage, est limitée.

Apparent ileal and total digestibility of nutrients in growing pigs: effect of pelleting, xylanase and by-products

The aim of this study was to determine the effect of xylanase and pelleting on the digestibility of diets containing by-products. Six pigs were fitted with a T-canula at the distal ileum and received one of six experimental treatments according to a 6x6 Latin square design. The treatments were a feed based on maize-soya bean meal (T), another one based on by-products (Co) and the same feed but supplemented with xylanase (Co-Xyl), which were served either in mash or pelleted (P) form. The data were analysed using contrasts testing the effect of diet, pelleting and xylanase. Pelleting improved the digestibility of all feeds, with a marked effect in the control. In fact, the ileal digestibility (AID) of dry matter (DM), crude protein (CP), digestible energy (DE) and fat (EE) was increased with pelleting by 19%, 28%, 19% and 24%, respectively, for the control, whereas the improvements were 2%, 5%, 2% and 14% for the CoP ration and 9%, 8%, 8% and 17% for Co-P-Xyl ($P < 0.01$). The ileal digestibility of amino acids (AA) followed the trend of CP ($P < 0.01$). The total tract digestibility (ATTD) of ADF and NDF fibres was increased with pelleting for the control by 62% and 54%, respectively, and for the Co-P-Xyl feed by 65% and 45%, respectively ($P < 0.01$). The rupture of plant cell walls with pelleting probably explains the improvement in digestibility observed. No effect of xylanase was observed between Co and Co-Xyl, suggesting that its action in feeds containing wheat by-products such as bakery meal and wheat middlings is limited.

INTRODUCTION

Avec l'objectif de réduction des coûts d'alimentation en production porcine, les rations conventionnelles à base de céréales et de tourteau d'oléagineux sont modifiées par l'inclusion de coproduits. De façon générale, les coproduits ont une plus faible concentration en amidon et sont plus riches en fibres. Leur digestibilité étant variable, notamment en raison d'un apport en nutriment qui n'est pas toujours constant induit un risque de réduction de performance de croissance lorsqu'ils sont incorporés à un haut taux d'inclusion (Zijlstra *et al.*, 2010). En fait, un taux élevé de fibres dans la ration en dilue la concentration en nutriments et affecte plusieurs processus de la digestion en plus d'augmenter les pertes endogènes (Yin *et al.*, 2000 ; Noblet et Le Goff, 2001 ; Le Gall *et al.*, 2009). Il a été montré que l'ajout de xylanase exogène dans les rations riches en fibres pour poulets de chair permet d'atteindre de meilleures performances. En effet, la xylanase ajoutée aux rations pour oiseaux a permis d'augmenter la proportion de xylooligosaccharides et ainsi de diminuer la viscosité du digesta (Cowieson *et al.*, 2007). Par contre, les résultats sont plus variables chez le porc où certains auteurs notent une amélioration de la digestibilité de moulées fibreuses avec l'ajout de xylanase exogène alors que d'autres ne voient pas d'effets significatifs (Nortey *et al.*, 2007 ; Woyengo *et al.*, 2008). La granulation des aliments est un procédé largement utilisé en alimentation porcine et donne généralement de meilleures performances de croissance qu'un aliment présenté sous forme de farine (Chae *et al.*, 1997 ; Medel *et al.*, 2004). Ce procédé permet également une amélioration de la digestibilité des nutriments (Chae *et al.*, 1997 ; Medel *et al.*, 2004 ; Lahaye *et al.*, 2008). Cette amélioration de la digestibilité s'expliquerait par la rupture des parois cellulaires des ingrédients ce qui permet de libérer les nutriments et de les rendre accessibles aux enzymes du système digestif (Graham *et al.*, 1989 ; Vande Ginste et De Schrijver, 1998 ; Lahaye *et al.*, 2008).

