

En d'autres termes, l'ajout de fibres alimentaires dans l'alimentation des porcs a un effet prébiotique dans le système digestif, ce qui pourrait améliorer les fonctions immunitaires et endocriniennes chez les porcs de tous âges (Robertfoid, 1997; Broekaert et al., 2011; Zhenping et al., 2013).

## **1.4 Enzymes exogènes : Xylanases**

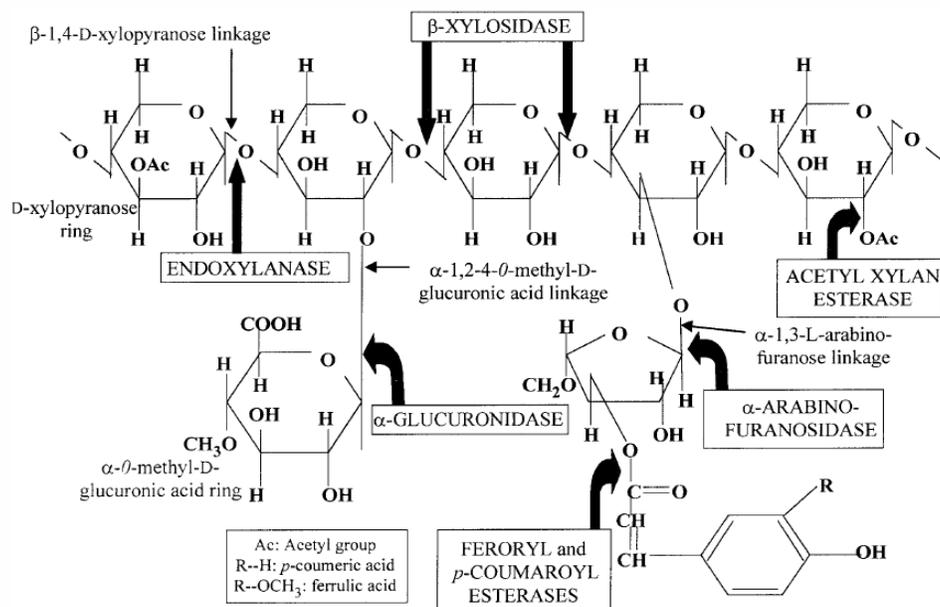
Comme mentionné précédemment, la digestion des fibres par les enzymes endogènes serait plus avantageuse pour le bilan énergétique du porc que la fermentation microbienne au niveau du tube digestif inférieur. Ainsi, dans le but d'augmenter l'apport en énergie et en nutriments provenant de la fraction fibreuse de l'aliment, l'utilisation d'enzymes digestives permettant la lyse des polysaccharides peut être envisagée dans les conditions commerciales actuelles. Les arabinoxylanes qui, avec la cellulose, représentent les composants majeurs de la fraction des NSP, sont reconnus pour être fortement corrélés avec la diminution de la digestibilité de l'énergie et des fibres (Gutierrez et al., 2014, Pedersen et al., 2014). Ainsi, la xylanase, une enzyme hydrolysant les xylanes, pourrait être une bonne candidate afin d'augmenter la digestibilité des aliments et potentiellement les performances de croissance chez le porc (Nortey et al., 2007; Woyengo et al., 2008; Hanczakowska et al., 2012; Cho et al., 2016). Les sections suivantes ont pour buts de bien définir la xylanase, sa production et son utilisation ainsi que ses impacts.

### **1.4.1 Définitions des xylanases**

Les xylanases les plus communément rencontrées sont l'endoxylanase (endo-1,4- $\beta$ -xylanase) et la  $\beta$ -xylosidase (Juturu et Wu, 2011). Ces enzymes sont spécifiques à certaines liaisons chimiques et agissent conjointement afin de dégrader les xylanes en sucres simples (Belancic et al., 1995; Krause et al., 2003). Plus précisément, l'endoxylanase agit directement sur le squelette carboné des xylanes pour couper aléatoirement les liaisons  $\beta(1-4)$ , ce qui libère des xylooligosaccharides (XOS) qui sont à leur tour transformés en xyloses, principalement par la  $\beta$ -xylosidase. L'hydrolyse des liaisons  $\beta(1-4)$  permet d'ailleurs une diminution rapide de la viscosité du substrat, ce qui facilite les processus suivants de dégradation (Zhang et al., 2007; Bedford et Partridge, 2010).

La structure fibreuse des plantes, qui diffère entre les espèces, mais aussi au sein d'un même organisme, nécessite donc un amalgame de plusieurs enzymes, en combinaison appropriée, afin

d'obtenir une dégradation optimisée des xylanes et donc, d'une partie de la fibre alimentaire (Figure 1.6). Une étude de Yin et al. (2001) a montré une interaction *substrat x xylanase* variable entre divers cultivars d'orge lors d'un essai de digestibilité chez le porc en croissance. Ces résultats montrent bien la forte spécificité de l'enzyme à son substrat qui peut être variable au sein d'une même espèce de végétaux.



**Figure 1.6 :** Exemple de structure moléculaire de xylane avec différents groupements fonctionnels ainsi que les sites d'hydrolyse des différentes enzymes.

Springer Applied Microbiology and Biotechnology, Microbial xylanases and their industrial applications: A review, volume 56, 2001, page 326-338, Beg, Q. K., Kapoor, M., Mahajan, L. and G. S. Hoondal, © Springer-Verlag 2001. With permission of Springer.

En plus de la spécificité enzyme-substrat, d'autres facteurs peuvent influencer la réponse enzymatique. En effet, les conditions environnementales comme le pH, la température, et la salinité, ainsi que l'accessibilité de l'enzyme au substrat et les procédés de transformations appliqués à l'enzyme et au substrat sont tous des éléments qui influencent la réponse à l'enzyme exogène (Slominski et al., 2004; Collins et al., 2005; Motta et al., 2013).

Les xylanases sont fréquemment utilisées dans plusieurs domaines, tels la gestion des déchets, l'industrie des pâtes et papiers, les textiles, la production de biocarburants et produits chimiques ainsi qu'en alimentation humaine et animale (Beg et al., 2001; Motta et al., 2013). En alimentation animale, la majorité des carbohydrases sur le marché est concentrée sur la dégradation des céréales

(Bedford et Partridge, 2010). Cependant, comme il existe de nombreux domaines dans lesquels est utilisée la xylanase et que celle-ci a une action spécifique, la production d'un complexe enzymatique adapté à son utilisation est une stratégie essentielle pour obtenir une action maximale.

