

Chapitre 2
**Impact du type de fibres et de l'ajout de xylanase sur la
digestibilité iléale apparente des nutriments, les performances de
croissance et la qualité du gras chez le porc en
croissance-finition**

2.1 Résumé

Deux expérimentations ont été réalisées afin de déterminer l'effet de différentes sources de fibres issues d'ingrédients alternatifs et de la supplémentation en xylanase en matière de digestibilité iléale apparente (DIA) de l'énergie et des nutriments, sur les performances de croissance, la qualité du gras et la composition corporelle chez le porc en croissance-finition.

Dans l'expérience 1, six castrats porteurs d'une canule iléale simple en T (PV initial = 26,4 kg) ont été alimentés avec six traitements alimentaires dans un dispositif en carré latin 6 x 6 afin d'évaluer la DIA de l'énergie brute, de la matière sèche, de la matière organique, des cendres, des protéines brutes, des lipides bruts, de l'ADF et du NDF, des NSP solubles et insolubles, du calcium et du phosphore. Un aliment témoin faible en fibre à base de maïs et tourteau de soya (*Témoin*), un aliment riche en fibres provenant de coproduits du blé (*HFW*) et un aliment riche en fibres provenant de coproduits du maïs et du canola (*HFC*) ont été servis sans ou avec l'ajout de xylanase (*Témoin-X*, *HFW-X* et *HFC-X*) dans un plan factoriel 3 x 2. Les porcs recevaient l'aliment pendant une période de 14 jours et les collectes de digesta iléal s'effectuaient aux jours 13 et 14. Dans l'essai de digestibilité, les traitements élevés en fibres avaient une meilleure DIA des lipides bruts et de l'ADF et du NDF et ne montraient aucun effet négatif sur la DIA des autres composants nutritionnels. Une interaction xylanase x aliments a été observée pour la DIA du NDF avec l'ajout de xylanase pour l'aliment *HFW-X*. Mis à part cette interaction, aucun effet de la supplémentation en xylanase n'a été observé sur la DIA des nutriments et de l'énergie. Dans l'expérience 2, les performances de croissance et la composition des carcasses ont été évaluées chez soixante porcs mâles castrés en finition (PV initial = 83,0 kg) dans un essai d'alimentation de 28 jours. La masse protéique et lipidique ainsi que le contenu minéral osseux et la densité minérale osseuse ont été mesurés par absorption biphotonique à rayons X (DXA) au début et à la fin de l'expérimentation. Les cinq traitements alimentaires avaient une composition semblable à ceux de l'essai de digestibilité, mais ils étaient formulés pour des porcs en finition : un aliment témoin faible en fibres (*Témoin*), deux aliments riches en fibres, l'un à base de coproduits du blé (*HFW*) et le second à base de coproduits du maïs et du canola (*HFC*), et ces deux mêmes aliments riches en fibres supplémentés en xylanase (*HFW-X* et *HFC-X*). Dans l'essai de croissance, les porcs du traitement *Témoin* ont montré une consommation moyenne journalière (CMJ) (P=0,004) et un gain moyen quotidien (GMQ) (P=0,014) supérieur en comparaison aux aliments riches en fibres pour la période

d0-14, mais pas entre 15 et 28 jours. Les performances de croissances globales (d0-28) indiquent une augmentation de 9,5 % de la CMJ, mais pas d'amélioration pour le GMQ et l'efficacité alimentaire. La supplémentation en xylanase de l'aliment *HFC-X* a diminué significativement le gain de contenu minéral osseux des porcs. En raison d'une teneur plus faible en acides gras insaturés, l'indice d'iode des bajoues du traitement *Témoin* était plus faible que celui des aliments à base d'ingrédients alternatifs. Aucune autre variation de la composition corporelle n'a été observée entre les groupes.

En conclusion, les hauts niveaux de fibres alimentaires n'ont pas affecté la DIA de l'énergie et des nutriments ainsi que les performances de croissance des porcs dans ces expérimentations. L'usage de la xylanase n'a pas amélioré ces mêmes paramètres. L'inclusion d'ingrédients alternatifs a augmenté l'insaturation des acides gras de la carcasse, mais à des niveaux non problématiques.

2.2 Abstract

Two experiments were conducted to evaluate different dietary fibre sources from alternative feedstuffs and xylanase supplementation on energy and nutrients apparent ileal digestibility (AID), growth performance and body composition in growing-finishing pigs.

In experiment 1, six ileally cannulated pigs (initial BW = 26.4 kg) were fed six diets in a 6 x 6 Latin square design to evaluate AID of gross energy, dry matter, organic matter, ash, crude protein, crude lipids, ADF, NDF, soluble and insoluble NSP, calcium and phosphorus. Treatments were low fibre corn-soybean meal based diet (*Control*), high fibres from wheat byproducts (*HFW*) and high fibres from corn and canola byproducts (*HFC*) without or with xylanase (*X*) supplementation (*Control-X*, *HFW-X* and *HFC-X*) in a 3 x 2 factorial arrangement. Pigs received the diet for 14 days and digesta were collected during day 13 and 14. In digestibility trial, fibre rich treatments improved lipids, ADF and NDF AID and had no harmful effects on energy and nutrients AID. A xylanase x diet interaction was observed for NDF AID of *HFW-X* diet. Apart from this interaction, no effect of xylanase supplementation was observed on energy and nutrients AID. In experiment 2, growth performance and body composition of sixty finishing barrows (initial BW = 83.0 kg) were evaluated in a 28-d feeding trial. Body fat, lean, bone mineral content and density were estimated by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) at the beginning and end of the trial. The five dietary treatments were similar to those studied in the digestibility trial in their ingredients composition, but they were formulated for finishing pigs: positive control low in fibre (*Control*), wheat byproducts (*HFW*) and corn and canola byproducts (*HFC*) high fibre diets and high fibre xylanase supplemented diets (*HFW-X* and *HFC-X*). In growing trial, pigs fed the *Control* diet had greater ADFI (P=0.004) and ADG (P=0.014) compared with fibre rich diets for period 0-14d but not 15-28d. Global growth performance (0-28d) indicated that *Control* increased 9.5% ADFI but not ADG and feed efficiency. Xylanase supplementation in *HFC-X* diet significantly decreased gain of bone mineral content. Because of a lower unsaturated fatty acid content, jowl fat iodine value of *Control* diet was lower than fibre rich diets. No other differences in carcass composition were observed between feeding groups. In conclusion, the high fibre level didn't affect energy and nutrients AID and performance of pigs in these experiments. Xylanase use didn't improve these parameters, possibly owing to the lack of negative effects of fibres. Inclusion of alternative feedstuff increase carcass iodine value, but to non-problematic levels.

2.3 Introduction

Le maïs, le tourteau de soya et les céréales sont les principaux ingrédients qui constituent les aliments pour porcs dans l'Est du Canada. Les dernières années ont été marquées par une hausse du prix de ces ingrédients (MAPAQ, 2015). Ainsi, des ingrédients alternatifs comme les drêches de distillerie, le gru de blé et le tourteau de canola ont progressivement pris plus de place sur les marchés de l'alimentation animale compte tenu de prix parfois très compétitifs (Zijlstra et al., 2010). Toutefois, la quantité de ces ingrédients pouvant être introduite dans un aliment complet pour porc est limitée, notamment à cause de leur forte teneur en fibres alimentaires qui sont faiblement dégradées chez les monogastriques (AACC, 2001).

Les fibres des parois cellulaires végétales, composées en grande partie d'arabinoxylanes, créent un effet d'encapsulation des nutriments à l'intérieur des cellules, ce qui diminue la digestibilité de l'aliment (Prade, 1995). De plus, selon leurs propriétés physicochimiques, notamment leur viscosité, les fibres alimentaires peuvent avoir des effets négatifs sur la digestion des composants nutritionnels et l'absorption des nutriments et de l'énergie (Choct et Annison, 1992). La majorité des fibres présentes dans l'alimentation des porcs sont des fibres insolubles, qui ont moins d'effets négatifs sur le porc que celles qui sont solubles (Wenk, 2001). Les fibres solubles sont principalement retrouvées dans les céréales visqueuses tels le blé, l'orge, le seigle, l'avoine et le triticale ainsi que leurs coproduits, alors que les fibres insolubles sont en plus grande proportion dans les grains non visqueux et leurs dérivés tels le maïs, le sorgho, le millet et le riz (Choct, 2006). Par ailleurs, la consommation de fibres en général induit une accélération du transit intestinal (Le Goff et al., 2002) et une augmentation du volume du bolus alimentaire (Low, 1989) ainsi que de l'encombrement stérique du système digestif, ce qui offre à l'animal une sensation de satiété et peut diminuer sa consommation alimentaire (Kerr et Shurson, 2013).

L'âge de l'animal est un facteur d'importance pour la dégradation des fibres puisqu'elle évolue dans le temps. Grâce à un transit intestinal plus lent, un système enzymatique plus mature et une plus grande population de microorganismes apte à hydrolyser les fibres, les porcs plus âgés sont plus efficaces pour dégrader les fibres alimentaires comparativement au porc en début de croissance (Le Goff et al., 2002; Diebold et al., 2004; Olukosi et al., 2007; Jha et Berrocoso, 2015). Ainsi, les effets négatifs des fibres alimentaires sont plus souvent observés chez les jeunes porcs, ce qui

explique pourquoi l'utilisation des ingrédients alternatifs est plus importante chez les porcs en fin de croissance/ finition.

La faible digestibilité des composants nutritionnels des ingrédients alternatifs, causée par leur teneur élevée en polysaccharides non amylacés (NSP), suggère que la supplémentation en carbohydrases exogènes est une mesure appropriée afin de limiter les effets néfastes des fibres alimentaires chez les monogastriques. Selon Gutierrez et al. (2014), la teneur en arabinoxylanes, une importante fraction des NSP, est fortement corrélée avec la diminution de la digestibilité de l'énergie et des fibres. Ainsi, l'utilisation de la xylanase, une enzyme qui hydrolyse les liaisons β 1-4 des xylanes, pourrait être efficace afin d'augmenter la digestibilité des aliments et potentiellement les performances de croissance chez le porc (Northey et al., 2007; Woyengo et al., 2008; Hanczakowska et al., 2012; Cho et al., 2016). Plus précisément, la xylanase hydrolyserait des polysaccharides des parois cellulaires et permettrait ainsi de réduire l'effet d'encapsulation des fibres et la viscosité du digesta (Bedford et Partridge, 2010; de Lange et al., 2010). Cependant, bien que l'ajout de carbohydrases à l'alimentation des espèces aviaires se montre généralement efficace, les résultats obtenus chez le porc demeurent plutôt inconstants (Bedford et Partridge, 2010).