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet de la xylanase et de la granulation sur la digestibilité de rations comportant des coproduits fréquemment utilisés à l'Est du Canada tels que les résidus de biscuiterie, le remoulage de blé et les drêches de distillerie de maïs avec solubles.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et chirurgie

Six porcs mâles castrés ((Yorkshire x Landrace) x Duroc) ont été utilisés pour cette étude. Les porcs étaient logés dans des parcs individuels sur caillebotis. Suite à une période d'adaptation de 10 jours, les chirurgies pour installer les canules iléales en T ont été pratiquées (Wubben *et al.*, 2001) et ont été suivies d'une période de récupération de 2 semaines avant le début de l'expérimentation.

1.2. Plan expérimental

Les animaux ont été pesés au début de chaque période expérimentale et ont reçu un des six traitements alimentaires distribués de façon à ce que les traitements ne soient pas répétés au cours d'une même période et que chaque porc reçoive une ration différente par période selon le dispositif expérimental en carré latin 6x6 (six porcs, six périodes expérimentales et six rations expérimentales). La quantité d'aliment distribuée quotidiennement était équivalente à trois

fois les besoins en énergie métabolisable (EM) à l'entretien (106 kJ EM/j/PV^{0,75} ; NRC, 1998). La quantité totale d'aliment par jour était divisée en deux repas égaux distribués à 08h00 et 16h00. Le calcul de la quantité à offrir par jour a été établi au début de chaque période selon le poids de l'animal mesuré à ce stade. Les collectes de digesta, d'une durée de huit heures, ont eu lieu au jour 10 et 11 de chaque période expérimentale. Les fèces ont été récoltées avant la collecte du digesta, soit au jour 9. Tous les échantillons ont été congelés à -20°C immédiatement après leur prélèvement puis lyophilisés avant les analyses chimiques.

1.3. Rations expérimentales

L'expérience comportait trois aliments de base qui étaient présentés soit sous forme de farine (F) ou de granules (G) pour un total de six rations. Les rations témoin positif (T-F et T-G), avec coproduit (Co-F et Co-G) et avec coproduit plus xylanase (Co-Xyl-F et Co-Xyl-G) sont présentées au tableau 1. Lors de la formulation des rations Co et Co-Xyl, une partie du maïs et du tourteau de soja ont été substitués par les drêches de distillerie de maïs avec solubles, le remoulage de blé et les résidus de biscuiterie. Un marqueur indigestible, le dioxyde de titane, a été ajouté aux aliments afin de permettre le calcul des digestibilités apparentes par la suite.

1.4. Analyses en laboratoire

Les échantillons d'aliment, de digesta et de fèces lyophilisés ont été broyés à l'aide d'un CT 193 CyclotecTM (FOSS North America, Eden Prairie, MN, USA). Tous ces échantillons ont par la suite été analysés pour la matière sèche (MS, méthode 935.29), l'énergie brute (EB, Parr 6300 Calorimeter, Parr Instrument Company, Moline, IL, USA), les protéines brutes (PB, méthode 976,05) et les fibres NDF et ADF (Ankom 2000 Fiber Analyzer, Ankom Technology, Macedon, NY, USA) (AOAC International, 2007). Le dosage des matières grasses (EE : extractif à l'éther, méthode 2003.05 ; SoxtecTM 2050 ; FOSS North America, Eden Prairie, MN, USA) et des acides aminés (AA, Phenomenex, EZ : faast, CA, USA) a été réalisé seulement pour les échantillons d'aliments et de digesta. L'analyse du dioxyde de titane (TiO₂) a été effectuée par dosage colorimétrique selon la méthode décrite par Myers *et al.* (2004) dans laquelle l'étape de minéralisation se fait dans un appareil de digestion Kjeldahl.