#### **1.4.2 Production des xylanases**

La xylanase peut être naturellement produite par une grande variété d'organismes, tels des plantes, des algues, des gastropodes, des arthropodes, des levures, des champignons, des bactéries et des protozoaires (Prade, 1995; Beg et al., 2001). Chacun des organismes peut produire, en fonction de ces besoins, plus d'un type de xylanase comportant différentes spécificités (Bedford et Partridge, 2010). Par ailleurs, le système digestif des monogastriques ne produit pas de xylanase en quantité suffisante<sup>2</sup> requise pour hydrolyser les arabinoxylanes (Parkkonen et al., 1997; Grieshop et al., 2000; Barrera et al., 2004; Ao et al., 2010; Broekaert et al., 2011). De plus, bien que les ruminants ne produisent également pas de xylanase endogène, leur rumen contient une multitude de microorganismes qui en secrètent, permettant ainsi à leur hôte une meilleure utilisation de la fraction fibreuse de l'aliment (Gomez De Segura et al., 1998; Krause et al., 2003; Motta et al., 2013).

Afin de s'approvisionner en cette enzyme à des fins industrielles, les microorganismes sont généralement considérés comme une bonne source puisqu'ils se multiplient rapidement et synthétisent naturellement des produits biologiquement actifs qui peuvent facilement être contrôlés. Les xylanases microbiennes sont des catalyseurs de prédilection puisqu'elles sont hautement spécifiques, ont des conditions de réaction modérées et produisent peu de produits secondaires et de pertes de substrat (Motta et al., 2013).

#### **1.4.3 Utilisation de la xylanase en production porcine**

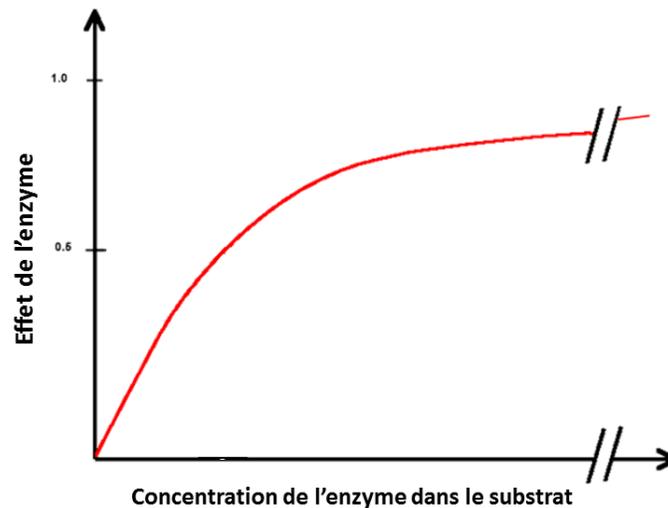
En alimentation porcine, les xylanases utilisées doivent être adaptées aux conditions environnementales spécifiques à leur utilisation, c'est-à-dire, aux conditions du système digestif des porcs. Plus précisément, l'enzyme doit être résistante et active à la température interne de l'animal,

---

<sup>2</sup> Certains microorganismes présents dans le petit et le gros intestin des monogastriques peuvent produire dans certains cas de faibles quantités de xylanase (Broekaert et al., 2011).

soit environ 38 à 40°C, ainsi qu'au pH acide de l'estomac et aux sécrétions basiques du petit intestin (Yen, 2000; Campenhout et al., 2003 cité par Collins et al., 2005; Pedersen et al., 2015b). La xylanase doit aussi résister à l'attaque des enzymes digestives endogènes assez longtemps pour avoir le temps de jouer son rôle sur le substrat. Par ailleurs, à une étape antérieure à son ingestion par l'animal, l'enzyme doit également pouvoir résister à la température de chauffage de la moulée lors du cubage, généralement entre 70°C et 95°C (Collins et al., 2005). Il est impératif que l'enzyme ne soit pas dénaturée afin qu'elle conserve son potentiel hydrolytique et puisse jouer son rôle sur le substrat.

Comme la majorité des enzymes, la xylanase a un effet dose-réponse, c'est-à-dire qu'elle agit selon une réaction enzymatique qui dépend de la dose de l'enzyme et de la quantité de substrat disponible (Ao et al., 2010; Hanczakowska et al., 2012). Lorsque les enzymes ont hydrolysé la majorité du substrat, elles deviennent inefficaces par manque de matériel à dégrader. Il est alors possible d'observer un plateau au niveau de l'effet de l'enzyme en fonction de sa concentration dans le substrat (*Figure 1.7*).



**Figure 1.7 :** Effet dose-réponse hypothétique d'une enzyme sur un substrat.

Une xylanase qui est adaptée au substrat et aux conditions spécifiques à son utilisation agit sur plusieurs paramètres de la digestibilité. Tout d'abord, la xylanase permet l'hydrolyse partielle des NSP, et donc, des parois cellulaires, ce qui permet l'accès des enzymes digestives endogènes au contenu interne des cellules. Ainsi, en dégradant les parois cellulaires, l'enzyme diminue ou élimine l'effet d'encapsulation des nutriments et de l'énergie causé par les NSP (Yin et al., 2000b; Bedford

et Partridge, 2010; de Lange et al., 2010). Toutefois, les xylanases montrent une forte spécificité. Ainsi, il est possible qu'une xylanase précise ait une bonne réactivité pour un aliment donné, mais lorsqu'elle est intégrée dans un autre, l'effet peut être amoindri ou même nul.

Par ailleurs, les porcs plus vieux pourraient obtenir une réponse moindre à l'ajout d'enzymes exogènes dans une ration comparativement aux plus jeunes, car leur système digestif comprendrait une plus grande population de microorganismes capables d'hydrolyser les NSP (Diebold et al., 2004; Olukosi et al., 2007).

#### **1.4.4 Effets de la xylanase en production porcine**

La littérature scientifique déborde d'informations concernant l'utilisation d'enzymes dans l'alimentation des animaux d'élevage et la xylanase n'en fait pas exception. En effet, on rapporte plusieurs répercussions de la xylanase, entre autres, sur la viscosité intestinale, la digestibilité des fibres et de l'énergie, son effet sur les performances de croissance des porcs, la digestion et l'absorption des AA, du calcium, du phosphore et des lipides ainsi que son interaction avec la phytase et ses effets prébiotiques. Les sections suivantes ont pour but d'approfondir chacun de ces aspects afin de faire une synthèse de l'information existante sur les effets observés de la xylanase chez le porc en croissance qui, malgré tout, ne sont pas très bien connus.

##### ***1.4.4.1 Viscosité intestinale***

Comme il a été mentionné dans la section *1.3.3 Propriétés des fibres alimentaires*, certains ingrédients peuvent augmenter de la viscosité du digesta ce qui diminue la digestibilité du bolus alimentaire. Bien que la viscosité intestinale soit plus dommageable chez les espèces aviaires que chez le porc, ce dernier peut tout de même en ressentir les méfaits. Afin de contrer les effets néfastes de la viscosité, il est possible d'ajouter de la xylanase à la ration alimentaire. Cependant, les porcs qui reçoivent une alimentation supplémentée en xylanase ne montrent pas une amélioration constante de la digestibilité et des performances de croissance comme c'est le cas chez la volaille. Ces différentes réponses aux carbohydrases entre les deux espèces peuvent être dues notamment aux particularités distinctes de leur système digestif (Partridge, 2000).