Par ailleurs, en plus de leur teneur importante en fibres, certains ingrédients alternatifs peuvent dégrader la qualité du gras de la carcasse et mener à des produits moins aptes à la transformation et ayant une durée de vie en étalage réduite (Berg, 2000; Dunshea et D'Souza, 2003; Wood et al., 2008). Il s'agit plus précisément du contenu en lipides mono- et polyinsaturés qui causent ces effets indésirables, d'où l'utilisation de maximums d'incorporation de certains ingrédients.

L'objectif de cette étude était de déterminer l'effet de différents types de fibres issus d'ingrédients alternatifs (DDGS maïs, tourteau de canola et coproduits du blé) et de la supplémentation en xylanase sur la DIA de l'énergie et des composants nutritionnels ainsi que sur les performances de croissance, la qualité du gras et la composition corporelle chez le porc. La première hypothèse de recherche était que les niveaux de fibres apportés par les ingrédients alternatifs diminuent la DIA et limitent les performances de croissance des porcs. La seconde hypothèse était que l'ajout de xylanase aux aliments fibreux peut limiter ces effets néfastes, principalement pour les aliments ayant un contenu élevé en fibres solubles (HFW). Finalement, la dernière hypothèse était qu'une importante consommation d'ingrédients alternatifs affecte négativement la qualité du gras chez le porc en finition.

2.4 Matériels et méthodes

Pour les deux expériences, les animaux ont été logés et traités conformément aux directives du *Conseil Canadien de Protection des Animaux (CCPA, 2009)*, ainsi que selon le *Code de pratiques pour le soin et la manipulation des porcs (CNSAE, 2014)*.

2.4.1 Expérience 1 – Essai de digestibilité

2.4.1.1 Animaux et plan expérimental

Six porcelets mâles castrés ((Large White \times Landrace) \times Duroc) ont été utilisés pour cette étude. Dès leur arrivée, les sujets ont été logés aléatoirement dans des parcs individuels de 1 m \times 2 m. Les divisions de polychlorure de vinyle (PVC) présentaient des interstices permettant aux animaux d'avoir un contact visuel avec leurs congénères des parcs voisins. Le parc contenait un espace mangeoire simple, un abreuvoir à flotte ainsi qu'un objet d'enrichissement de l'environnement (balle ou corde). Les porcs ont été logés sur un plancher de béton plein additionné de litière (ripe de bois) renouvelée quotidiennement. La chambre était nettoyée au complet à l'eau et au savon une fois aux deux semaines. La température de la chambre a été maintenue à 22 °C et une photopériode de 12 h de lumière pour 12 h de noirceur a été appliquée pour toute la période expérimentale.

À leur arrivée, les porcs ont eu une période d'acclimatation de sept jours afin de s'habituer aux contacts humains ainsi qu'à leur nouvel environnement avant l'intervention chirurgicale pour la pose de la canule iléale. Durant la phase d'acclimatation, les animaux ont été nourris avec une moulée commerciale cubée pour porc en croissance (Agri-Marché inc., St-Isidore, Québec, Canada) restreinte à trois fois les besoins en énergie métabolisable pour l'entretien [106 kcal \times PV^{0,75}] (NRC, 1998).

La pose de la canule en T au niveau de l'iléon distal a été effectuée telle que décrite par Wubben et al. (2001). Suite à l'opération, une période de rétablissement d'un minimum de 17 jours a été accordée aux porcs avant le début de l'expérimentation. Par la suite, les six porcs ont été pesés (26,4 \pm 4,9 kg) et assignés aléatoirement à l'un des six traitements alimentaires dans un dispositif en carré latin 6 \times 6. Chacune des périodes expérimentales était d'une durée de 14 jours. Les douze

premiers jours de chaque période étaient considérés comme une période d'adaptation du porc à l'aliment et la collecte des digesta iléaux était effectuée aux jours 13 et 14.

2.4.1.2 Traitements alimentaires

Trois aliments différant dans leur teneur en fibres et dans la nature de celles-ci ont été étudiés. Un aliment témoin, de type maïs-tourteau de soya (*Témoin*) faible en fibres (9,5 % NDF) ainsi que deux aliments à plus haute teneur en fibres (15,5 % NDF), l'un provenant de coproduits du blé (*HFW*) et l'autre de coproduits du maïs et du canola (*HFC*), ont été formulées. La teneur des aliments pour les autres composants nutritionnels était semblable et basée sur les besoins d'un porc de 30 kg (NRC, 2012). Chacun de ces aliments a été ou non supplémenté en xylanase (*Econase XT*: AB Vista, Marlborough, UK, ≥ 20100 bxu/kg), pour un total de six traitements (Tableau 2.1 et Tableau 2.2) dans une distribution factorielle 3×2 . Les formulations ont été réalisées à partir des valeurs nutritionnelles de référence (NRC, 2012) et d'analyses préliminaires pour la farine de biscuits. Du dioxyde de titane (TiO_2) a été incorporé aux moulées (0,3 %) comme marqueur indigeste afin de calculer la digestibilité iléale apparente des composants alimentaires.

Lors de l'expérimentation, les aliments ont été distribués aux animaux sous forme de farine additionnée d'eau afin d'éviter le gaspillage. Les aliments étaient servis en deux repas égaux, à 8 h et 15 h et l'eau était offerte à volonté. Les quantités d'aliments servis étaient fixées en début de période expérimentale selon le poids vif (PV) individuel des porcs de façon à fournir environ trois fois les besoins en énergie métabolisable pour l'entretien (NRC, 1998).

2.4.1.3 Échantillonnage et mesures

La collecte des digesta iléaux, jours 13 et 14 de chaque période expérimentale, s'étalait en continu sur huit heures, plus précisément, de 8 h jusqu'à 16 h. De l'acide formique 10 % était ajouté aux digesta récoltés tout au long de la période de collecte afin de réduire l'activité microbienne et enzymatique. Les échantillons de digesta ont été mélangés uniformément à la fin de chaque journée de collecte et congelés à -20 °C jusqu'à l'analyse. Des échantillons de moulée ont été pris au début de chacune des périodes expérimentales et conservés congelés à -20 °C avant d'être homogénéisés et analysés.

Tableau 2.1 : Composition des aliments expérimentaux utilisés pour l'essai de digestibilité (Expérience 1).

	<i>Témoin</i>	<i>HFC</i>	<i>HFW</i>	<i>Témoin-X</i>	<i>HFC-X</i>	<i>HFW-X</i>
Ingrédients, % de l'aliment						
Maïs-grain	62,35	54,29	35,32	62,34	54,28	35,31
Tourteau de soya, 48 % PB	24,44	3,95	15,05	24,44	3,95	15,05
Blé	10,00	-	-	10,00	-	-
Drêches de maïs	-	22,00	11,00	-	22,00	11,00
Gru de blé rouge	-	-	20,00	-	-	20,00
Farine de biscuits ¹	-	-	15,00	-	-	15,00
Tourteau de canola	-	15,00	-	-	15,00	-
Huile de soya	-	1,33	0,35	-	1,33	0,35
Méthionine hydroxy analogue	0,03	-	0,03	0,03	-	0,03
Sulfate de lysine	0,34	0,84	0,64	0,34	0,84	0,64
L-thréonine	0,05	0,10	0,10	0,05	0,10	0,10
Phosphate monocalcique	0,96	0,56	0,47	0,96	0,56	0,47
Pierre à chaux	0,98	1,08	1,19	0,98	1,08	1,19
Sel	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Prémix vit. & minéraux	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Dioxyde de titane	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
<i>Econase XT, AB Vista</i> ²	-	-	-	0,01	0,01	0,01

¹ Farine de biscuit Faripro™, PROREC inc.

² Econase XT, AB Vista : Niveau d'inclusion recommandé de 100 g/tonne

Tableau 2.2 : Composition nutritionnelle calculée et analysée pour les aliments expérimentaux utilisés lors de l'essai de digestibilité (Expérience 1).

		<i>Témoin</i>	<i>HFC</i>	<i>HFW</i>	<i>Témoin-X</i>	<i>HFC-X</i>	<i>HFW-X</i>
Composants nutritionnels calculés (analysés)¹ en % de MS							
Matière sèche	%	89,4 (90,1)	89,4 (90,5)	89,7 (91,0)	89,6 (90,4)	89,4 (90,7)	89,7 (91,2)
Énergie brute	kcal/kg	(4276)	(4511)	(4457)	(4302)	(4515)	(4457)
Énergie nette	kcal/kg	2407	2405	2441	2407	2405	2441
Protéine brute	%	18,5 (18,8)	18,5 (20,0)	18,5 (20,3)	18,5 (18,9)	18,5 (19,51)	18,5 (20,1)
Lipide brut	%	3,4 (5,46)	6,3 (3,78)	5,8 (3,56)	3,4 (2,50)	6,3 (5,55)	5,8 (4,93)
Fibre brute	%	2,5	4,8	3,9	2,5	4,8	3,9
Cendre	%	(5,02)	(5,43)	(6,08)	(5,05)	(5,38)	(6,09)
Calcium total	%	0,65 (0,73)	0,64 (0,76)	0,65 (0,75)	0,65 (0,77)	0,64 (0,78)	0,65 (0,74)
Phosphore total	%	0,58 (0,66)	0,60 (0,75)	0,60 (0,72)	0,58 (0,63)	0,60 (0,69)	0,60 (0,74)
Fibres ADF	%	3,4 (4,01)	7,0 (9,36)	5,2 (7,84)	3,4 (3,48)	7,0 (9,51)	5,2 (6,95)
Fibres NDF	%	9,5 (8,59)	15,5 (17,23)	15,5 (17,71)	9,5 (8,69)	15,5 (16,83)	15,5 (18,57)
NSP total	%	12,2 (11,1)	15,3 (14,7)	14,6 (16,1)	12,2 (11,7)	15,3 (14,4)	14,6 (16,2)
NSP soluble	%	2,4 (1,1)	2,0 (1,8)	3,3 (2,6)	2,4 (1,2)	2,0 (1,9)	3,3 (2,7)
NSP insoluble	%	9,8 (10,0)	13,3 (12,9)	11,3 (13,5)	9,8 (10,5)	13,3 (12,5)	11,3 (13,5)
% NSP soluble	%	19,7 (9,9)	13,1 (12,2)	22,6 (16,1)	19,7 (10,3)	13,1 (13,2)	22,6 (16,7)
TiO ₂	%	0,3 (0,366)	0,3 (0,379)	0,3 (0,383)	0,3 (0,365)	0,3 (0,370)	0,3 (0,357)
Activité <i>Econase XT</i> ²	bxu/kg	0 (<2000)	0 (<2000)	0 (<2000)	>14500 (20100)	>14500 (20600)	>14500 (20300)

¹ Les valeurs entre parenthèses sont les résultats des analyses de laboratoire du composant nutritionnel.

² Activité de l'*Econase XT* <2000 bxu/kg considérée comme nulle. Le niveau attendu est de 14500-22000 bxu/kg pour un niveau d'inclusion de 100 g/tonne.