1.5. Analyses statistiques

Les données ont été analysées en utilisant la procédure Mixed de SAS (v9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Les différences ont été considérées comme significatives avec $P < 0,05$ et les tendances avec $P < 0,10$. L'unité expérimentale était le porc. Les données ont été analysées à l'aide de contrastes afin de déterminer les effets du régime (T vs Co ; Co vs Co-Xyl) et de la granulation (F vs G) ainsi que de l'interaction Régime x Granulation. Le modèle statistique avait comme variables fixes le régime et la granulation. La période de collecte et les porcs étaient inclus dans le modèle comme effets aléatoires étant donné qu'ils ont une influence sur les résultats de digestibilités apparentes.

2. RESULTATS

2.1. Digestibilité iléale apparente

Le taux de récupération du titane n'a pas été mesuré étant donné que les collectes de digesta effectuées dans cette étude étaient partielles.

Tableau 1 – Composition des rations expérimentales

Formules	Témoïn		Coproducts		Coproducts-xylanase	
	T-F et T-G	Co-F et Co-G	Co-F et Co-G	Co-Xyl-F et Co-Xyl-G	Co-Xyl-F et Co-Xyl-G	Co-Xyl-F et Co-Xyl-G
Ingrédients (kg)						
Maïs	754,6	510,1	510,1		510,1	
Tourteau de soja	117,2	63,3	63,3		63,3	
Blé	100,0	-	-		-	
Drêches de maïs	-	50,0	50,0		50,0	
Remoulage de blé	-	200,0	200,0		200,0	
Résidus de biscuiterie	-	150,0	150,0		150,0	
DL-Méthionine	0,2	0,1	0,1		0,1	
L-Lysine-HCl	3,2	4,0	4,0		4,0	
L-Thréonine	0,8	1,0	1,0		1,0	
Phosphate monocalcique	3,9	0,1	0,1		0,1	
Chaux	12,0	13,3	13,3		13,3	
Sel	2,0	2,0	2,0		2,0	
Prémix ¹	3,0	3,0	3,0		3,0	
Dioxyde de titane	3,0	3,0	3,0		3,0	
Econase XT ²	-	-	-		0,1	

1. Tous les régimes sont supplémentés avec 750 UI/kg de phytase.

2. Le supplément de xylanase apportait 18 250 bxu/kg.

Tableau 2 – Composition nutritionnelle (analysée) des rations expérimentales

Formules	Témoïn		Coproducts		Coproducts-Xylanase	
	F	G	F	G	F	G
Nutriments						
MS %	89,6	89,4	89,8	90,2	89,9	89,9
EB MJ/kg	17,6	18,0	18,4	18,4	18,4	18,4
PB %	12,8	12,8	14,4	14,4	15,6	15,3
EE %	2,7	3,0	5,4	5,4	4,7	5,2
ADF %	3,7	3,4	7,3	6,8	6,5	6,2
NDF %	8,6	7,9	16,3	16,1	14,5	13,9
TiO ₂ ppm	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9

F : en farine, G : en granule, MS : matière sèche, EB : énergie brute, PB : protéine brute, EE : extrait à l'éther, ADF : fibres solubles au détergent acide, NDF : fibres solubles au détergent neutre, TiO₂ : dioxyde de titane

Les résultats indiquent une amélioration de la digestibilité iléale apparente (DIA) de la MS, PB, EB et EE avec la granulation de 19, 28, 19 et 24%, respectivement pour la ration T ($P < 0,01$), de 2, 5, 2 et 14% pour la ration Co ($P < 0,01$) et de 9, 8, 8 et 17% pour la ration Co-Xyl ($P < 0,01$). Par contre, la granulation n'a pas eu d'effet sur la DIA des fibres ADF et NDF ($P = 0,54$ et $P = 0,38$).

L'ajout de xylanase n'a pas eu d'effet sur l'augmentation associée à la granulation pour la DIA des différentes composantes du régime. Toutefois, l'ajout de xylanase au régime Co a réduit la DIA du NDF ($P < 0,03$) et tendait à réduire la DIA du ADF ($P < 0,07$).