Toutefois, les résultats observés chez les espèces aviaires montrent bien qu'une hydrolyse partielle des carbohydrates des parois cellulaires, suite à l'ajout de xylanase dans l'alimentation, pourrait être suffisante afin de diminuer la viscosité du substrat. C'est entre autres pour cette raison que l'ajout de xylanase chez les poulets est efficace (Bedford et Partridge, 2010). Chez le porc, une étude de Zijlstra et al. (2004) a montré une diminution de 30 % de la viscosité du digesta dans la partie terminale du petit intestin en réponse à l'ajout de 0,4 % de carbohydrases dans une ration à base de blé et de tourteau de canola. Comme un petit changement de viscosité peut avoir une influence importante sur les effets antinutritionnels engendrés (Fengler et Marquardt, 1988; Bedford, 2002), cette diminution peut en partie expliquer l'augmentation des performances de croissances observée dans cette expérience. De plus, la diminution de la viscosité peut augmenter le taux de passage du bolus alimentaire et influencer à la hausse la CMJ des animaux, ce qui augmente le potentiel de croissance (Cadogan et al., 2003; Barrera et al., 2004; Zijlstra et al., 2004; Kiarie et al., 2012; Cho et al., 2016; Lu et al., 2016).

#### ***1.4.4.2 Digestibilité de l'énergie et des fibres***

Dans la littérature, les effets de la xylanase sur la digestibilité de l'énergie et des fibres sont disparates et de nombreuses études échouent à montrer une amélioration de la DIA des composants nutritionnels. De manière générale, suite à l'ajout de carbohydrases dans un aliment à base de céréales visqueuses, on observe une augmentation de l'ATTD des fibres ADF et NDF (Atakora et al., 2011) ainsi que la DIA des NSP (Yin et al., 2000b; Pedersen et al., 2015b), de la fibre NDF et de l'énergie (Yin et al., 2001). À titre d'exemple, Pedersen et al. (2015b) a 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 une ration composée de DDGS de blé. De plus, l'ajout de xylanase peut augmenter la DIA et parfois l'ATTD de l'énergie et de la matière sèche (Yin et al., 2000b; Nortey et al., 2007; Nortey et al., 2008; Emiola et al., 2009; Kiarie et al., 2012).

Les rations comprenant des céréales visqueuses ou ingrédients alternatifs offrent à l'enzyme un contenu riche en fibres NSP qui sont de bons substrats d'hydrolyse. Ainsi, une fois les liens  $\beta$ 1-4 hydrolysés par l'enzyme, le contenu interne des cellules végétales est accessible par les enzymes digestives endogènes, ce qui permet l'absorption de l'énergie et des nutriments par l'animal (Yin et al., 2000b; Diebold et al., 2004; Nortey et al., 2008). Cependant, l'augmentation de la dégradation de la fibre n'induit pas systématiquement une augmentation de la digestibilité de l'énergie (Woyengo et al., 2008; Atakora et al., 2011). Par ailleurs, la xylanase et autres carbohydrases n'ont

que peu ou pas d'impact sur la digestibilité de l'énergie des aliments peu fibreux ou pour ceux ayant une faible spécificité substrat-enzyme, comme la DDGS de maïs ou de blé (Zijlstra et al., 2004; Olukosi et al., 2007; Emiola et al., 2009; Widyaratne et al., 2009; Ao et al., 2010; Atakora et al., 2011; Yáñez et al., 2011; Pedersen 2015a et b; Casas et Stein, 2016).

Dans certains cas, l'augmentation de la DIA de l'énergie, de la matière organique ou des fibres alimentaires (et NSP) ne se traduit pas par une augmentation de l'ATTD (Widyaratne et al., 2009). La constance dans l'ATTD de l'énergie est due au fait que l'ajout d'enzyme à l'aliment n'affecte pas l'utilisation des composants nutritionnels faite par les microorganismes du gros intestin (Pedersen et al., 2015b). Ainsi, comme le microbiote s'adapte à la quantité de substrat disponible, la composition des fèces demeure inchangée. Toutefois, cela ne signifie pas que le bilan métabolique de l'animal est le même, car la digestion par les enzymes endogènes peut être plus efficace pour l'animal que la fermentation microbienne.

#### ***1.4.4.3 Performances de croissance des porcs***

Bien qu'il puisse y avoir une augmentation significative de la digestibilité de la fibre et de l'énergie avec l'ajout d'enzymes exogènes à l'aliment, cela n'entraîne pas systématiquement une hausse des performances de croissance chez le porc. Pour que l'enzyme puisse augmenter les performances des animaux, elle doit être en mesure d'agir sur le substrat (spécificité) afin de libérer des nutriments et de l'énergie supplémentaires ou de diminuer la viscosité du digesta (désencombrement du tractus digestif). Toutefois, ces changements doivent être suffisamment importants pour faire une différence sur le métabolisme de l'animal et subséquemment, entraîner un gain d'efficacité alimentaire, de consommation ou de croissance. Comme énoncé précédemment, une amélioration de la digestibilité de la fibre et de l'énergie n'est pas toujours observée suite à l'ajout de xylanase, et même si c'est le cas, rien n'assure qu'elle se traduise en amélioration des performances. C'est entre autres pour cela que les effets répertoriés de la xylanase sur les performances de croissance des porcs sont inconsistants.

En effet, la littérature scientifique montre des effets contradictoires de la xylanase sur les performances et l'efficacité des porcs en croissance, passant d'une amélioration marquée à un effet inexistant ou encore une détérioration des performances. Le *Tableau 1.2* est un récapitulatif des effets de l'ajout de carbohydrases sur la CMJ, le GMQ et l'efficacité alimentaire des porcs tirés de

plusieurs études. Comme ces études diffèrent entre elles à de nombreux niveaux, les comparaisons sont plutôt difficiles, mais il est tout de même possible d'en tirer certaines observations générales.

Tout d'abord, certains auteurs n'observent aucun changement significatif des performances de croissance des porcs après à l'ajout de carbohydrases à l'aliment (Barrera et al., 2004; Kim et al., 2005; Feoli et al., 2006; Olukosi et al., 2007; Woyengo et al., 2008). L'absence de réponse des animaux peut difficilement être expliquée par un niveau insuffisant de fibre puisqu'Ao et al. (2010) et Lu et al. (2016) ont montré une augmentation des performances de croissance suite à l'ajout de carbohydrases dans des aliments à faible teneur en fibres (maïs-grain et tourteau de soya). Cependant, l'absence de changement des performances des animaux peut être due à la faible spécificité enzyme-substrat. Notamment, Widyaratne et al. (2009) a observé une interaction entre la xylanase et le blé, mais pas avec la DDGS malgré des niveaux de fibres plus élevés, ce qui témoigne bien de l'importance de la spécificité de l'enzyme à son substrat. Toutefois, une enzyme active et adaptée au substrat n'assure pas une amélioration des performances puisque l'impact métabolique de l'enzyme peut ne pas être assez puissant. En effet, plusieurs auteurs ont observé une amélioration de la digestibilité des composants nutritionnels et de l'absorption des nutriments, mais sans pouvoir l'associer à une augmentation des performances de croissance de ces animaux (Barrera et al., 2004; Widyaratne et al., 2009; Kiarie et al., 2012).