2.4.2 Expérience 2 – Essai de croissance

Le comité de protection des animaux du Centre de recherche et de développement d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Sherbrooke a révisé et approuvé le protocole.

2.4.2.1 Animaux et plan expérimental

Un essai de croissance utilisant 60 porcs mâles castrés (*G-Performer 8,0 x Fertilis 25* ; Génétiporc Inc., St-Bernard, Québec, Canada) avec un PV initial de $83,0 \pm 5,4$ kg a été mené dans un dispositif aléatoire en blocs incomplets. Chacun des 5 traitements alimentaires de l'expérimentation comptait douze porcs qui ont été distribués dans cinq parcs de façon à obtenir quatre traitements de trois porcs par parc.

Chaque parc contenait un distributeur alimentaire automatique de précision (AIPF; Pomar et al., 2009) fournissant à chacun des porcs le traitement alimentaire qui lui était attribué. L'aliment était disponible à volonté à la demande de l'animal. Les animaux disposaient d'une superficie de $13,3 \text{ m}^2/\text{porc}$. Les porcs avaient également accès à de l'eau fraîche à volonté offerte par des sucses et étaient logés dans en parquets entièrement lattés. Avant le début de l'expérience, les porcs ont eu une période d'acclimatation de cinq jours pour s'adapter à leur groupe respectif et à l'AIPF.

2.4.2.2 Traitements alimentaires

Les traitements alimentaires avaient une composition en ingrédients semblable à ceux de l'essai de digestibilité, mais ils étaient formulés pour répondre aux besoins nutritionnels de porcs de 90 kg (NRC, 2012). Ainsi, un aliment témoin de type maïs-tourteau de soya faible en fibres (7,5 % NDF ; *Témoin*), un élevé en fibres issus de coproduits du blé (14,4 % NDF ; *HFW*) et un élevé en fibres issus de coproduits du maïs et du canola (14,0 % NDF ; *HFC*) ont été formulées. En raison du nombre limité de compartiments (quatre) dans les distributeurs d'aliments, seulement les aliments riches en fibres ont été complétés en xylanase (*Econase XT* : AB Vista, Feed Ingredients, Marlborough, UK, 100 g/t, >14500 bxu/kg d'aliment), correspondant aux traitements *HFW-X* et *HFC-X* respectivement. Cinq aliments expérimentaux ont donc été utilisés pour l'essai de croissance (Tableau 2.3 et Tableau 2.4). Afin de pouvoir être distribués efficacement par la mangeoire de précision, les aliments ont été cubés. La supplémentation en xylanase a été faite en précubage.

Tableau 2.3 : Composition des aliments expérimentaux utilisés pour l'essai de croissance (Expérience 2).

	<i>Témoin</i>	<i>HFW</i>	<i>HFC</i>	<i>HFW-X</i>	<i>HFC-X</i>
Ingrédients, % de l'aliment					
Maïs-grain	75,84	47,04	57,78	47,03	57,77
Tourteau de soya 48 % PB	11,30	3,20	-	3,20	-
Blé	10,00	-	-	-	-
Drêches de maïs	-	11,00	21,20	11,00	21,20
Gru de blé rouge	-	18,30	-	18,30	-
Farine de pain	-	15,00	-	15,00	-
Tourteau de canola	-	-	15,00	-	15,00
Huile végétale	-	3,00	3,70	3,00	3,70
Méthionine	0,05	0,04	-	0,04	-
Sulfate de lysine 70 %	0,37	0,54	0,42	0,54	0,42
L-thréonine	0,06	0,09	0,01	0,09	0,01
Phosphate monocalcique	0,65	0,33	0,48	0,33	0,48
Pierre à chaux	0,99	0,10	0,79	0,10	0,79
Sel	0,56	0,28	0,44	0,28	0,44
Micro-prémix finition	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Prémix Vit. E 50000 UI F500	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Prémix Selen-O-1.6	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
<i>Econase XT, AB Vista¹</i>	-	-	-	0,01	0,01

¹ *Econase XT, AB Vista* : Niveau d'inclusion recommandé de 100 g/tonne

Tableau 2.4 : Composition nutritionnelle calculée et analysée pour les aliments expérimentaux utilisés lors de l'essai de digestibilité (Expérience 2).

		<i>Témoin</i>	<i>HFW</i>	<i>HFC</i>	<i>HFW-X</i>	<i>HFC-X</i>
Composants nutritionnels calculés (analysés)¹ en % de MS						
Matière sèche	%	86,1 (88,9)	87,2 (89,5)	86,6 (89,6)	87,2 (89,3)	86,6 (89,5)
Énergie brute	kcal/kg	(4432)	(4640)	(4699)	(4646)	(4700)
Énergie nette	kcal/kg	2494	2498	2497	2498	2497
Protéine brute	%	12,1 (15,3)	13,5 (16,9)	15,7 (17,6)	13,5 (16,9)	15,7 (17,3)
Lipide brut	%	2,6 (2,8)	7,0 (6,9)	7,4 (7,6)	7,0 (7,1)	7,4 (7,3)
Fibre brute	%	1,7	3,3	3,8	3,3	3,8
Cendre	%	(4,5)	(4,4)	(4,1)	(4,5)	(4,1)
Calcium total	%	0,53 (0,62)	0,50 (0,62)	0,50 (0,60)	0,50 (0,62)	0,50 (0,58)
Phosphore total	%	0,42 (0,54)	0,52 (0,66)	0,53 (0,68)	0,52 (0,65)	0,53 (0,67)
Fibres ADF	%	(3,9)	(6,1)	(8,4)	(5,9)	(8,6)
Fibre NDF	%	7,5 (8,5)	14,4 (14,9)	14,0 (15,7)	14,4 (15,5)	14,0 (16,4)
NSP total	%	9,2 (10,5)	12,8 (15,5)	14,5 (12,4)	12,8 (13,3)	14,5 (12,4)
NSP soluble	%	1,5 (1,1)	2,6 (1,8)	1,8 (1,6)	2,6 (2,2)	1,8 (1,9)
NSP insoluble	%	7,7 (9,4)	10,2 (13,7)	12,7 (10,8)	10,2 (11,1)	12,7 (10,5)
% NSP soluble	%	(10,5)	(11,6)	(12,9)	(16,5)	(15,3)
Activité <i>Econase XT</i> ²	bxu/kg	0 (<2000)	0 (<2000)	0 (<2000)	>14500 (15300)	>14500 (20500)

¹ Les valeurs entre parenthèses sont les résultats des analyses de laboratoire du composant nutritionnel.

² Activité de la xylanase <2000 bxu/kg considérée comme nulle. Le niveau attendu est de 14500-22000 bxu/kg pour un niveau d'inclusion de 100 g/tonne.

2.4.2.3 Échantillonnage et mesures

L'essai de croissance s'est déroulé sur une période de 28 jours. Des échantillons représentatifs des aliments ont été pris chaque semaine de l'expérimentation et conservés à -20°C jusqu'aux analyses.

Au début (J0) et à la fin (J28) de l'expérimentation, les porcs ont été radiographiés par absorption biphotonique à rayons X (DXA : Prodigy, GE Healthcare, Madison, WI). Pour ce faire, les porcs ont été anesthésiés à l'aide de sévoflurane (Sevorane, Abbott Laboratories, North Chicago, IL) dilué à 7 % dans l'oxygène et administré à l'aide d'un masque respiratoire. Lorsque l'animal était complètement anesthésié, le sévoflurane était remplacé par de l'isoflurane (Isoflo, Abbott Laboratories, North Chicago, IL) à 5 % dans l'oxygène afin de maintenir l'anesthésie. L'animal était ensuite déplacé à l'aide d'un monte-charge sur la table de lecture et installé en position sternale. Le balayage a été réalisé en mode épais pour les deux radiographies afin d'estimer le contenu minéral osseux (CMO), la densité minérale osseuse (DMO) ainsi que la masse corporelle en maigre et en gras des animaux. Ces résultats ont ensuite été transformés en équivalents de masses protéiques et lipidiques selon les équations de Pomar et Rivest (1996).

Au début (J0), au milieu (J14) et à la fin (J28) de la période d'expérimentation, des mesures de l'épaisseur du gras dorsal et du muscle de la longe (entre la 3^e et 4^e côte, à 5 cm de la colonne vertébrale) ont été effectuées à l'aide d'ultrasons (Ultrascan 50, Alliance Médicale inc., Canada ; 120 mm, 3,5 MHz). À ces mêmes moments, les animaux ont été pesés. À la fin des 28 jours de l'essai de croissance, les animaux ont conservé leur traitement alimentaire respectif jusqu'à leur départ pour l'abattoir la semaine suivante. Le lendemain de l'abattage, des échantillons de gras du cou ont été récupérés et conservés congelés afin d'effectuer le profil en acides gras du tissu adipeux et de calculer l'indice d'iode (I.I.).

La consommation moyenne journalière (CMJ) a été calculée pour les périodes d0-14, d15-28 et d0-28 en utilisant les données de consommation quotidienne d'aliments de chacun des porcs qui a ont compilées par l'AIPF. Les pesées réalisées aux jours 0, 14 et 28 ont été utilisées pour calculer le gain moyen quotidien (GMQ). Enfin, les données de CMJ et de GMQ ont servi à calculer l'efficacité alimentaire selon la formule suivante :

$$\text{Efficacité alimentaire} = \text{GMQ [g/d]} \div \text{CMJ [g/d]}$$

2.4.3 Analyses de laboratoire

Les échantillons de digesta iléaux ont été lyophilisés sans être préalablement décongelés. Les échantillons de moulées et de digesta iléaux lyophilisés ont été moulus à l'aide d'un CT 193 Cyclotec™ (FOSS North America, Eden Prairie, MN, USA) jusqu'à ce qu'ils puissent passer au travers un tamis de 1 mm.

Les échantillons d'aliments et de digesta ont été analysés pour la matière sèche (méthode 935.29), les cendres (méthode 942,05) et la protéine brute (PB) (méthode 976,05) (AOAC International, 2007). Les analyses d'énergie brute ont été réalisées à partir d'une bombe calorimétrique isoperibol (Parr 6300 Calorimeter, Parr Instrument Company, Moline, IL, USA) avec l'acide benzoïque comme standard de calibration. Le calcium a été dosé par spectrométrie d'absorption atomique (Perkinelmer Aanalysis 300, Waltham, MA, USA) (méthode 968.08-D) et le phosphore selon la méthode colorimétrique vanadate (Spectrophotometer Genesys™ 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA ; Méthode 965.17) (AOAC International, 2007). Les niveaux de fibres ADF et NDF ont été déterminés par les méthodes 12 et 13 respectivement d'Ankom Technology avec les sacs filtrants F58 (Ankom 2000 Fiber Analyzer, Ankom Technology, Macedon, NY, USA). Le pourcentage de lipides bruts a été déterminé à partir de l'extraction du gras brut à l'éther éthylique (méthode 2003.05 : AOAC International (2007) ; Soxtec™ 2050; FOSS North America, Eden Prairie, MN, USA). Le dosage des AA a été fait à l'aide d'un ensemble d'analyse (Phenomenex, EZ : faast) et les polysaccharides non amylacés selon la méthode par spectrophotométrie décrite par Englyst et al. (1994). La concentration en polysaccharides a été déterminée avec un appareil GC-FID (model 6890N; Agilent Technologies, Santa Clara, CA) équipé d'une colonne capillaire SP-2330 J&W Agilent (film de 30 m x 320 µm x 0,20 µm). Les teneurs en fibres solubles sont calculées par différence entre les fibres totales et les fibres insolubles.