Pour ce qui est des AA, leur DIA est améliorée par la granulation ($P < 0,01$) à l'exception de la glycine ($P = 0,05$), la sérine

($P = 0,09$) et la proline ($P = 0,07$). Toutefois, l'amélioration était plus prononcée pour le régime T en comparaison au régime Co (Interaction ration T/Co x granulation) sauf pour la thréonine ($P < 0,06$), la sérine ($P < 0,11$) et la proline ($P < 0,16$). L'ajout de xylanase au régime Co a réduit la DIA de l'acide aspartique ($P < 0,01$) et a modifié l'effet de la granulation sur la DIA de l'acide glutamique en l'améliorant de 4,4% en comparaison de 1% pour le régime Co (Interaction ration Co/Co-Xyl x granulation, $P < 0,01$).

2.2. Digestibilité totale apparente

Pour la digestibilité totale apparente (DTA), la granulation a permis de l'améliorer pour la MS, PB, ADF, NDF et EB de 11, 16, 62, 65 et 12%, respectivement dans la ration T, de 2, 3, 0, 9 et 3% dans la ration Co, et de 8, 8, 54, 45 et 9% dans la ration Co-Xyl ($P < 0,01$). Toutefois, l'effet de la granulation sur la DTA de toutes les composantes est plus marqué dans les rations T et Co-Xyl que dans la ration Co (Interaction ration T/Co et Co/Co-Xyl x granulation, $P < 0,05$).

3. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de déterminer l'impact de l'ajout de coproduits et de la granulation sur la DIA et la DTA des nutriments. L'augmentation de la DIA et DTA avec la granulation de la ration peut s'expliquer dans un premier temps par une modification de la taille des particules. En effet, le passage de la ration en farine dans l'appareil à granulation permet d'uniformiser la distribution de la taille des particules par une action de compression et de cisaillement (Svihus *et al.*, 2004).

Les particules plus grossières deviennent alors plus fines et morcelées ce qui augmente leur surface de contact avec les enzymes digestives (Lahaye *et al.*, 2008 ; Lundblad *et al.*, 2011). La combinaison des composantes de la granulation (pression, chaleur, humidité) permet la rupture des parois cellulaires des ingrédients végétaux. Par cette action, des nutriments peuvent être libérés et l'accès à l'intérieur de la paroi est facilité pour les enzymes digestives (Graham *et al.*, 1989 ; Vande Ginste and De Schrijver, 1998 ; Lahaye *et al.*, 2008).

Il est possible de remarquer que la ration T bénéficie davantage de la granulation que la ration Co. La ration T comporte une forte proportion de maïs (75%) comparativement à la ration Co où il représente 50% avec une partie remplacée par les drêches, les résidus de biscuiterie et le remoulage de blé. Ces trois coproduits ont déjà subi des procédés technologiques mettant en œuvre de la chaleur comparativement à une céréale crue comme le maïs. En effet, un traitement thermique est souvent associé avec la production de coproduits en raison de la mouture plus fine effectuée ou d'un procédé de fermentation qui dégagent tous deux de la chaleur. Cela a pour effet de les rendre plus digestibles (Medel *et al.*, 2004). De plus, les coproduits possèdent souvent une taille de particule plus fine que les céréales crues. L'accès aux enzymes digestives est plus facile dans ce cas ce qui contribuerait à améliorer la digestibilité (Vukmirović *et al.*, 2017). La ration T profite donc plus de la granulation puisqu'une grande partie de ces ingrédients (maïs et blé) sont crus comparé à la ration Co où une partie importante des ingrédients ont déjà subi un traitement thermique et sont moulus plus finement.

Le type de régime, et plus spécifiquement la disponibilité du substrat de la xylanase, joue un rôle majeur sur l'effet observé de l'enzyme. Les régimes riches en fibres ont généralement une plus faible digestibilité et donc un plus fort potentiel

d'amélioration avec l'addition de xylanase (Yin *et al.*, 2000 ; Zijlstra *et al.*, 2010). Or, comme le montrent les résultats, aucun

effet de la xylanase dans la ration Co-Xyl n'est rapporté sur les DIA de la MS, PB, EB et EE.