À l'encontre de ce qui précède, d'autres études ont signalé une amélioration de l'efficacité alimentaire, du GMQ ou de la CMJ (Omogbenigun et al., 2004; Zijlstra et al., 2004; Nortey et al., 2007; Emiola et al., 2009; Widyaratne et al., 2009; Ao et al., 2010; Hanczakowska et al., 2012; Kiarie et al., 2012; Cho et al., 2016; Lu et al., 2016). Encore une fois, les études sont difficilement comparables entre elles, mais il est possible d'en faire quelques déductions. Tout d'abord, une augmentation de la CMJ est particulièrement observée chez les jeunes animaux (Zijlstra et al., 2004; Kiarie et al., 2012; Cho et al., 2016; Lu et al., 2016), ce qui pourrait indiquer que les enzymes diminuent la viscosité, le temps de passage et l'encombrement stérique du tube digestif. Comme la capacité du tube digestif est souvent limitante à la consommation et que l'encombrement stérique est lié de manière intrinsèque au sentiment de satiété, sa diminution pourrait augmenter la consommation des jeunes porcs (Kiarie et al., 2012). D'autres auteurs ont plutôt noté une diminution de la CMJ des porcs en croissance (Nortey et al., 2007; Widyaratne et al., 2009). Selon leurs hypothèses, le fait que la xylanase diminue la consommation, mais n'affecte pas le GMQ peut indiquer que la réduction de l'ingestion est balancée par l'augmentation de la digestibilité

(Widyaratne et al., 2009). Ainsi, une augmentation de l'énergie digestible de l'aliment diminuerait l'ingestion d'aliments des animaux (Nortey et al., 2007).

Par ailleurs, il est aussi possible d'observer dans certains cas une amélioration de l'efficacité alimentaire ou de la CMJ pour une période de temps restreinte, c'est-à-dire pour la ou les premières semaines après l'ajout d'enzymes à la ration (Kim et al., 2005; Kiarie et al., 2012; Cho et al., 2016). Une hypothèse à ce phénomène serait que la xylanase permettrait de compenser les effets néfastes de la consommation de fibres durant la période d'adaptation de l'animal. Une fois que le tractus digestif et son microbiote se sont adaptés (Castillo et al., 2007; Urriola et Stein, 2012), l'ajout de xylanase ne semble plus nécessaire pour compenser la diminution d'efficacité alimentaire due aux fibres alimentaires.

Bien que les études sur les impacts de l'ajout de carbohydrases sur les performances de croissance des porcs soient relativement nombreuses, il est encore difficile pour le moment d'établir une ligne directrice d'utilisation afin de maximiser ses bienfaits. Toutefois, les résultats du *Tableau 1.2* indiquent qu'il y a bel et bien un potentiel à l'utilisation d'enzymes fibrolitiques exogènes dans un contexte commercial.

**Tableau 1.2 :** Effets des carbohydrases sur les performances de croissance des porcs selon différentes sources de fibres.

Étude	Source de fibres	Stade de croissance	Enzymes	CMJ	GMQ	Efficacité alimentaire
Kim et al., 2005	Blé	Début croissance	Xylanase	NS	NS	T↑*
Lyberg et al., 2008	Blé	Début croissance	Xylanase	NS	NS	↓
Barrera et al., 2004	Blé	Croissance	Xylanase	T	T	T↑
Woyengo et al., 2008	Blé	Croissance	Xylanase	NS	NS	NS
Nortey et al., 2007	Blé et coproduits	Croissance	Xylanase	T↓	NS	↑
Olukosi et al., 2007	Blé et soya	Croissance	Xylanase	NS	NS	NS
Cho et al., 2016	Maïs, blé et soya	Croissance	Xylanase	↑*	NS	NS
Widyaratne et al., 2009	Blé et DDGS de blé	Croissance	Xylanase	↓§	NS	NS
Hanczakowska et al., 2012	Triticale, seigle, blé, soya	Croissance-finition	Xylanase	NS	↑	↑
Feoli et al., 2006	Maïs, soya et gru de blé	Finition	Xylanase	NS	NS	NS
Zijlstra et al., 2004	Blé et canola	Post-sevrage	Mélange <sup>1</sup>	↑	↓	↑
Omogbenigun et al., 2004	Blé et maïs	Post-sevrage	Mélange <sup>2</sup>	NS	↑	↑
Lu et al., 2016	Maïs-soya	Post-sevrage	Mélange <sup>3</sup>	↑	↑	↑
Ao et al., 2010	Maïs-soya	Croissance	Mélange <sup>4</sup>	NS	↑	↑
Kiarie et al., 2012	Orge, blé, DDGS, maïs	Croissance	Mélange <sup>3</sup>	↑*	NS	T↑*
Emiola et al., 2009	Orge et DDGS de blé	Finition	Mélange <sup>5</sup>	NS	↑	T↑

Abréviation : Consommation moyenne journalière (*CMJ*), Gain moyen quotidien (*GMQ*) et non significatif (*NS*), tendance (*T*), augmentation (↑) et diminution (↓).

<sup>1</sup> Mélange d'enzymes : xylanase et β-glucanase.

<sup>2</sup> Mélange d'enzymes : cellulase, galactanase, mannanase et pectinase.

<sup>3</sup> Mélange d'enzymes : xylanase, β-glucanase et phytase.

<sup>4</sup> Mélange d'enzymes : α-galactosidase, galactomannase, xylanase, β-glucanase.

<sup>5</sup> Mélange d'enzymes : xylanase, β-glucanase et cellulase.

\* Pour le début de l'expérience uniquement : devient NS pour la suite de l'expérimentation.

§ Pour ration à base de blé uniquement.

#### ***1.4.4.4 Digestibilité des acides aminés***

Comme il a été rapporté à la section *1.3.3.4 Impact des fibres sur la digestibilité des acides aminés*, il est possible que de hauts niveaux de fibres alimentaires chez les porcs puissent réduire la DIA des PB et des AA, phénomène qui pourrait être contré par l'ajout de carbohydrases. Le *Tableau 1.3* suivant présente les résultats de diverses études sur l'effet de l'ajout de carbohydrases sur la DIA des AA pour différents types de fibres.