La caractérisation du dioxyde de titane (TiO₂) a été réalisée par dosage colorimétrique selon la méthode décrite par Myers et al. (2004). La DIA des composants nutritionnels et de l'énergie a été calculée en utilisant le TiO₂ comme marqueur indigeste selon l'équation suivante :

Digestibilité iléale apparente =

$$1 - \left\{ (\% \text{TiO}_2 \text{ aliment} \times \% \text{Composant}_{\text{Digesta}}) \div (\% \text{TiO}_2 \text{ Digesta} \times \% \text{Composant}_{\text{aliment}}) \right\}$$

Pour l'analyse des acides gras des tissus adipeux du cou, l'extraction des lipides a été effectuée selon la procédure de Folch et al. (1957) modifiée qui utilise le chlorure de méthylène comme substitut au chloroforme. L'analyse de la composition des acides gras a été faite par chromatographie en phase gazeuse (HP 5890A Series II, Hewlett Packard, Palo Alto, CA) avec une colonne capillaire 100-m CP-Sil 88 (i.d., 0,25 mm; film thickness, 0,20 m; Chrompack, Middelburg, Pays-Bas) et un détecteur à flamme ionique, méthode décrite par Faucitano et al. (2008).

L'activité de l'*Econase XT* a été validée dans les aliments expérimentaux et varie entre 20 100 et 20 600 bxu/kg de moulée pour l'essai de digestibilité et entre 15 300 et 20 500 bxu/kg pour l'essai de croissance (méthode ELISA; AB Vista, Feed Ingredients, Plantation, FL, USA), pour un niveau d'activité minimale attendu de 14 500 bxu/kg d'aliments. L'activité de l'*Econase XT* et de la xylanase totale (microbienne et alimentaire) a également été dosée dans les digesta iléaux (Tableau 2.6 : méthode ELISA et analyse chimique par voie humide ; AB Vista, Feed Ingredients, Plantation, FL, États-Unis). L'activité résiduelle de l'*Econase XT* dans le digesta a été calculée selon l'équation suivante :

Activité Econase XT résiduelle =

$$1 - \left\{ (\% \text{TiO}_2 \text{ aliment} \times \% \text{Activité Econase XT}_{\text{Digesta}}) \div (\% \text{TiO}_2 \text{ Digesta} \times \text{Activité Econase XT}_{\text{aliment}}) \right\}$$

2.4.4 Analyses statistiques

Des analyses de variance ont été effectuées sur les variables étudiées en utilisant la procédure Mixed de SAS (SAS 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) et la normalité a été vérifiée avec le test Shapiro-Wilk. Une différence a été considérée comme significative pour $P < 0,05$ et les tendances numériques étaient notées pour $P < 0,10$. L'unité expérimentale était le porc dans les deux études.

Pour l'essai de digestibilité, une analyse factorielle a été réalisée dans un dispositif en carré latin 6×6 pour valider l'effet de l'aliment, de l'ajout de xylanase et de l'interaction Aliment \times Xylanase. Le modèle statistique incluait type de ration, la supplémentation en xylanase et les porcs comme effets fixes ainsi que la période de collecte comme effet aléatoire. Une analyse de la variance pour l'effet de la ration s'est faite par un test de comparaisons multiples avec le test de Tukey.

Pour l'essai de croissance, les parcs représentaient les blocs. Des contrastes polynomiaux ont été effectués afin de tester 1) l'effet fibre par la comparaison *Témoin vs Fibres*, l'effet de la source de fibres par la comparaison *HFW vs HFC* et l'effet de la xylanase par les comparaisons *HFW vs HFW-X* et *HFC vs HFC-X*.

2.5 Résultats

2.5.1 Expérience 1 – Essai de digestibilité

Un porc de substitution a été introduit au cours de l'expérience (début de la période 3) suite à la perte d'un sujet durant la première période. Une seule période de collecte a été ajoutée afin de compléter la collecte pour ce porc supplémentaire. Un second sujet a été retiré du protocole lors de la dernière période de l'expérience et n'a pu être remplacé. L'analyse statistique est donc sous la forme d'un carré latin 6 x 6 incomplet (n=5 pour *Témoin-X* et *HFW-X*).

Tous les porcs ont consommé leurs portions complètes d'aliments durant l'expérience. Les porcs étaient logés sur une litière de copeaux de bois et des quantités variables de celle-ci ont été ingérées et retrouvées dans des échantillons de digesta iléaux.

2.5.1.1 Ingéré

Les quantités d'aliments servies aux porcs variaient en fonction de leur PV pour chaque période. Les quantités d'aliments ingérés montrent une tendance plus faible au niveau de l'ingestion totale de matière sèche pour l'aliment *Témoin* ($P=0,065$), mais pas de différence pour la matière organique ingérée. Toutefois, en raison des différentes compositions des aliments, les porcs associés aux traitements témoins ont ingéré des quantités inférieures d'énergie, de lipides, de protéines, de cendre, de phosphore ($P<0,001$) et de calcium ($P=0,003$) (Tableau 2.5).

Les aliments ont été formulés à partir des analyses nutritionnelles d'ingrédients prises dans la littérature. Il y a toutefois des variations entre les valeurs théoriques calculées et celles des analyses de laboratoires (Tableau 2.2). Bien que les niveaux de NSP totaux soient comparables aux niveaux attendus, leur partage en fractions solubles et insolubles était différent à celui attendu. Les traitements *HFW* et *HFW-X* contiendraient plus de NSP insolubles analysés que les traitements *HFC* et *HFC-X*. Pour ce qui est des proportions de NSP solubles sur les NSP totaux, elles étaient plus élevées pour *HFC* que pour *HFW*, alors que l'inverse était attendu. Ainsi, les résultats d'analyses ne confirment pas la différenciation des traitements sur la base de la solubilité de leurs fibres, comme envisagé au départ. Il est toutefois possible de faire des comparaisons en fonction de la provenance de celles-ci, c'est-à-dire étant issues majoritairement des coproduits du blé ou du maïs et canola.

Malgré les variations entre les compositions nutritionnelles théoriques calculées des ingrédients et celles obtenues en laboratoire, les résultats montrent qu'il y avait certaines différences entre le type et les quantités de fibres ingérées par les porcs en fonction des traitements (Tableau 2.5). Les animaux associés aux traitements *Témoin* et *Témoin-X* ont ingéré des quantités moindres de fibres ADF et NDF et de NSP solubles et insolubles ($P < 0,001$) comparativement aux traitements riches en fibres. Tel qu'attendu, les sujets des traitements *HFW* et *HFW-X* ont eu une ingestion supérieure de fibres NDF et de NSP solubles ($P < 0,001$) et moindre de fibres ADF que ceux associés aux traitements *HFC* et *HFC-X* ($P < 0,001$). Toutefois, les quantités ingérées de NSP insolubles étaient plus élevées pour le traitement *HFW* que les traitements *HFC*, *HFW-X* et *HFC-X* ($P < 0,001$). De plus, des quantités ingérées plus élevées de protéines et de cendres et plus faibles de lipides ($P < 0,001$) ont également été observées pour les traitements *HFW* et *HFW-X* comparativement aux traitements *HFC* et *HFC-X*.

Par ailleurs, un effet de l'enzyme a été observé pour les quantités d'ADF ($P = 0,029$) ingérées par les porcs. Une interaction *Aliment x Xylanase* pour les quantités de NSP insolubles ($P = 0,009$) et de phosphore ($P = 0,006$) ainsi qu'une tendance celles des protéines ($P = 0,057$) et de calcium ($P = 0,051$) ont aussi été observées. Ces effets ne sont pas attribuables à l'ajout de la xylanase aux aliments, mais plutôt aux variations dans les quantités de matières sèches ingérées et aux disparités de composition entre les aliments avec et sans l'ajout d'enzyme.

2.5.1.2 Flux digestible et digestibilité iléale apparente

Les résultats de l'essai de digestibilité n'indiquent aucun effet de l'aliment sur le flux digestible (ou digéré) et la DIA de la matière sèche, de l'énergie, des NSP solubles et insolubles et du P (Tableau 2.5). Cependant, le flux digestible de PB était plus élevé pour les aliments *HFW* et *HFW-X* ($P = 0,002$) en comparaison au témoin, alors que le traitement *HFC* est intermédiaire. Cette augmentation du flux de PB est principalement attribuable à une plus grande quantité ingérée, car l'aliment n'a pas eu d'effet sur sa DIA. Le flux digestible des cendres ($P = 0,017$) était également plus élevé pour les traitements *HFW* et *HFW-X* comparativement aux traitements *HFC* et *HFC-X*, ce qui s'est traduit par une tendance à la hausse pour la DIA des cendres ($P = 0,082$), partiellement explicable par la plus grande teneur en cendre des aliments riches en fibres solubles. Ensuite, le flux digestible et la DIA des fibres ADF ($P = 0,003$; $P = 0,002$) et NDF ($P < 0,001$) ainsi que des lipides ($P < 0,001$) étaient plus faibles pour les aliments *Témoin* et *Témoin-X* comparativement aux aliments

riches en fibres. De plus, les DIA de la matière organique totale ($P=0,069$) et du Ca ($P=0,065$) étaient numériquement plus élevées pour les aliments *Témoin* et *Témoin-X* comparativement aux aliments riches en fibres. Comme les effets de l'amélioration de la DIA pour les composants majeurs évalués ont été variables, la tendance à l'augmentation de la DIA de la matière organique des traitements témoins pourrait être expliqué par les fractions résiduelles de composants nutritionnels non évalués lors de l'expérimentation, notamment l'amidon et les polysaccharides.

Les résultats de cette étude ne révèlent aucun effet direct de l'ajout de xylanase exogène sur les quantités digérées et la DIA des nutriments et de l'énergie, mais une tendance à la hausse est présente pour le flux digestible d'ADF ($P=0,087$) pour les rations élevées en fibres. De plus, une interaction Aliment \times Xylanase manifeste une hausse de la DIA des fibres NDF ($P=0,029$) de 53 % pour de l'aliment *HFW-X*, ce qui est également observable sous forme de tendance pour le flux digéré ($P=0,097$).

Tableau 2.5 : Quantités des composants nutritionnels ingérés et digérés et les résultats de digestibilité iléale apparente (%) de l'essai de digestibilité (Expérience 1).