Tableau 3 – Effet du type de ration et de la granulation sur la digestibilité iléale apparente (%) de MS, PB, ADF, NDF, EB et EE

Formules	Témoïn		Coproducts		Coproducts-Xylanase		Erreur type	Contraste Régime		Effet granulation	Contraste Interaction	
	F	G	F	G	F	G		T vs Co	Co vs Co-Xyl		T vs Co	Co vs Co-Xyl
MS	62,5	76,7	68,7	70,4	65,4	72,1	1,8	0,95	0,65	< 0,01	< 0,01	0,16
PB	53,5	74,7	70,1	74,1	70,5	77,0	1,6	< 0,01	0,31	< 0,01	< 0,01	0,43
ADF	-38,2	-16,1	28,4	16,3	12,4	10,9	7,0	< 0,01	0,07	0,54	< 0,01	0,36
NDF	-33,0	-12,7	31,1	17,4	12,5	15,7	6,3	< 0,01	0,03	0,38	< 0,01	0,07
EB	62,9	77,7	70,1	71,9	67,7	73,1	1,7	0,68	0,66	< 0,01	< 0,01	0,12
EE	67,8	89,8	77,2	89,5	74,8	89,8	1,6	< 0,01	0,51	< 0,01	< 0,01	0,40

1. Abréviations : voir tableau 2

2. Modèle : contraste T vs Co et Co vs Co-Xyl pour le type de régime et l'interaction régime x granulation, effet principal de la granulation

Tableau 4 – Effet du type de ration et de la granulation sur la digestibilité iléale apparente des acides aminés

Formules	Témoïn		Coproducts		Coproducts-Xylanase		Erreur type	Contraste Régime		Effet granulation	Contraste Interaction	
	F	G	F	G	F	G		T vs Co	Co vs Co-Xyl		T vs Co	Co vs Co-Xyl
AA												
Essentiels												
Ile	66,8	81,5	79,9	81,5	77,2	80,5	1,7	<0,01	0,25	<0,01	<0,01	0,59
Leu	74,8	86,5	83,9	86,2	82,3	85,3	1,3	<0,01	0,33	<0,01	<0,01	0,78
Lys	76,2	86,7	84,2	86,3	85,9	86,6	1,4	<0,01	0,46	<0,01	<0,01	0,57
Phe	71,6	83,8	83,2	84,1	81,6	83,8	1,5	<0,01	0,50	<0,01	<0,01	0,64
Thr	70,3	83,9	83,1	87,4	85,0	88,4	3,1	<0,01	0,52	<0,01	0,06	0,84
Val	62,5	79,5	77,8	80,1	75,2	79,3	1,9	<0,01	0,33	<0,01	<0,01	0,60
Non essentiels												
Ala	64,8	80,7	78,4	80,5	73,7	80,3	1,8	<0,01	0,17	<0,01	<0,01	0,20
Asp	68,5	85,7	83,8	85,7	78,1	83,8	1,6	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,19
Glu	88,3	93,7	93,9	94,9	88,6	93,0	0,7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Gly	46,7	62,2	68,9	65,1	63,6	67,3	3,3	<0,01	0,62	0,05	<0,01	0,23
Ser	79,6	86,9	89,1	89,0	88,3	90,8	2,5	0,02	0,83	0,09	0,11	0,57
Pro	69,9	67,5	78,4	66,2	74,5	73,3	4,1	0,29	0,63	0,07	0,16	0,11
Tyr	83,7	91,0	90,6	92,0	91,6	92,4	0,9	<0,01	0,36	<0,01	<0,01	0,67

1. Abréviations : voir tableau 2

2. Modèle : contraste T vs Co et Co vs Co-Xyl pour le type de régime et l'interaction régime x granulation, effet principal de la granulation