Comme il est possible de le constater, la supplémentation en xylanase peut augmenter la DIA de certains AA pour des sources de fibres précises. En effet, les rations à base de grains (blé, orge, maïs et soya) et de coproduits du blé, excluant la DDGS de blé, semblent assez bien répondre à l'ajout de xylanase, comparativement aux rations à base de DDGS de maïs et de blé. Comme suggéré par Yáñez et al. (2011), il est possible que la structure des arabinoxylanes diffère entre le grain et les DDGS associées suite aux procédés de transformation, ce qui causerait une diminution de la spécificité enzyme-substrat. Pedersen et al. (2014 et 2015b) suggèrent plutôt que les arabinoxylanes les plus dégradables ont déjà été brisés lors de la production des DDGS (fermentation et séchage à la chaleur), ce qui diminuerait l'effet de l'enzyme exogène.

D'autres parts, la réduction de la taille des particules du digesta par l'ajout de la xylanase à la ration peut partiellement expliquer la diminution des pertes d'azote en réduisant l'abrasion des fibres sur les parois du tractus digestif et donc, le renouvellement cellulaire (Oryschak et al., 2002).

Cependant, malgré certaines améliorations de la DIA des AA observées, peu d'études sont en mesure d'enregistrer une amélioration des performances de croissance des animaux, comme vue à la section précédente. De plus, bien que les différences puissent être significatives entre les traitements avec et sans l'ajout d'enzyme, l'augmentation numérique réelle du contenu en AA digestibles peut représenter, dans certains cas, une assez modeste proportion des AA initialement absorbée (Barrera et al., 2004). Ainsi, l'ajout de xylanase ne semble pas suffisant pour diminuer l'apport en AA chez les porcs en croissance. Enfin, selon l'information recueillie, il n'est pas possible d'affirmer s'il y a une différence d'efficacité entre les mélanges de carbohydrases ou la xylanase seule sur la DIA des AA.

**Tableau 1.3** : L'impact de carbohydrases sur la digestibilité iléale apparente des acides aminés pour différentes sources de fibres chez le porc en croissance selon plusieurs sources de la littérature scientifique.

Études	Source de fibres	Stade de croissance	Enzyme	AAE <sup>1</sup>										AANE <sup>1</sup>							
				Arg	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val	Ala	Asp	Cys	Glu	Gly	Pro	Ser	Tyr
Nortey et al, 2008	Coproduits du blé	Croissance	Xylanase	↑	T	↑	↑	↑	NS	↑	↑	-	↑	T	NS	NS	NS	NS	NS	↑	↑
Yin et al., 2000b	Blé et coproduits	Croissance	Xylanase	↑	↑	↑	NS	NS	↑	NS	↑	-	↑	NS	↑	↑	NS	↑	NS	↑	NS
Nortey et al, 2007	Blé et coproduits	Croissance	Xylanase	NS	↑	↑	T	NS	T	↑	T	-	NS	NS	NS	T	↑	NS	↑	NS	T
Barrera et al., 2004	Blé	Croissance	Xylanase	↑	T	T	↑	↑	NS	↑	T	-	↑	NS	NS	-	↑	↑	↑	T	↑
Diebold et al., 2004	Blé	Post-sevrage	Xylanase	↑	↑	↑	↑	T	↑	↑	NS	-	↑	↑	↑	T	↑	T	NS	↑	↑
Woyengo et al., 2008	Blé	Croissance	Xylanase	T	NS	NS	↑	↑	NS	↑	↑	-	NS	T	T	NS	NS	↑	NS	↑	NS
Yin et al., 2001	Orge	Début croissance	Xylanase	↑	NS	↑	NS	↑	↑	NS	NS	-	NS	↑	↑	↑	NS	↑	↑	NS	↑
Yáñez et al., 2011	DDGS maïs et blé cofermentés	Croissance	Xylanase	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	T
Emiola et al, 2009	DDGS de blé et grains d'orge	Finition	Mélange <sup>2</sup>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	↑	-	NS	NS	NS	-	NS	NS	↑	↑	NS
Ao et al., 2010	Maïs-soya	Croissance	Mélange <sup>3</sup>	↑	↑	↑	↑	↑	NS	NS	↑	-	↑	↑	↑	NS	↑	↑	↑	↑	NS

<sup>1</sup> Effet de la xylanase sur la DIA des acides aminés essentiels (AAE) et les acides aminés non essentiels (AANE) : Non significatif (NS), tendance (T), augmentation (↑) ou pas mentionné (-) dans l'étude

<sup>2</sup> Mélange de carbohydrases : Xylanase, β-glucanase, cellulase

<sup>3</sup> Mélange de carbohydrases : α-galactosidase, galactomannase, xylanase, β-glucanase

#### *1.4.4.5 Digestibilité du calcium et du phosphore*

Comme les régions des grains riches en NSP renferment aussi de bonnes quantités de Ca et de P, l'ajout de xylanase pourrait en libérer davantage dans le tube digestif et ainsi influencer les quantités disponibles et le ratio Ca : P et donc, modifier leur absorption. Les régions des grains riches en arabinoxylanes, comme le son, sont hautement associées au Ca (Frolich et al., 1984), mais renferment aussi une forte proportion du phytate (Maga, 1982). Ce dernier peut interagir avec le Ca dans la lumière intestinale et former de la phytine, ce qui immobilise le Ca et diminue son absorption (Oatway et al., 2001). Ainsi, 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 et peut indirectement modifier sa disponibilité.

À cet égard, deux expériences de Nortey et al. (2007, 2008) menées chez le porc en croissance ont montré une augmentation de la DIA du P pour certains aliments à base de blé suite à l'ajout de xylanase. À l'opposé, de nombreuses autres études n'ont pu arriver aux mêmes résultats (Lyberg et al., 2008; Woyengo et al., 2008; Emiola et al., 2009; Yáñez et al., 2011). Parallèlement, ces mêmes études n'ont pu observer aucun effet de carbohydrases sur la DIA du Ca (Nortey et al., 2007; Emiola et al., 2009), bien que certains aient observé une tendance à l'augmentation (Woyengo et al., 2008; Yáñez et al., 2011). Cependant, l'effet des carbohydrases sur l'ATTD du P demeure partagé dans la littérature. D'une part, certaines études ont montré une augmentation de l'ATTD du P lors de l'ajout de xylanase dans des rations à base de blé chez le porc en croissance (Kim et al., 2005; Nortey et al., 2007; Atakora et al., 2011). À l'opposé, d'autres études menées avec des diètes à base de blé, de DDGS de maïs et de blé ou de soya n'ont pu montrer un effet de la xylanase sur l'ATTD du P (Olukosi et al., 2007; Lyberg et al., 2008; Nortey et al., 2008; Woyengo et al., 2008; Widyaratne et al., 2009; Yáñez et al., 2011). Toutes ces études n'ont montré aucun effet de la xylanase sur l'ATTD du Ca, à l'exception de Woyengo et al. (2008) qui a observé une augmentation de l'ATTD chez les jeunes porcs de 20 kg, mais pas chez les plus lourds de 60 kg.