	<i>Témoin</i>	<i>HFV</i>	<i>HFC</i>	<i>Témoin-X</i>	<i>HFV-X</i>	<i>HFC-X</i>	<i>SEM</i>	<i>Aliment</i>	<i>Xylanase</i>	<i>Aliment x Xylanase</i>
Nb d'observations	6	6	6	5	5	6				
<i>Ingéré (g ou Mcal/d)</i>										
Matière sèche	2371	2434	2433	2415	2448	2421	20	0,065	0,346	0,347
Matière organique	2251	2285	2301	2292	2300	2290	20	0,372	0,320	0,359
Énergie	10,1	10,8	10,9	10,4	10,9	10,9	0,1	0,001	0,326	0,317
ADF	97	192	224	82	168	226	6	0,001	0,029	0,133
NDF	210	434	415	208	443	404	10	0,001	0,872	0,665
Lipide	58	120	129	59	116	128	5	0,001	0,751	0,816
NSP solubles	28	63	44	27	64	46	4	0,001	0,595	0,716
NSP insolubles	240	329	313	254	316	302	4	0,001	0,321	0,009
Protéine	448	493	486	455	491	472	5	0,001	0,422	0,057
Cendre	120	148	132	122	147	130	11	0,001	0,991	0,393
Phosphore	15,7	17,6	18,1	15,2	17,9	16,7	0,4	0,001	0,008	0,006
Calcium	17,4	18,2	18,5	18,6	19,0	19,0	0,5	0,003	0,001	0,051
<i>Digéré (g ou Mcal/d)</i>										
Matière sèche	1688	1619	1618	1671	1635	1618	49	0,358	0,982	0,943
Matière organique	1675	1588	1610	1661	1603	1604	47	0,167	0,956	0,933
Énergie	7,2	7,4	7,5	7,3	7,5	7,5	0,6	0,538	0,727	0,973
ADF	0,7	59	53	2,7	30	37	9,9	0,003	0,087	0,308
NDF	19	110	88	6,6	147	52	16	0,001	0,751	0,097
Lipide	44	99	106	45	94	108	8	0,001	0,906	0,567
NSP solubles	8,8	20,9	22,3	11,6	14,9	11,4	6,0	0,359	0,312	0,471
NSP insolubles	48	68	74	69	34	66	15	0,264	0,484	0,106
Protéine	342	381	361	346	374	356	7	0,002	0,728	0,804
Cendre	15,9	29,8	8,8	16,4	34,3	14,9	6,5	0,017	0,501	0,912
Phosphore	6,2	5,3	5,3	3,1	5,4	5,8	0,9	0,640	0,280	0,140
Calcium	10,5	9,7	9,30	11,2	9,9	10,6	0,8	0,391	0,288	0,756
<i>Digestibilité iléale apparente (%)</i>										
Matière sèche	70,8	65,9	66,5	69,8	67,4	67,2	1,8	0,119	0,772	0,797
Matière organique	73,9	68,9	69,8	72,9	70,0	70,3	1,7	0,069	0,871	0,829
Énergie	70,8	67,8	68,2	71,1	69,4	69,0	1,8	0,344	0,548	0,947
ADF	1,0	28,2	24,9	1,1	19,8	18,6	4,5	0,002	0,198	0,637
NDF	9,0	23,9	22,9	2,4	36,5	15,0	3,9	0,001	0,847	0,029
Lipide	73,2	82,5	81,5	75,1	80,6	83,6	1,8	0,003	0,602	0,449
NSP solubles	38,6	30,6	51,6	38,0	20,6	26,7	11,3	0,352	0,186	0,472
NSP insolubles	18,4	19,8	24,5	26,7	11,5	23,5	4,7	0,134	0,943	0,181
Protéine	76,1	76,5	73,6	76,2	76,3	75,4	1,5	0,401	0,677	0,781
Cendre	13,7	19,1	7,6	14,5	26,4	13,1	5,2	0,082	0,306	0,823
Phosphore	43,7	31,1	31,9	32,8	33,5	37,5	5,0	0,541	0,795	0,231
Calcium	65,6	54,5	53,7	63,5	58,3	54,1	4,4	0,065	0,428	0,573

2.5.1.3 Xylanase résiduelle

L'activité résiduelle de l'*Econase XT* variait selon les différents aliments ($P < 0,001$). Pour le traitement *Témoin-X*, l'activité de l'*Econase XT* à la fin du petit intestin est de 100 % et se situe à 47 % et 52 % pour les aliments *HFW-X* et *HFC-X* respectivement. Les quantités de xylanases totales à la fin de l'iléon étaient plus élevées pour l'aliment témoin comparativement aux traitements riches en fibres ($P = 0,010$) (Tableau 2.6).

Tableau 2.6 : Activité des xylanases totales et d'*Econase XT* (bxu/kg) ainsi que la fraction résiduelle d'*Econase XT* (%) récupérées au niveau de l'iléon distal lors de l'essai de digestibilité (Expérience 1).

	<i>Témoin-X</i>	<i>HFW-X</i>	<i>HFC-X</i>	<i>SEM</i>	<i>Aliment</i>
Nb d'observations	5	5	6		
<i>Econase XT</i> résiduelle, %	100	47	52	6	0,001
<i>Econase XT</i> , bxu/kg	66629	29987	33000	3586	0,001
Xylanases totales, bxu/kg	57050	38824	42950	2959	0,010

2.5.2 Expérience 2 – Essai de croissance

Au cours de l'expérience, quatre porcs ont dû être exclus du protocole pour diverses raisons n'étant pas liées au traitement expérimental (boiteries sévères, anorexie et mort subite). Aucun autre problème de santé n'a été observé dans le troupeau et les animaux ont eu un développement normal. L'analyse statistique des résultats porte donc sur 56 porcs de PV initial moyen de $83,2 \pm 5,0$ kg. Les dépôts protéiques et lipidiques corporels analysés par DXA incluent le contenu viscéral.

2.5.2.1 Composition corporelle

Au début de la phase expérimentale (j0), aucune différence de condition physique n'a été observée entre les groupes de porcs attribués aux différents traitements alimentaires. Seule une tendance numérique plus faible pour l'épaisseur de gras dorsal du témoin positif comparativement aux traitements riches en fibres a été relevée ($P=0,083$; Tableau 2.7).

À la fin de la période 1 (j14) et de la période 2 (j28), aucun des cinq traitements alimentaires n'a eu d'effet sur le PV ainsi que les épaisseurs de gras et de muscles dorsaux. Les niveaux et types de fibres ainsi que l'ajout de xylanase n'ont pas eu d'effet sur les conditions physiques finales des porcs, c'est-à-dire le CMO, la DMO ainsi que la masse protéique et lipidique. Toutefois, à la fin de la période 2 (j28), les résultats montrent que l'ajout de xylanase dans l'aliment *HFC* tendait à diminuer le CMO ($P=0,080$) et la masse protéique ($P=0,095$) des porcs (Tableau 2.7).

2.5.2.2 Performances des animaux

Pour les performances de la période 1 (d0-14), les aliments riches en fibres ont diminué la consommation moyenne journalière (CMJ) des porcs ($P=0,004$) de 12 % et le GMQ ($P=0,014$) de 9% en comparaison au *Témoin*, mais n'ont pas eu d'effet sur l'efficacité alimentaire et les gains en épaisseur de gras et de muscles dorsaux (Tableau 2.8). Les types de fibres, issues de coproduits du blé ou maïs et canola, ainsi que l'ajout de xylanase n'ont pas eu d'effet sur les performances de croissance.

Pour la période 2 (d15-28), aucun effet du niveau et du type de fibre ainsi que de la xylanase n'a été observé. Toutefois, il y avait une tendance numérique à la hausse pour la CMJ et à la baisse pour l'efficacité alimentaire pour le *Témoin* comparativement aux aliments fibreux (Tableau 2.8).

Enfin, pour les performances globales de l'expérimentation (d0-28), le *Témoin* a montré une CMJ plus élevée ($P=0,015$), un indice d'iode plus faible ($P<0,001$) ainsi qu'une tendance numérique à la baisse pour l'efficacité alimentaire comparativement aux traitements riches en fibres ($P=0,084$) (Tableau 2.8). Aucun effet du niveau de fibres sur les gains d'épaisseur de gras et de muscles dorsaux, sur les gains de masses lipidiques et protéiques ainsi que sur le gain en contenu minéral osseux n'a été observé. Les résultats ont montré que l'ajout de xylanase n'a eu aucun effet sur le traitement *HFW-X*, mais a diminué le gain de CMO ($P=0,027$) et tend à faire diminuer le GMQ ($P=0,090$) pour la ration *HFC-X*. Le type de fibre et l'ajout de xylanase n'ont eu aucune influence sur les autres paramètres de performance globale des porcs.

Tableau 2.7 : Effet du niveau et du type de fibres ainsi que de la supplémentation en xylanase sur les conditions physiques initiales (J0), médianes (J14) et finales (J28) des porcs pour l'essai de croissance (Expérience 2).

Traitements	<i>Témoin</i>	<i>HFW</i>	<i>HFC</i>	<i>HFW-X</i>	<i>HFC-X</i>	SEM	<i>Témoin vs Fibres</i>	Contrastes - Valeur <i>P</i>		
								<i>HFW vs HFC</i>	<i>HFW vs HFW-X</i>	<i>HFC vs HFC-X</i>
Nombre d'observations	12	12	11	10 ¹	11					
Conditions initiales (j0)										
Poids vif, kg	83,7	83,1	84,3	82,5	82,3	1,6	0,994	0,747	0,795	0,361
Épaisseur de gras dorsal, mm	10,1	11,0	11,3	11,1	10,8	0,5	0,083	0,989	0,953	0,480
Épaisseur de muscle, mm	55,9	56,6	56,3	55,8	55,6	1,4	0,745	0,847	0,662	0,709
Contenu minéral osseux DXA ² , kg	1,303	1,360	1,368	1,286	1,317	0,038	0,167	0,591	0,167	0,331
Densité minérale osseuse DXA ² , g/cm ³	0,948	0,968	0,975	0,969	0,970	0,013	0,144	0,731	0,935	0,767
Masse protéique ³ , kg	14,4	14,2	14,6	14,0	14,0	0,3	0,856	0,568	0,740	0,117
Masse lipidique ³ , kg	12,2	12,9	12,6	13,0	12,9	0,6	0,399	0,750	0,951	0,725
Conditions médianes (j14)										
Poids vif, kg	101,3	98,5	100,9	97,7	97,9	1,8	0,453	0,487	0,747	0,238
Épaisseur de gras dorsal, mm	11,7	12,3	12,7	12,4	12,0	0,7	0,386	0,977	0,893	0,494
Épaisseur de muscle, mm	62,6	64,0	62,5	62,0	61,2	1,5	0,693	0,456	0,353	0,535
Conditions finales (j28)										
Poids vif, kg	117,8	116,1	118,5	115,2	114,5	2,1	0,834	0,672	0,754	0,162
Épaisseur de gras dorsal, mm	13,2	13,9	14,8	13,9	13,6	0,8	0,192	0,694	1,000	0,273
Épaisseur de muscle, mm	67,2	67,1	65,7	65,3	65,1	1,7	0,677	0,621	0,436	0,789
Contenu minéral osseux DXA ² , kg	1,918	1,972	2,003	1,861	1,857	0,061	0,299	0,810	0,188	0,080
Densité minérale osseuse DXA ² , g/cm ³	1,087	1,107	1,107	1,097	1,090	0,012	0,147	0,795	0,552	0,295
Masse protéique ³ , kg	19,2	18,8	19,1	18,4	18,2	0,4	0,560	0,802	0,510	0,095
Masse lipidique ³ , kg	23,5	23,7	24,7	24,3	24,3	1,1	0,594	0,631	0,676	0,808

¹ Pour le traitement *HFW-X*, n=10 pour la période d0-14, et n=9 pour les périodes d15-28 et d0-28

² DXA : Absorptiométrie biphotonique à rayons X (*Dual-energy X-ray Absorptiometry*)

³ Estimation à partir des valeurs de DXA selon Pomar et Rivest (1996)

Tableau 2.8 : Effet du niveau et du type de fibres ainsi que de la supplémentation en xylanase sur les performances de croissance de la période 1 (d0-14), période 2 (d15-28) et performances globales (d0-28) des porcs pour l'essai de croissance (Expérience 2).