Tableau 5. Effet du type de ration et de la granulation sur la digestibilité totale apparente de MS, PB, ADF, NDF et EB

Formules	Témoïn		Coproducts		Coproducts-Xylanase		Erreur type	Contraste Régime		Effet granulation	Contraste Interaction	
	F	G	F	G	F	G		T vs Co	Co vs Co-Xyl		T vs Co	Co vs Co-Xyl
MS	82,0	91,7	81,0	83,0	79,1	85,9	1,0	<0,01	0,57	<0,01	<0,01	0,01
PB	73,6	87,9	78,1	80,3	77,0	84,1	1,7	0,19	0,26	<0,01	<0,01	0,05
ADF	19,1	50,5	36,5	35,4	19,8	43,0	4,2	0,78	0,29	<0,01	<0,01	<0,01
NDF	17,4	49,1	43,0	47,0	26,9	48,6	4,2	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	0,03
EB	80,0	91,4	80,1	82,8	78,4	85,9	1,1	<0,01	0,51	<0,01	<0,01	0,02

1. Abréviations : voir tableau 2

2. Modèle : contraste T vs Co et Co vs Co-Xyl pour le type de régime et l'interaction régime x granulation, effet principal de la granulation

Le xylan, principal substrat de la xylanase, peut représenter 59 à 66% des polysaccharides non-amylacés totaux contenus dans le blé et ses coproduits (Rosenfelder *et al.*, 2013). Par contre, les rations Co-Xyl utilisées dans cette étude ne comportaient pas une grande proportion de blé et ses coproduits qui représentaient seulement 35% des ingrédients de la ration. Par ailleurs, il s'agit de coproduits ayant subi un procédé de raffinement et non de blé cru ce qui les rend plus digestibles

(Medel *et al.*, 2004). Dans la littérature scientifique, les études montrant un effet de la xylanase sur la digestibilité des fibres sont réalisées avec des rations comportant 60% et plus de blé cru (Yin *et al.*, 2000 ; Diebold *et al.*, 2004 ; Woyengo *et al.*, 2008) ou bien 20 à 40% de remoulage de blé (Nortey *et al.*, 2007 ; 2008). La ration Co-Xyl utilisée dans le cadre de cette étude contenait probablement une quantité insuffisante du substrat de la xylanase pour que l'enzyme puisse améliorer la DIA de

façon significative. Par ailleurs, la teneur en fibres NDF des rations Co-F et Co-G (16,3 et 16,1% respectivement) n'a pas affecté négativement la digestibilité des nutriments. Li et al. (1994) rapportent une observation similaire, en mentionnant que les porcs peuvent tolérer la présence de fibres NDF dans la ration jusqu'à 16,8% sans diminution de la digestibilité des acides aminés.

Les valeurs négatives de la DIA des fibres ADF et NDF de la ration T-F et T-G peuvent être dues à l'échantillonnage du digesta. En effet, l'utilisation d'une canule en T ne permet qu'un échantillonnage partiel. De plus, le changement de pression lors de l'ouverture de la canule peut entraîner une ségrégation des particules qui peut être plus importante dans les aliments riches en fibres. Il est donc possible de se demander si l'échantillon de digesta représente vraiment le digesta dans le tractus gastro-intestinal du porc (Wilfart et al., 2007). D'autre part, les DIA négatives des fibres NDF et ADF sont explicables par le type de digestibilité évalué dans cette étude. En effet, la digestibilité était apparente et dépend donc de la concentration initiale en nutriments dans la ration. Dans les rations T-F et T-G, la concentration en fibres ADF et NDF était d'environ 3,5 et 8,2% respectivement ce qui est faible. La teneur en fibres est plus élevée à leur arrivée à l'iléon étant donné qu'elles ne sont pas digérées par le porc mais plutôt fermentées par les microorganismes à l'intérieur du colon. La combinaison d'une faible teneur dans l'alimentation et d'une concentration importante de fibres à l'iléon lors du calcul de la DIA explique les digestibilités négatives observées. Des valeurs négatives de la DIA chez les animaux monogastriques ont souvent été rapportées dans la littérature (Wilfart et al., 2007 ; Cadogan and Choct, 2015; Montoya et al., 2016). Physiologiquement, les valeurs négatives pour la DIA ne sont pas possibles car il n'y a pas de perte endogène de fibres (Montoya et al., 2016).