En revanche, la faible augmentation de l'ATTD du Ca suite à l'ajout de carbohydrases peut être partiellement expliquée par les mécanismes d'absorption diversifiés du système digestif (transport actif et passif). Ainsi, que le Ca soit disponible au niveau supérieur du petit intestin, par exemple à l'aide de la xylanase, ou encore dans le gros intestin, grâce à l'action du microbiote, il demeure tout de même absorbable par l'organisme.

Compte tenu de ce qui précède, il est possible de conclure que l'ajout de xylanase dans une ration alimentaire pourrait libérer du Ca et du P en faibles quantités suite au processus d'hydrolyse des NSP. Toutefois, le P libéré n'est pas disponible pour l'absorption et, en l'absence de phytase, peut causer des effets négatifs pour sa digestibilité et potentiellement celle du Ca. Par ailleurs, comme l'augmentation de la digestibilité du Ca et du P rapportée dans la littérature est nulle ou faible, il convient de ne pas modifier les recommandations (quantité et ratio Ca : P) pour ces deux éléments dans une formulation d'aliment pour porcs additionné de xylanase et de phytase.

#### ***1.4.4.6 Digestibilité des lipides***

L'effet de la xylanase sur la digestibilité des lipides est un sujet assez peu couvert dans la littérature. Comme les substrats de la xylanase sont les carbohydrates, peu d'auteurs ont mesuré son action sur la digestibilité des lipides. Certains n'ont montré aucun effet de l'ajout de carbohydrase sur la DIA et l'ATTD des lipides bruts dans des aliments à base de blé chez le porc en croissance (Diebold et al., 2004; Atakora et al., 2011), alors que d'autres indiquent une amélioration de la DIA ou ATTD (Emiola et al., 2009; Hanczakowska et al., 2012). Ces résultats ne sont cependant pas suffisants pour valider ou invalider l'effet potentiel de la xylanase sur la digestibilité des lipides chez le porc.

#### ***1.4.4.7 Interaction xylanase x phytase***

Bien que la xylanase soit une enzyme relativement nouvelle sur le marché de l'alimentation animale, la phytase, elle, est largement utilisée depuis plusieurs années pour l'alimentation des porcs et des volailles. En effet, on estime que plus de 90 % des éleveurs de porcs de la province ont recouru à cette enzyme exogène (Drolet et Pigeon, 2008). Plus précisément, la phytase est une enzyme permettant d'augmenter la disponibilité du phosphore dans les produits d'origine végétale, dont une forte proportion est emmagasinée sous forme d'acide phytique, lequel n'est que partiellement disponible pour les monogastriques (Bedford et Partridge, 2010). Dans l'optique d'utiliser la xylanase commercialement dans les élevages porcins, il est pertinent d'élucider une interaction possible entre la phytase et la xylanase lorsque ces deux enzymes se retrouvent simultanément dans un même aliment. Cette interaction supposée viendrait du principe selon lequel la xylanase, en brisant la structure des parois cellulaires, permettrait à la phytase d'hydrolyser le P-phytique présent à l'intérieur des cellules, auparavant inaccessible (Parkkonen et al., 1997).

Dans la littérature, les résultats sont inconsistants en ce qui a trait à l'interaction entre la phytase et la xylanase. D'un côté, plusieurs études ont pu montrer un effet synergique de la combinaison de phytase et de xylanase. Dans certains cas, une interaction positive a été observée sur la digestibilité et la rétention du P sur lesquelles la xylanase ne semble pas agir (Kim et al., 2005; Nortey et al., 2007). Selon l'étude de Kim et al. (2005), on observe une augmentation de la digestibilité du P pour les aliments à base de blé riches en P. Ainsi, cela appuie donc l'hypothèse de Parkkonen et al. (1997) sur la synergie entre les deux enzymes pour l'hydrolyse du P. Parallèlement, selon une étude d'Olukosi et al. (2007), la xylanase et la phytase prises séparément n'affectent pas l'excrétion de P fécal, alors que la combinaison des deux enzymes diminue significativement son excrétion chez le porc en croissance nourri avec une ration à base de blé. De surcroît, cette étude montre une augmentation de l'énergie ingérée et retenue pour les rations supplémentée à la fois en xylanase et en phytase, alors que les aliments contenant les enzymes prises séparément n'ont aucun effet sur ces mêmes paramètres.

Ailleurs dans la littérature, il est également possible d'observer une augmentation de la DIA des AA, la digestibilité totale de l'azote, l'énergie digestible totale, la DE et la digestibilité de la matière sèche (Oryschak et al., 2002; Lyberg et al., 2008; Kiarie et al., 2010) suite à l'ajout de carbohydrases et de phytase. De plus, Lyberg et al. (2008) ont observé une augmentation de la CMJ qui se traduit par une hausse de l'ADG sans affecter l'efficacité alimentaire chez les porcs nourris avec une ration à base de blé enrichie des deux enzymes. Les résultats des études précédentes ne montrent aucune répercussion sur les performances de croissance des porcs pour la combinaison des deux enzymes, malgré l'augmentation de la rétention de l'énergie et de la digestibilité de certains composants nutritionnels (Kim et al., 2005; Nortey et al., 2007; Olukosi et al., 2007).

En revanche, certaines études n'observent aucune interaction entre la xylanase et la phytase. En effet, selon Yáñez et al. (2011), aucune interaction entre les enzymes n'est observée dans une ration à base de DDGS de maïs et blé cofermentés, pour la DIA des AA et de la PB, ainsi que pour la digestibilité du Ca et P. Parallèlement, les recherches de Woyengo et al. (2008) ne montrent aucune interaction entre les deux enzymes pour la ATTD de l'énergie digestible, des PB, du Ca et du P ainsi que sur les performances de croissance pour des rations à base de blé.

À la lumière de ce qui précède, l'utilisation commerciale de xylanase simultanément à la phytase ne semble pas causer de conséquences défavorables chez le porc en croissance. À l'inverse, il

semblerait même que le mélange des deux enzymes ait un effet synergique favorable pour la digestibilité de certains composants alimentaires lorsque la xylanase est ajoutée à un substrat pour lequel une dégradation est possible.

#### ***1.4.4.8 Effet prébiotique***

Comme vu à la section *1.3.3.7 Impact des fibres sur l'immunité et leurs effets prébiotiques*, les métabolites de la dégradation des xylooligosaccharides peuvent avoir des répercussions positives sur l'immunité des porcs, principalement en post-sevrage. L'utilisation de xylanase qui en retour libère des xylooligosaccharides dans le tractus intestinal pourrait possiblement avoir un effet prébiotique, augmenter l'absorption des vitamines et des minéraux au niveau du tube digestif inférieur et améliorer les fonctions immunitaires et endocriniennes chez les porcs en croissance (Robertfoid, 1997; Broekaert et al., 2011; Zhenping et al., 2013). Toutefois, il n'y a pas d'information sur l'effet prébiotique de la xylanase chez le porc dans la littérature scientifique actuelle.