Traitements	Témoin	HFW	HFC	HFW-X	HFC-X	SEM	Témoin vs Fibres	Contrastes - Valeur P		
								HFW vs HFC	HFW vs HFW-X	HFC vs HFC-X
Nombre d'observations	12	12	11	10 ¹	11					
Performances période 1 (d0-14)										
Consommation moyenne journalière, g/d	3259	2797	2960	2899	2912	99	0,004	0,366	0,458	0,725
GMQ, kg/d	1,257	1,103	1,182	1,086	1,112	0,036	0,014	0,151	0,741	0,175
Efficacité alimentaire	0,387	0,401	0,399	0,376	0,384	0,013	0,391	0,825	0,168	0,396
Gain épaisseur de muscle, mm	6,6	7,3	6,2	6,3	5,7	1,4	0,925	0,548	0,595	0,770
Gain épaisseur de gras dorsal, mm	1,7	1,2	1,4	1,3	1,2	0,4	0,473	0,964	0,839	0,732
Performances période 2 (d15-28)										
Consommation moyenne journalière, g/d	3504	3186	3389	3081	3226	114	0,095	0,117	0,494	0,280
GMQ, kg/d	1,180	1,256	1,267	1,213	1,186	0,053	0,191	0,875	0,556	0,265
Efficacité alimentaire	0,338	0,401	0,375	0,401	0,369	0,024	0,085	0,218	0,986	0,857
Gain épaisseur de muscle, mm	4,7	3,2	3,2	3,0	3,9	1,5	0,401	0,764	0,930	0,742
Gain épaisseur de gras dorsal, mm	1,5	1,7	2,0	1,4	1,6	0,4	0,361	0,391	0,608	0,419
Performances globales (d0-28)										
Consommation moyenne journalière, g/d	3382	2991	3175	3008	3069	101	0,015	0,209	0,905	0,428
GMQ, kg/d	1,218	1,180	1,221	1,156	1,151	0,030	0,591	0,526	0,568	0,090
Efficacité alimentaire	0,362	0,400	0,386	0,388	0,376	0,015	0,084	0,374	0,562	0,642
Gain épaisseur de muscle, mm	11,3	10,5	9,4	9,4	9,5	1,4	0,379	0,711	0,560	0,941
Gain épaisseur de gras dorsal, mm	3,1	2,9	3,5	2,8	2,8	0,4	0,941	0,426	0,860	0,263
Gain masse protéique ² , kg	4,76	4,59	4,56	4,26	4,28	0,17	0,322	0,976	0,169	0,236
Gain masse lipidique ² , kg	11,36	10,73	12,06	11,42	11,39	0,57	0,958	0,233	0,376	0,377
Gain contenu minéral osseux DXA ³ , kg	0,62	0,61	0,63	0,58	0,54	0,03	0,856	0,719	0,505	0,027
Nombre d'observations pour l'I.I.										
Indice d'iode bajoue ⁴	72,26	74,53	75,61	73,29	74,27	0,73	0,001	0,135	0,206	0,160

¹ Pour le traitement HFW-X, n=10 pour la période d0-14, et n=9 pour les périodes d15-28 et d0-28.

² Estimation à partir des valeurs de DXA selon Pomar et Rivest (1996)

³ DXA : Absorptiométrie biphotonique à rayons X (*Dual-energy X-ray Absorptiometry*)

⁴ Indices d'iode calculés à partir de l'équation : I.I. = (w_{16:1}*0,950) + (w_{18:1}*0,860) + (w_{18:2}*1,732) + (w_{18:3}*2,616) + (w_{20:0}*0,785) + (w_{22:1}*0,723) (AOCS, 1998)

2.6 Discussion

Les aliments expérimentaux des deux expériences ont été formulés selon de la composition théorique de chacun des ingrédients. Les différences entre les valeurs nutritionnelles calculées et analysées des aliments des deux phases expérimentales (Tableau 2.2 et Tableau 2.4) peuvent être expliquées par des différences dans la composition nutritionnelle des ingrédients sur le marché et celle des valeurs de référence utilisées.

2.6.1 Expérience 1 – Essai de digestibilité

2.6.1.1 Effet des fibres alimentaires sur la DIA des nutriments

L'addition de fibres dans les traitements alimentaires de l'expérience 1 n'a pas eu d'effet sur la DIA des composants nutritionnels. Ceci n'est pas conforme à la littérature où une corrélation négative entre le niveau de fibres alimentaires et la digestibilité et l'absorption des nutriments et de l'énergie est plus souvent rapportée. Plus précisément, d'importants niveaux de fibres alimentaires entraînent généralement une diminution de la DIA de l'énergie (Le Goff et Noblet, 2001), des PB et des AA (Yin et al., 2000; Kim et al., 2005), des lipides bruts (Choct et Annison, 1992; Freire et al., 1998; Wilfart et al., 2007) ainsi que du calcium et du phosphore (Northey et al., 2008). L'impact du niveau de fibres sur leur propre dégradation est toutefois encore incertain (Le Goff et al., 2002; Urriola et Stein, 2010; Gutierrez et al., 2013).

Il est intéressant de noter que les résultats obtenus lors de l'essai de digestibilité montrent une amélioration de la DIA des lipides et des fibres ADF et NDF pour les aliments expérimentaux riches en fibres comparativement aux aliments *Témoin* et *Témoin-X*. Tel qu'illustré par Noblet et Shi (1993) avec les lipides bruts, la DIA des lipides est plus faible lorsque les apports alimentaires sont inférieurs, et ce, principalement à cause des pertes basales obligatoires de l'animal. Ainsi, les faibles niveaux de fibres ADF, NDF et des lipides bruts dans les aliments témoins peuvent expliquer en partie la plus faible DIA observée comparativement aux traitements riches en fibres. En addition, les acides gras provenant des ingrédients alternatifs sont majoritairement insaturés et ceux-ci, comparés aux saturés, sont plus facilement absorbés chez le porc (NRC, 2012), ce qui

pourrait expliquer l'augmentation de la DIA des lipides observée pour les traitements riches en fibres. Pour ce qui est des variations de la DIA des fibres ADF et NDF, elles pourraient également être dues à la consommation de rîpe de bois des animaux, confirmée par la présence de cette dernière dans les digesta. La rîpe de bois est très riche en celluloses, lignines et hémicelluloses (van Kuijk et al., 2016) et sa consommation peut avoir biaisé les résultats de la DIA des fibres. Toutefois, comme la rîpe de bois contient peu des composants nutritionnels analysés lors de la présente étude (Chandrasekaran et al., 2012), son effet de dilution des composants nutritionnels (autres que les fibres) sur le digesta a pu être contrebalancé par l'utilisation du marqueur indigeste.

Les faibles différences de DIA des nutriments entre les traitements témoins et ceux riches en fibres indiquent que les niveaux de fibres de cette expérimentation (>16,8 % NDF) ne sont pas un élément limitant dans la DIA des porcs en croissance. Il est possible que les effets néfastes des fibres alimentaires chez le porc en croissance puissent principalement être attribués à un effet physique (augmentation du volume du bolus, encombrement stérique) plutôt qu'à une diminution de la digestibilité des composants.

2.6.1.2 Types de fibres alimentaires

Les effets des fibres alimentaires sur la DIA des composants nutritionnels diffèrent selon leurs propriétés physicochimiques, notamment leur viscosité (Chutkan et al., 2012). Les fibres solubles, plus visqueuses, ont un potentiel supérieur de nuire à la digestibilité que les fibres insolubles. L'aspect indésirable des fibres solubles repose sur leur habileté à former un gel visqueux au contact de l'eau. Ce gel forme une couche aqueuse non remuée à la surface de l'épithélium intestinal qui crée une barrière physique réduisant la digestion des composants et l'absorption des nutriments (Johansen et al., 1997; Wenk, 2001). La viscosité du contenu intestinal limite également le déplacement des nutriments et la diffusion des enzymes digestives au travers du bolus alimentaire ce qui diminue ainsi l'efficacité du processus de digestion (Bedford et Classen, 1992; Bedford, 2002). De plus, les fibres peuvent adsorber certaines enzymes digestives à leur surface, ce qui diminue le potentiel d'action des enzymes (Isaksson et al., 1982; Grieshop et al., 2000; Eswaran et al., 2013) et induit une augmentation de leurs sécrétions par un mécanisme de rétroaction négative, accentuant ainsi les pertes de nutriments dans la lumière intestinale (Wang et al., 2005 ; Woyengo et al., 2008).

Les résultats de l'essai de digestibilité ne vont toutefois pas dans ce sens puisqu'aucune différence de DIA des composants nutritionnels n'a été observée entre les deux traitements riches en fibres. En effet, les traitements à base de coproduits du blé (*HFW et HFW-X*), associés à des fibres plutôt solubles, et les traitements à base de coproduits de maïs et de canola (*HFC et HFC-X*), associés à des fibres plutôt insolubles, se sont peu démarqués les uns des autres. Les contenus en NSP solubles et insolubles analysés dans ces aliments riches étaient moindres et en proportions différentes que ceux estimés au départ. Les proportions obtenues de NSP solubles sur les NSP totaux étaient 12,2 % et 13,2 % pour *HFC* et *HFC-X* (estimation de départ de 13,1 %) et de 16,1 % et 16,7 % pour *HFW* et *HFW-X* (estimation de départ de 22,6 %). Ceci peut être partiellement expliqué par le fait que la teneur en NSP solubles ait été calculée par différence (NSP totaux - NSP insolubles). L'erreur des deux analyses (totales et insolubles) est alors combinée dans la fraction soluble, qui était aussi quantitativement plus petite (11 à 17 % du total), de sorte que ces valeurs peuvent être plus variables. Ainsi, les différences entre l'estimation initiale et les résultats d'analyses des NSP solubles et insolubles pourraient expliquer l'absence de différence entre les traitements *HFW* et *HFC* sur la base de la solubilité des fibres, comme établie initialement.