Ainsi, cela met en évidence la présence de substances non alimentaire dans le tractus gastro-intestinal, telles que des mucines ou bien des bactéries au niveau iléal, qui se mêlent à l'analyse des fibres en diluant leur teneur dans le digesta ainsi que la concentration du marqueur non digestible (Montoya et al., 2016 ; Cadogan and Choct, 2015).

Les résultats observés pour la DIA et DTA des fibres ADF et NDF montrent que la digestibilité semble plus faible dans la ration supplémentée en xylanase et présentée sous forme de farine comparativement à la ration Co-F sans xylanase. En revanche, lorsque la ration Co-Xyl est granulée, les porcs ont des valeurs de DIA et de DTA du NDF et du ADF similaires à celle de la ration Co. Certains auteurs ont remarqué une augmentation de 6 fois la DIA et de 3 fois la DTA des NSP lorsque l'enzyme est ajoutée dans une ration ayant reçu un traitement thermique tel que la granulation comparativement à une ration sans traitement technologique (Graham *et al.*, 1989). La valeur de digestibilité plus élevée dans la ration Co-P-Xyl comparée à la ration Co-Xyl pourrait donc s'expliquer par une efficacité accrue de l'enzyme exogène due à la chaleur appliquée durant le procédé de granulation.

4. CONCLUSION

En conclusion, la granulation permet d'améliorer la digestibilité iléale et totale des nutriments dans des rations riches en fibres comportant des coproduits fréquemment retrouvés à l'Est du Canada. L'effet est cependant plus marqué dans une ration conventionnelle à base de maïs et de tourteau de soja. L'ajout de xylanase aux rations comportant des coproduits, comme de la drêche de maïs et du remoulage de blé, présente peu d'intérêt dans l'optique d'une amélioration de la DIA et de la DTA. Il reste maintenant à évaluer si ces effets positifs de la granulation se traduisent bien en termes de performances telles que l'efficacité alimentaire et la vitesse de croissance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC International, 2007. Official methods of analysis. Horwitz W., Latimer, G. W., 18e édition, Assoc. Off. Anal. Chem., Arlington.
- Baird D.M., 1973. Influence of pelleting swine diets on metabolizable energy, growth and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, 36, 516-521.
- Cadogan D.J., Choct M., 2015. Pattern of non-starch polysaccharide digestion along the gut of the pig: Contribution to available energy. *Anim. Nutr.*, 1, 160-165.
- Chae B.J., Han I.K., Kim J.H., Yang C.J., Ohh S.J., Rhee Y.C., Chung Y.K., 1997. Effects of feed processing and feeding methods on growth and carcass traits for growing-finishing pigs. *Asian Austr. J. Anim.*, 10, 164-169.
- Cowieson A.J., Hruby M., Faurschou Isaksen M., 2007. The effect of conditioning temperature and exogenous xylanase addition on the viscosity of wheat-based diets and the performance of broiler chickens. *Brit. Poultry Sci.*, 46, 717-724.
- Diebold G., Mosenthin R., Piepho H.P., Sauer W.C., 2004. Effect of supplementation of xylanase and phospholipase to a wheat-based diet for weaning pigs on nutrient digestibility and concentrations of microbial metabolites in ileal digesta and feces. *J. Anim. Sci.*, 82, 2647-2656.
- Graham H., Fadel J.G., Newman C.W., Newman R.K., 1989. Effect of pelleting and β -glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of a barley-based diet in the pig. *J. Anim. Sci.*, 67, 1293-1298.
- Lahaye L., Ganier P., Thibault J.N., Riou Y., Sève B., 2008. Impact of wheat grinding and pelleting in a wheat-rapeseed meal diet on amino acid ileal digestibility and endogenous losses in pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 141, 287-305.
- Le Gall M., Warpechowski M., Jaguelin-Peyraud Y., Noblet J., 2009. Influence of dietary fibre level and pelleting on the digestibility of energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Animal*, 3, 352-359.
- Li S., Sauer W.C., Hardin R.T., 1994. Effect of dietary fibre level on amino acid digestibility in young pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 74, 327-333.
- Lundblad K.K., Issa S., Hancock J.D., Behnke K.C., McKinney L.J., Alavi S., Prestløkken E., Fledderus J., Sørensen M., 2011. Effects of steam conditioning at low and high temperature, expander conditioning and extruder processing prior to pelleting on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs and broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 169, 208-217.
- Medel P., Latorre M.A., de Blas C., Lázaro R., Mateos G.G., 2004. Heat processing of cereals in mash or pellet diets for young pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 113, 127-140.
- Montoya C.A., Henare S.J., Rutherford S.M., Moughan P.J., 2016. Potential misinterpretation of the nutritional value of dietary fiber: correcting fiber digestibility values for nondietary gut-interfering material. *Nutr. Rev.*, 74, 517-533.
- Myers W., Ludden P., Nayigihugu V., Hess B., 2004. A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *J. Anim. Sci.*, 82, 179-183.
- Noblet J., Le Goff G., 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 90, 35-52.