## 1.5 Impact des lipides alimentaires sur la qualité du gras corporel

Comme mentionné précédemment, les quantités et les types de lipides apportés par les ingrédients alternatifs peuvent affecter la qualité du gras de la carcasse de porc et donner un produit final ayant une moins bonne aptitude pour la transformation et la durée de vie en étalage.

### 1.5.1 Synthèse lipidique et profil en acides gras chez le porc

De manière générale, environ 20 % des acides gras totaux déposés par le porc sont d'origine alimentaire, alors que la balance est synthétisée *de novo* par l'animal (Dunshea et al., 1992; Mourot et al., 1999; Dunshea et D'Souza, 2003). Ce ratio est variable en fonction de plusieurs facteurs, notamment selon l'animal (génétique, âge, statut métabolique) et son alimentation (quantité et type de lipides ingérés). Les acides gras (AG) provenant de l'alimentation influencent donc le profil lipidique de la carcasse de porc. En effet, indépendamment de leur ordre sur le glycérol, les AG ingérés se retrouvent directement dans les adipocytes. Toutefois, compte tenu de la synthèse *de novo* des AG, le profil en AG corporels de l'animal n'est pas identique à celui de son alimentation (Salway, 1999). D'ailleurs, chaque espèce possède un profil distinct en AG endogènes et parallèlement, une variation est observable entre les individus d'une même espèce (Salway, 1999).

Chez le porc commercial élevé de manière conventionnelle, la synthèse d'acides gras *de novo* dans les adipocytes produit des AG à longue chaîne, dont principalement l'acide palmitique [C16:0] (25 %), stéarique [C18:0] (19 % des AG issus de la synthèse endogène), oléique [C18:1] (54 %) et en moindre quantité, l'acide palmitoléique [C16:1] (2 %) et myristique [C14:0] (1 %) (Enser et al., 1996; Lizardo et al., 2002; Dunshea et D'Souza, 2003). Par ailleurs, l'acide linoléique (C18:2,  $\omega$ 6) représente environ 15 % des AG totaux d'une carcasse. Comme les porcs ne possèdent que la  $\Delta^9$ -désaturase (Dunshea et D'Souza, 2003), cet AG ne peut être synthétisé par l'animal et provient donc entièrement de l'alimentation (Albar et al., 2006; Wood et al., 2008). L'acide linoléique est d'ailleurs l'acide gras le plus abondant dans les grains et les huiles végétales (Wood, 1984).

Par conséquent, chez le porc, les AG les plus nombreux en proportion correspondent à ceux qui peuvent être synthétisés *de novo* par l'animal. Toutefois, la faible proportion des AG issus de

l'alimentation ne signifie pas nécessairement qu'ils n'ont pas d'impact sur la composition corporelle de l'animal et donc sur la qualité du produit final (Dunshea et al., 1992; Mourot et al., 1999; Dunshea et D'Souza, 2003).

### 1.5.2 Facteurs et mesures de la qualité de la carcasse

Le profil en AG des adipocytes porcins affecte les propriétés technologiques de la viande de plusieurs façons. Tout d'abord, étant donné qu'ils possèdent des points de fusion différents, les AG ont un impact, entre autres, sur la fermeté du tissu adipeux (Wood et al., 2008). En terme général, plus la chaîne carbonée d'un AG est longue et saturée, plus ce dernier a une température de fusion élevée et donc, un gras ferme et blanc, qui sont des propriétés recherchées par les transformateurs et les consommateurs (Wood et al., 2003). À l'opposé, un acide gras à chaîne courte ou insaturée possède un point de fusion plus faible et donc, un gras plutôt mou et jaunâtre. Un gras qui est mou complique la transformation de la viande de porc notamment pour la coupe du bacon, puisque le degré de cohésion entre le gras et le maigre diminue, en plus d'avoir une apparence mouillée, ce qui en fait un produit non attrayant aux yeux du consommateur (Wood et al., 2008). Finalement, les gras insaturés, principalement ceux polyinsaturés comme l'acide linoléique (C18:3), sont plus sensibles au processus d'oxydation des lipides (rancité du gras et détérioration de la couleur) et réduisent les qualités nutritionnelles des gras, ce qui limite la durée de vie du porc frais dans les étalages (Berg, 2000; Dunshea et D'Souza, 2003). En d'autres termes, plus il y a d'acides gras insaturés et à courtes chaînes, plus le gras de la carcasse aura tendance à être mou et jaunâtre à la température d'entreposage et plus il sera sensible à l'oxydation. À l'inverse, plus les AG sont longs et saturés, meilleur est l'aspect de la pièce de viande, son aptitude à la transformation et sa conservation.

Comme la qualité du gras d'une carcasse passe principalement par le niveau d'insaturation des AG, il est important de suivre ce critère. Pour ce faire, l'industrie utilise des méthodes directes de qualité du flanc, comme le *belly flex test*, le *belly flop test* (avec la barre ronde ou en forme de V), le teste par compression et la lecture au duromètre, ou encore des méthodes indirectes, qui sont en fait des analyses de laboratoires comme le profil en AG ainsi que l'indice d'iode (Saladoye et al., 2015). Bien qu'elles soient plus longues et coûteuses, ce sont les méthodes indirectes qui ont été utilisées lors de l'expérimentation présentée au **Chapitre 2**, principalement à cause de leur précision et pour des raisons techniques.

En alimentation animale, l'indice d'iode (*I.I.*), qui est une mesure de l'insaturation des lipides qui est souvent utilisée. Cette méthode ne nécessite pas de faire un profil en AG. Elle est plutôt basée sur le principe selon lequel l'iode peut se fixer quantitativement sur les doubles liaisons des AG insaturés. Ainsi, la méthode est rapide et peu complexe, mais demande tout de même des analyses de laboratoire. Pour des raisons pratiques et pour permettre les comparaisons, une équation a été développée dans le but de passer du profil en AG à une valeur d'I.I. (AOCS, 1998):

$$\text{Indice d'iode pour les triglycérides} = (w_{16:1} * 0,950) + (w_{18:1} * 0,860) + (w_{18:2} * 1,732) + (w_{18:3} * 2,616) + (w_{20:0} * 0,785) + (w_{22:1} * 0,723)$$

[ 3 ]

où par exemple  $w_{16:1}$  est le pourcentage de la fraction de C16:1 des acides gras totaux.