Les résultats de la présente expérience montrent que la digestibilité des fibres solubles est supérieure au niveau de l'iléon distal comparativement aux fibres insolubles. En effet, selon l'information rapportée par Jha et Berrocoso (2015), ce serait principalement les constituants solubles des NSP, notamment des β -glucanes, des arabinoxylanes et des pectines, qui seraient dégradés au niveau du petit intestin puisqu'ils sont plus rapidement fermentescibles que la fraction insoluble. Toutefois, la quantité de NSP solubles ingérée est beaucoup plus faible que celle des insolubles et l'analyse comporte une certaine variabilité causée par les erreurs combinées des deux analyses. Les analyses de fibres sont des méthodes relatives qui n'expriment pas toujours adéquatement les différences de compositions de celles-ci et la nature de la fibre est importante (NRC, 2012).

2.6.1.3 Effet de la xylanase

La supplémentation des aliments riches en fibres avec de la xylanase exogène pourrait être bénéfique pour la digestibilité de l'énergie (Nortey et al., 2007), des fibres (Diebold et al., 2004; Pedersen et al., 2015a et b), des AA (Diebold et al., 2004; Nortey et al., 2008), des lipides (Hanczakowska et al., 2012), du Ca et du P (Nortey et al., 2007; Nortey et al., 2008; Woyengo et

al., 2008) chez le porc en croissance. Toutefois, l'effet de cette enzyme est controversé et certaines études échouent à montrer un effet favorable à son ajout pour ces mêmes composants (Thacker, 2009; Widyaratne et al., 2009; Atakora et al., 2011; Yáñez et al., 2011).

Outre l'interaction entre la xylanase et l'aliment *HFW-X* pour la DIA des fibres NDF, la présente étude n'indique pas d'autre effet de la supplémentation en xylanase sur la DIA. Aucun effet de l'enzyme sur la DIA de la protéine n'a été observé, ce qui appuie les résultats obtenus par Yáñez et al. (2011). Cependant, Nortey et al. (2008) ont montré une augmentation de la DIA des AA suite à l'ajout de xylanase à une diète à base de coproduits du blé. Parallèlement, Ao et al. (2010), ont noté une amélioration de la DIA des AA avec l'ajout d'un mélange de carbohydrases à une ration de type maïs et tourteau de soya. Hanczakowska et al. (2012), quant à eux, ont montré que la xylanase pouvait augmenter la digestibilité des lipides dans les aliments riches en fibres, ce qui n'était pas le cas dans la présente étude. Cependant, comme la digestibilité des lipides obtenue pour l'étude présente est déjà élevée (>73,2 %), il est possible que les porcs aient été à leur maximum d'absorption avant même l'addition de l'enzyme. Par ailleurs, l'absence d'effet de l'ajout de xylanase sur la DIA du calcium et du phosphore est cohérente avec l'information rapportée dans la littérature (Lyberg et al., 2008; Woyengo et al., 2008; Emiola et al., 2009; Yáñez et al., 2011).

Selon l'information fournie par le fabricant, l'*Econase XT* a un effet enzymatique autant sur les NSP solubles que ceux insolubles (AB Vista, 2016). Toutefois, comme les NSP solubles pourraient avoir des répercussions négatives plus importantes sur la DIA et les performances des animaux (Wenk, 2001), il a été posé comme hypothèse que l'utilisation de la xylanase puisse être plus efficace en présence de ceux-ci. La xylanase a en effet permis une augmentation de la DIA de la fibre NDF pour l'aliment *HFW-X*, mais pas pour le *Témoin-X* ou *HFC-X*. Comme il n'y avait pas d'amélioration pour la DIA de la fraction ADF, ce serait la portion des hémicelluloses, constituée de fibres plus solubles que la cellulose et les lignines, qui aurait principalement été hydrolysée par la xylanase. Pedersen et al. (2015b) ont observé une diminution allant jusqu'à 25 % de la quantité de NSP solubles au niveau de l'iléon distal chez le porc en croissance après l'ajout de xylanase à un aliment formulé à base de coproduits du blé. Toutefois, les DIA des NSP solubles et NSP insolubles obtenues pour le traitement *HFW-X* n'est pas affectée par l'ajout de xylanase. Pedersen et al. (2014) ont suggéré que les arabinoxylanes facilement dégradables du maïs sont dégradées par les microorganismes lors de la fermentation qui produit les DDGS. Ceci pourrait expliquer en partie l'absence d'effet de l'enzyme sur cet ingrédient, qui est présent dans les deux aliments riches en

fibres. Il est cependant à noter que le dosage des NSP solubles et insolubles présentait des coefficients de variation élevés causés par les méthodes de détermination et que la DIA des fibres a pu être biaisée par l'ingestion variable de ripes de bois des animaux, ce qui pourrait également expliquer l'absence d'effet de l'enzyme sur la DIA des NSP.

Les effets de la supplémentation en enzymes ayant pour substrat les glucides complexes peuvent être plus ou moins prononcés dépendamment des critères d'évaluation utilisés. L'addition de xylanase a peu d'effet sur la digestibilité des composants nutritionnels mesurés, mais une analyse plus détaillée des différents substrats de l'enzyme, c'est-à-dire les différentes fractions des fibres alimentaires, autant dans l'aliment et dans le digesta iléal, aurait pu révéler une réelle activité de l'enzyme. En effet, Lærke et al. (2015) ont bien montré l'effet d'une supplémentation en xylanase sur la dégradation des différents xyloxygènes complexes au niveau du petit intestin, alors que Pedersen et al. (2015b) ont observé un effet sur la DIA des arabinoxyloxygènes, des NSP et des polysaccharides non cellulosiques, mais pas sur la DIA de la cellulose et des carbohydrates non digestibles.

Par ailleurs, les proportions d'arabinoses et de xyloxygènes d'un aliment pourraient également servir de mesures d'efficacité de l'enzyme dans le tractus digestif. Un ratio arabinose : xylose élevé indiquerait un type de fibre plus visqueuse, hautement ramifiée et dont les ramifications complexes protégeraient les xyloxygènes de la dégradation enzymatique microbienne (Kasprzak et al., 2012). Lærke et al. (2015) ont en effet montré que le blé, ayant un ratio arabinose : xylose plus faible que le seigle, réagit davantage à la supplémentation en xylanase que ce dernier. Sachant que les différents types de xylanases actuellement sur le marché ont des substrats très spécifiques (Motta et al., 2013), il serait intéressant dans les études subséquentes, de caractériser les fibres ainsi que les produits de dégradation de la xylanase dans les digesta de façon plus détaillée afin de choisir les substrats les mieux adaptés à l'enzyme et de bien cerner son spectre d'action.

Par ailleurs, certains auteurs rapportent que l'efficacité de la xylanase serait plus importante chez les porcs plus jeunes. En effet, le système digestif des porcs plus âgés est plus mature et comprend une plus grande population de microorganismes capable d'hydrolyser les glucides complexes (Maxwell et Carter, 2000). Bien que l'utilisation d'ingrédients alternatifs fibreux se fait majoritairement chez les porcs plus matures, l'utilisation de la xylanase serait peut-être plus adaptée chez les porcelets en post-sevrage (Diebold et al., 2004; Olukosi et al., 2007; Ao et al., 2010).

2.6.1.4 *Activité résiduelle de l'Econase XT et de la xylanase totale*

L'activité résiduelle de l'*Econase XT* au niveau de l'iléon distal pour le traitement *Témoin-X* est au même niveau qu'au moment de l'ingestion, c'est-à-dire que le passage au travers le tractus gastro-intestinal n'a pas affecté l'intégrité de l'enzyme pour ce traitement. L'activité résiduelle de 100 % témoigne ainsi de la grande stabilité de l'*Econase XT* dans le tractus digestif porcin. Comme elle est toujours active à la fin de l'iléon, la faible action de l'enzyme sur la DIA des nutriments n'est donc pas attribuable à sa dégradation précoce par les enzymes endogènes, notamment la pepsine. Toutefois, l'activité résiduelle de l'*Econase XT* se situe à environ 50 % de l'activité initiale pour les traitements riches en fibres. Il a précédemment été montré que l'activité d'hydrolyse des NSP par l'enzyme accentuait sa dégradation (Pedersen et al., 2015a et b). Ceci pourrait expliquer que la xylanase dans l'aliment *Témoin-X*, n'ayant pas suffisamment de substrat, n'a pas été affaiblie pendant le processus de lyse des NSP, contrairement aux autres traitements plus riches en fibres. Toutefois, outre les travaux de Pedersen et al. (2015b), aucune autre équipe ne rapporte, à notre connaissance, l'activité résiduelle de la xylanase au niveau de l'iléon distal, ce qui rend impossible la comparaison des résultats.

Dans le présent essai de digestibilité, les traitements riches en fibres ont accentué la dégradation des fibres ADF et NDF au niveau du petit intestin en comparaison aux traitements témoins faibles en fibres. Comme les porcs ne possèdent pas les enzymes nécessaires à une telle dégradation (AACC, 2001), celle-ci est causée par les microorganismes du tractus digestif. Théoriquement, l'augmentation des fibres alimentaires entraîne une augmentation de la masse bactérienne, et donc une plus grande sécrétion d'enzymes hydrolysant les fibres, dont des xylanases (Schutte et al., 1992; Wilfart et al., 2006). Toutefois, l'activité de la xylanase totale (Xylanases du microbiote + *Econase XT*) au niveau de l'iléon est plus faible pour les aliments élevés en fibres. Cette faible quantité de xylanases totales peut possiblement être expliquée par la dégradation de cette enzyme suite à son action hydrolytique, mais il est impossible de valider cette hypothèse dans les conditions de l'expérimentation. Par ailleurs, l'activité des xylanases totales (bxu/kg) retrouvée à la fin de l'iléon pour le traitement *Témoin-X* est plus faible que celle de l'*Econase XT*. Les méthodes de détection différentes pour les xylanases totales et l'*Econase XT* en sont probablement la cause.

2.6.2 Expérience 2 – Essai de croissance

2.6.2.1 Performances de croissance

La CMJ des porcs recevant le traitement *Témoin* faible en fibres était plus élevée que pour les aliments fibreux lors de la première période (d0-14). Une consommation importante de fibres chez le porc augmente le volume du bolus alimentaire et l'encombrement stérique du système digestif induisant un sentiment de satiété à l'animal (Low, 1989; Kerr et Shurson, 2013). La diminution de CMJ s'est traduite en diminution de GMQ sans effet sur l'efficacité alimentaire.