- 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.
- Nortey T.N., Patience J.F., Sands J.S., Trottier N.L., Zijlstra R.T., 2008. Effects of xylanase supplementation on the apparent digestibility and digestible content of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in wheat and wheat by-products from dry milling fed to grower pigs. *J. Anim. Sci.*, 86, 3450-3464.
- NRC, 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10e édition, Natl. Acad. Press, Washington, 189 p.
- Rosenfelder P., Eklund M., Mosenthin R., 2013. Nutritive value of wheat and wheat by-products in pig nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 185, 107-125.
- Svihus B., Kløvstad K.H., Perez V., Zimonja O., Sahlström S., Schüller R.B., Jeksrud W.K., Prestløkken E., 2004. Physical and nutritional effects of pelleting of broiler chicken diets made from wheat ground to different coarsenesses by the use of roller mill and hammer mill. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 117, 281-293.
- Vande Ginste J., De Schrijver R., 1998. Expansion and pelleting of starter, grower and finisher diets for pigs: effects on nitrogen retention, ileal and total tract digestibility of protein, phosphorus and calcium and in vitro protein quality. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 72, 303-314.
- Vukmirović Đ., Čolović R., Rakita S., Brlek T., Đuragić O., Solà-Oriol D., 2017. Importance of feed structure (particle size) and feed form (mash vs. pellets) in pig nutrition – A review. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 233, 133-144.
- Wilfart A., Montagne L., Simmins H., Noblet J., van Milgen J., 2007. Effect of fibre content in the diet on the mean retention time in different segments of the digestive tract in growing pigs. *Livest. Sci.*, 109, 27-29.
- 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.
- Wubben J.E., Smiricky M.R., Albin D.M., Gabert V.M., 2001. Improved procedure and cannula design for simple-T cannulation at the distal ileum in growing pigs. *J. Am. Assoc. Lab. Anim.*, 40, 27-31.
- 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 and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. *Livest. Prod. Sci.*, 62, 119-132.
- Zijlstra R.T., Owusu-Asiedu A., Simmins P.H., 2010. Future of NSP-degrading enzymes to improve nutrient utilization of co-products and gut health in pigs. *Livest. Sci.*, 134, 255-257.