Comme il est possible de le constater avec l'équation précédente, les deux principaux AG polyinsaturés (donc de l'alimentation) qui sont susceptibles d'affecter l'I.I. de la carcasse de porc sont l'acide linoléique (C18:2) et l'acide linoléique (C18:3) (Benz et al., 2011; Paulk et al., 2015). L'I.I. est souvent utilisé comme standard de qualité pour évaluer la fermeté et le potentiel de rancidité du gras de porc par l'industrie (Wu et al., 2016). Selon le transformateur et le site de prélèvement de l'échantillon de lipides, un niveau maximal de cet indice est établi aux alentours de 70 à 75 (Seneviratne et al., 2010; Benz et al., 2011).

### 1.5.3 Sites de dépôts du gras et rôles

Chez le porc, les trois sites de dépôts du gras en importance, qui sont le dos, le ventre et les tissus adipeux sous-cutanés du cou ou des bajoues, subissent des changements différents de profil en AG lors d'une modification de l'alimentation (Lizardo et al., 2002; Benz et al., 2011; Paulk et al., 2015). En effet, certains tissus adipeux ont préférentiellement un rôle de stockage des lipides alimentaires, comme les bajoues, alors que d'autres ont plutôt une capacité de synthèse endogène plus importante, comme c'est le cas pour les tissus sous-cutanés du dos. Durant la période de finition, le faible taux de synthèse *de novo* dans les bajoues est attribuable à l'activité réduite des enzymes lipogéniques comparativement aux adipocytes du dos et du ventre (Mourot et al., 1995; Mourot et al., 1999; Xu et al., 2010; Wu et al., 2016).

Ainsi, on observe une capacité de synthèse lipidique qui diffère selon l'origine des adipocytes. Par conséquent, lorsqu'une ration riche en AG polyinsaturés est servie aux animaux durant la période

de finition, l'impact sur le tissu adipeux du porc peut se faire ressentir à certains sites anatomiques plus que d'autres, comme c'est le cas pour les bajoues. Dans certains cas, l'I.I. des bajoues, comparativement à celui du gras dorsal, peut surestimer l'indice de l'ensemble de la carcasse de plus de cinq points (Kellner et al., 2014; Wu et al., 2016). En considérant cette surestimation lors de l'analyse de résultats, l'I.I. des bajoues demeure un bon indicateur pour la qualité du gras de la carcasse en général, même si celui du gras dorsal est à privilégier (Benz et al., 2011; Kellner et al., 2014; Wu et al., 2016).

#### **1.5.4 Limites d'incorporation**

Compte tenu de l'influence de la composition des AG alimentaires et celle des AG déposés dans les adipocytes porcins, il devient important de contrôler les quantités et le profil des AG des aliments servis aux animaux afin d'obtenir un produit de qualité qui répond aux besoins des transformateurs et aux désirs des consommateurs. Parmi les ingrédients avec lesquels il faut demeurer vigilant, on compte notamment le maïs, qui est un grain riche en C18:2, ainsi que les DDGS et le tourteau de soya dont les lipides peuvent être constitués à plus de 50 % d'acide linoléique (Albar et al., 2006; Benz et al., 2011). De plus, les huiles végétales extraites de la graine de lin, du canola et du soya sont riches en C18:3 (NRC, 2012). Une grande proportion des coproduits issus de l'alimentation humaine sont aussi à surveiller, principalement à cause de leur grande variabilité de composition lipidique. Enfin, une attention particulière doit être portée aux huiles de poisson riches en AG insaturés, bien qu'elles soient moins utilisées maintenant (Pettigrew et Esnaola, 2001).

À cause de leur impact sur la qualité du gras, l'industrie applique parfois des limites d'incorporation sur ces ingrédients destinés à l'alimentation des porcs. Toutefois, il existe une variation de composition entre différents lots d'un même ingrédient, comme mentionné à la section *1.1 Ingrédients alternatifs au maïs et au tourteau de soya dans l'Est du Canada*. De plus, les facteurs affectant le dépôt lipidique des porcs sont nombreux. En effet, l'âge, la génétique, le sexe (Dunshea et D'Souza, 2003; Wood et al., 2008) ainsi que les carences et restrictions alimentaires (Pettigrew et Esnaola, 2001; Albar et al., 2006; Mourot et Lebre, 2009; Paulk et al., 2015) et, évidemment, la valeur nutritionnelle de l'aliment en sont tous de bons exemples. Ainsi, à cause de la grande variabilité de composition des aliments ainsi que les nombreux facteurs influençant le dépôt lipidique, il serait plutôt adéquat de miser sur le profil (principalement le C18:2 [12-15 % des AG totaux maximum] et C18:3 [1-2 % des AG totaux maximum]) et l'apport lipidique quotidien d'une

ration complète (qui prend aussi en considération d'autres paramètres, telles l'énergie et la protéine), plutôt que sur des limites quantitatives fixes sur des ingrédients précis (Albar et al., 2006; Kellner et al., 2014). À titre indicatif, il est recommandé de ne pas dépasser un niveau maximal de 12 à 15 % des AG totaux de la carcasse pour le C18:2 (Wood, 1984; Girard et al., 1988; Courboulay et al., 1999; Albar et al., 2006) et de 1 à 2 % des AG totaux de la carcasse pour C18:3 (Campo et al., 2003; Wood et al., 2003; Albar et al., 2006) afin de conserver une certaine qualité de la carcasse.

### **1.5.5 Effet des carbohydrases exogènes sur la qualité de la carcasse**

L'introduction d'ingrédients alternatifs dans l'alimentation des porcs peut avoir un effet sur la qualité de la carcasse des porcs, principalement à cause de leur teneur élevée en AG mono- et polyinsaturés. L'ajout de carbohydrases exogènes possède un certain potentiel pour augmenter la digestibilité et l'absorption des lipides (Section 1.4.4.6 *Digestibilité des lipides*), ce qui pourrait moduler le profil en AG corporels. De plus, comme ces enzymes peuvent également affecter les niveaux alimentaires d'énergie et de nutriments disponibles, il est possible d'émettre l'hypothèse que ces enzymes peuvent aussi avoir un effet sur la synthèse *de novo* ainsi que l'absorption de nutriments et donc, au final, la composition et la qualité de la carcasse de porc, comme précédemment observé chez le poulet de chair supplémenté en phytase et en carbohydrases (Francesch et Geraert, 2009).

La littérature ne montre toutefois aucun effet de la xylanase sur les caractéristiques des carcasses de porc tels le pH, l'épaisseur de la longe et du gras dorsal, la capacité de rétention d'eau, la couleur, le persillage, le profil en AG ainsi que l'indice de maigre de la carcasse (Feoli et al., 2006; Hanczakowska et al., 2012; Cho et al., 2016). Cela dit, les variations observées dans la composition des carcasses de porcs ayant consommé des diètes alternatives seraient donc directement reliées à la composition des aliments et non à l'ajout de carbohydrases exogènes.