Cependant, lors de la période 2 (d15-28), la différence de CMJ des animaux du traitement *Témoin* et de ceux élevés en fibres s'amenuise et une simple tendance est observable. Ceci amène à penser que le tractus digestif des porcs s'adapte à la présence de fibres alimentaires. Comme rapporté dans la littérature, le microbiote porcine a une capacité d'adaptation variable à la fibre s'étalant sur une période d'une à plus de cinq semaines (Castillo et al., 2007; Urriola et Stein, 2012). Par ailleurs, certains auteurs ont rapporté une amélioration des performances de croissance pour une période de temps restreinte chez le porc suite à l'ajout de carbohydrase à l'aliment (Kiarie et al., 2012; Cho et al., 2016). Notamment, Kim et al. (2005) ont montré une augmentation de l'efficacité alimentaire des porcelets en post-sevrage suite à l'ajout de carbohydrases pour la première semaine de traitement. L'une des hypothèses liées à ces observations est que la xylanase permettrait de compenser les effets néfastes de la consommation de fibres alimentaires durant la période d'adaptation de l'animal à sa diète, période au-delà de laquelle la supplémentation en enzyme n'est plus efficace. Par ailleurs, l'âge des porcs a également un effet important sur sa capacité de dégradation des fibres. Plusieurs travaux ont montré que les fibres alimentaires sont plus digestibles chez la truie adulte et qu'elles apportent plus d'énergie, en moyenne 0,6 MJ/kg de MS, à l'animal comparativement au porc à l'engraissement (Diebold et al., 2004; Emiola et al., 2009). Le système digestif des porcs plus âgés comprend un système enzymatique plus mature et une plus grande population de microorganismes apte à hydrolyser les fibres, particulièrement dans le gros intestin (Diebold et al., 2004; Olukosi et al., 2007; Jha et Berrococo, 2015). Le même principe est applicable chez le porcelet qui a un système digestif immature comparativement au porc en finition. Toutefois, les résultats présentés ici ne montrent aucun effet de la xylanase sur les performances de croissance des animaux, et ce, peu importe la période à l'étude. Ces résultats sont en accord avec ceux

rapportés par Feoli et al. (2006), Olukosi et al. (2007) ainsi que Woyengo et al. (2008) qui n'observent aucun effet de la xylanase sur les performances de croissance des porcs.

Les performances globales durant les 28 jours du présent essai de croissance indiquent que les aliments riches en fibres diminuent la CMJ des porcs en finition de 9,5 %, ont une tendance à l'augmentation de l'efficacité alimentaire des porcs, mais n'influent pas le GMQ ni l'épaisseur de gras et de muscles dorsaux. Lors de l'essai de digestibilité, les hauts niveaux de fibres alimentaires n'ont pas montré d'effet négatif sur la digestibilité des composants nutritionnels alors que pour l'essai de croissance, une diminution de la consommation est observée. Cela amène à penser que chez le porc en croissance, les effets indésirables des fibres affectent les performances de croissance des animaux avant d'affecter directement la digestibilité. Ainsi, dans les conditions expérimentales évaluées, les effets néfastes des fibres seraient principalement physiques (encombrement stérique du tractus digestif, vitesse de transit...) et non directement sur la digestibilité des composants ou l'absorption des nutriments. Enfin, l'ajout de xylanase aux aliments riches en fibres n'a pas eu d'impact sur les performances de croissance des animaux.

2.6.2.2 Composition corporelle

Lors de l'essai de croissance, la quantité et les types de fibres alimentaires n'ont pas eu d'effet sur les épaisseurs de gras et de muscles dorsaux, sur le gain de masse protéique et lipidique ainsi que sur le contenu minéral osseux et la densité minérale osseuse. Toutefois, suite à l'ajout de xylanase, on observe une tendance à la baisse pour le contenu minéral osseux et une diminution significative pour le gain de contenu minéral osseux pour le traitement *HFC-X* en comparaison au traitement *HFC*.

Le calcium et le phosphore sont les principaux éléments qui composent la fraction inorganique du squelette. Le ratio Ca : P alimentaire et la disponibilité de ces éléments dans la lumière intestinale modulent les quantités qui seront absorbées et déposées dans l'organisme (Crenshaw, 2000). Les ingrédients alternatifs sont souvent plus concentrés que leur produit d'origine en phosphore phytique (PP), peu disponible pour les porcs. En effet, comme le PP est majoritairement lié aux NSP, notamment les arabinoxylanes, certains ingrédients alternatifs comme le gru de blé et le tourteau de canola renferment de grandes quantités de PP (Maga, 1982; Oatway et al., 2001; Kim et al., 2005; NRC, 2012). Les NSP sont également hautement associés au Ca (Frolich et al., 1984).

Dans la lumière intestinale, le PP et le Ca peuvent interagir pour former de la phytine, ce qui immobilise le Ca et diminue son absorption (Oatway et al., 2001). Lors de l'ajout de xylanase à l'aliment, la lyse des NSP peut libérer du PP qui, en l'absence de phytase, immobilise le Ca. Ainsi, l'ajout de carbohydrases peut diminuer la digestibilité totale du Ca et du P. Cette hypothèse pourrait expliquer la diminution du gain de CMO observée lors de l'essai de croissance. La spécificité enzyme-substrat variant entre les ingrédients alternatifs (Nortey et al., 2008), il est possible que le tourteau de canola contenu dans l'aliment *HFC-X*, qui apporte environ 40% du P sous forme phytique, soit plus sensible à la présence de xylanase, ce qui pourrait expliquer pourquoi la diminution du gain minéral osseux se produit uniquement pour l'aliment *HFC-X*. Il est également à noter que le régime *HFC* apportait en théorie 2,7 g/kg de P phytique comparativement 1,7 g de P phytique pour les régimes *HFW* (NRC, 2012).

Cependant, lors de l'essai de digestibilité, aucun effet de la xylanase sur la DIA du Ca et du P n'a été relevé. Comme l'absorption du Ca se fait également au niveau du gros intestin (Crenshaw, 2000), il aurait été intéressant de mesurer l'ATTD du Ca et du P lors de l'essai de digestibilité afin de valider ou non la présente hypothèse. Par ailleurs, un dosage du PP sur le P total des ingrédients alternatifs aurait également été intéressant. Ainsi, si la diminution du gain de contenu minéral osseux est réellement due à l'ajout de la xylanase, les mécanismes pouvant l'expliquer demeurent toutefois incertains. Néanmoins, si l'hypothèse est vraie, le simple ajout de phytase à l'aliment devrait être suffisant afin de contrer cet effet indésirable de l'enzyme exogène.

2.6.2.3 Qualité du gras

L'indice d'iode (I.I.), qui est une mesure de l'insaturation des acides gras, est l'une des méthodes les plus souvent utilisées en alimentation animale comme indicateur de la qualité lipidique de la carcasse. La mesure de cet indice au niveau des bajoues peut toutefois surestimer l'insaturation totale de la carcasse de porc comparativement à la valeur mesurée au niveau du dos qui est plus représentative de l'ensemble des lipides (Benz et al., 2011). De plus, il existe une corrélation négative entre l'indice d'iode et l'épaisseur de gras dorsal chez le porc (Courboulay et al., 1999; Albar et al., 2006; Paulk et al., 2015). De ce fait, les individus à haut potentiel de dépôt de masse maigre, comme pour la génétique utilisée pour l'essai de croissance (G-Performer 8,0 x Fertilis 25 ; Génétiporc Inc., St-Bernard, Québec, Canada), ont souvent un niveau d'insaturation des gras plus élevé. L'industrie porcine nord-américaine tolère un niveau d'I.I maximum aux alentours de 70 à 75

(Seneviratne et al., 2010; Benz et al., 2011). Lors l'essai de croissance, les moyennes d'I.I. mesurés à partir d'échantillon de gras de bajoue se situent entre 72,3 et 75,6. Ainsi, en tenant compte de la surestimation de la valeur de l'indice d'iode par le site de prélèvement et de la génétique maigre utilisée, il est possible d'affirmer que les quantités d'ingrédients alternatifs inclus dans les diètes pour porcs en finition permettraient d'obtenir une qualité du gras acceptable pour l'industrie.

Les résultats de l'essai de croissance ne révèlent aucun effet de la supplémentation en xylanase sur la composition corporelle des sujets, c'est-à-dire l'épaisseur de muscles et de gras dorsaux, la masse protéique et lipidique ainsi que d'indice d'iode de la carcasse. Ces résultats appuient ceux obtenus par Hanczakowska et al. (2012).

2.7 Conclusion

En conclusion, les quantités de fibres apportées par les ingrédients alternatifs lors des deux expérimentations n'ont pas eu d'effet majeur sur la DIA des nutriments ni sur les performances de croissance, contrairement à ce qui était attendu. L'ajout d'*Econase XT* n'a pas permis d'améliorer ces mêmes paramètres, probablement à cause des faibles effets négatifs des fibres relevés lors des expérimentations. Ceci pourrait également être attribuable à un manque de substrat, les xylanes, absent ou en trop faible concentration dans ces types de régimes alimentaires.

Les résultats de la présente étude suggèrent tout de même de faibles effets négatifs des fibres alimentaires apportées par les coproduits de blé d'une part et les drêches et le tourteau de canola d'autres parts, sur la consommation de l'animal. De plus, malgré que les hauts niveaux d'ingrédients alternatifs aient induit une augmentation de l'insaturation des lipides des carcasses, celles-ci demeuraient dans les standards de qualité de l'industrie nord-américaine.

À la lumière de ces résultats, il apparaît possible et même avantageux d'augmenter l'utilisation des ingrédients alternatifs disponibles dans l'est du Canada, notamment chez le porc en finition et ce, malgré les quantités importantes de fibres alimentaires qu'ils apportent. Il serait intéressant, pour l'avenir, de déterminer avec plus de précision les impacts de niveaux encore plus élevés de fibres dans l'alimentation des porcs, en début de croissance comme en finition, afin de pouvoir exploiter judicieusement ces ressources alimentaires alternatives très intéressantes.

Concernant les aspects méthodologiques, les analyses de fibres solubles et insolubles n'ont pas apporté beaucoup d'information et ne semblent pas être un meilleur indicateur que le NDF, du moins, à ces niveaux de fibres (15% NDF) dans l'aliment. Une caractérisation des fibres plus précise, par exemple en analysant les concentrations en arabinose et en xylose, serait à envisager afin de déceler toutes les actions possibles de l'enzyme lors de la dégradation des fibres alimentaires. Enfin, des essais préliminaires en condition *in vitro* pourraient être indiqués afin de s'assurer de la spécificité entre les enzymes et les substrats choisis et d'en faire le parallèle avec les résultats obtenus en conditions expérimentales *in vivo*.