

Substituer des céréales par de la pulpe de betterave sucrière, un levier pour améliorer le comportement et la santé digestive en élevage porcin

Pauline GRIMM et Samy JULLIAND

Lab To Field, 26 boulevard Docteur Petitjean, 21000 Dijon, France

pauline.grimm@lab-to-field.com

Substituer des céréales par de la pulpe de betterave sucrière, un levier pour améliorer le comportement et la santé digestive en élevage porcin

Ces dernières années, de nombreuses études ont démontré l'intérêt d'ajouter des fibres en substitution d'une fraction des céréales dans les rations pour promouvoir la santé et le bien-être des porcins. Cependant, le terme « fibres » est large et, selon la matière première choisie, les teneurs en cellulose, hémicelluloses, pectines ou lignine, ainsi que les propriétés physicochimiques associées peuvent fortement différer. Ceci explique les résultats parfois contradictoires relevés dans la littérature. La pulpe de betterave sucrière (PBS) possède une teneur en fibres solubles et une capacité de rétention d'eau particulièrement élevées. Cette revue synthétise les résultats existants dans la littérature concernant l'effet de la substitution des céréales par de la PBS sur la santé digestive et le comportement des porcs à différents stades d'élevage. Les mécanismes à l'origine des modifications sont détaillés dans la revue. Une diminution des stéréotypies et des comportements agressifs est reportée, notamment chez la truie en gestation nourrie avec de la PBS. Une modification de l'écosystème microbien du gros intestin est également observée. La production plus élevée d'acides gras volatils permet un apport énergétique plus régulier pour l'animal. En parallèle, l'augmentation de la diversité bactérienne et la modification de la structure bactérienne de l'écosystème intestinal pourraient permettre une meilleure résistance de l'animal face à différents stress. Il ressort de cette synthèse que l'ajout de PBS dans les rations pourrait être un levier intéressant pour améliorer la santé et le bien-être en élevage porcin.

Sugar beet pulp as a substitute for cereals: a tool for improving behaviour and digestive health in the swine industry

Over the last few years, many studies demonstrated that replacing some dietary cereals with dietary fibre was of interest to promote the health and wellbeing of farmed pigs. "Fibre" is a broad and general term, and plant cell-wall components (cellulose, hemicelluloses, pectins, and lignin) and their related physicochemical properties can vary among feedstuffs. This could explain the inconsistent effects of fibre-associated diets reported in the literature. Sugar beet pulp (SBP) contains a large amount of soluble dietary fibre and has a high water-retention capacity. This literature review summarizes results of replacing cereals with SBP on digestive health and behaviour of pigs at different stages of life. The mechanisms behind modifications are detailed throughout the review. A decrease in stereotypic and aggressive behaviours has been reported, particularly by pregnant sows fed SBP. Modifications of the hindgut microbial ecosystem have also been observed. Pigs can obtain a more regular energy supply due to producing more volatile fatty acids throughout the day. Moreover, the increase in bacterial diversity and the alteration of bacterial structure of the ecosystem could increase resistance to a variety of stressors. This review highlights that feeding SBP could be an interesting strategy to improve health and wellbeing in the swine industry.

INTRODUCTION

Un intérêt croissant pour l'inclusion de sources de fibres en substitution partielle des céréales dans les aliments porcins est observé depuis quelques années. En effet, de nombreuses études ont démontré que l'ajout de fibres pouvait être une solution pour promouvoir la santé et le bien-être des porcins. Fonctionnellement, le terme de « fibres » définit les polysaccharides non digérés avant le gros intestin par des enzymes endogènes. Ceci comprend principalement les constituants des parois végétales (cellulose, hémicelluloses, pectines et lignine), dont les teneurs peuvent fortement varier en fonction de la matière première choisie, ce qui peut avoir des répercussions sur les propriétés physicochimiques associées. Ces différences expliquent les résultats parfois contradictoires relevés dans la littérature concernant l'effet des fibres sur la santé digestive ou les performances zootechniques en élevage porc (Agyekum et Nyachoti, 2017).

Outre sa teneur élevée en fibres insolubles, la pulpe de betterave sucrière (PBS) est une matière première qui se caractérise par des quantités particulièrement importantes de fibres solubles, et notamment de pectines. Les fibres solubles sont facilement fermentées dans le gros intestin, procurant à l'animal un apport énergétique conséquent sous forme d'acides gras volatiles (AGV). De plus, la forte teneur en fibres solubles confère à la PBS une capacité de gonflement ainsi qu'une capacité de rétention d'eau (CRE) particulièrement élevées (Slama *et al.*, 2019). Ainsi, l'incorporation de PBS dans l'aliment des porcs peut avoir des effets majeurs sur la structure des digestats, le transit et la digestion, avec des répercussions sur la santé, le comportement et la performance zootechnique des animaux.

Cette revue synthétise les résultats existants dans la littérature scientifique internationale concernant l'effet de la substitution d'une fraction des céréales par de la PBS sur le comportement et la santé digestive des porcs à différents stades d'élevage. Des mécanismes ou hypothèses pouvant expliquer l'origine des modifications physiologiques sont détaillés.

1. EFFET SUR LE COMPORTEMENT

1.1. Des modifications du comportement alimentaire

Une modification du comportement alimentaire a été observée dans plusieurs études chez des truies ou porcs en croissance nourris avec un régime qui incluait de la PBS (23 à 70%) en substitution des céréales. En comparaison des rations de référence, la vitesse d'ingestion des animaux était plus faible lorsque les rations étaient composées en partie de PBS (Brouns *et al.*, 1997 ; Ramonet *et al.*, 2000a ; Whittmore *et al.*, 2002 ; Laitat *et al.*, 2015). En conséquence, les animaux recevant les rations incluant de la PBS passaient 1,5 à 3 fois plus de temps à manger (Whittaker *et al.*, 1998 ; Whittaker *et al.*, 1999 ; Ramonet *et al.*, 2000a ; Danielsen et Vestergaard, 2001 ; Whittmore *et al.*, 2002 ; Laitat *et al.*, 2015). Spécifiquement pendant les périodes d'alimentation, le temps passé à mastiquer était plus important chez les truies recevant une ration à base de PBS par rapport aux truies ayant un régime de référence (Ramonet *et al.*, 2000a). Egalement, avec un régime à base de PBS, les truies faisaient régulièrement des pauses pendant le repas, alors qu'elles consommaient le régime de référence rapidement et sans interruption (Brouns *et al.*, 1997).

Plusieurs hypothèses ont été soulevées dans la littérature pour expliquer les modifications du comportement alimentaire liées à l'ingestion d'une ration contenant de la PBS. Premièrement, la vitesse d'ingestion réduite pourrait être le reflet d'une moindre

appétence de la PBS en comparaison des céréales. A notre connaissance aucune étude n'a testé spécifiquement la préférence des porcins pour de la PBS ou des céréales. Cependant aucune différence de motivation alimentaire (mesurée par une procédure de conditionnement opérant) n'a été mise en évidence sur des truies recevant des régimes de référence ou des régimes incluant de la PBS (Ramonet *et al.*, 2000b ; Jensen *et al.*, 2012 ; Jensen *et al.*, 2015). Ainsi, des études supplémentaires sont nécessaires pour vérifier le lien entre vitesse d'ingestion de la PBS et appétence.

La vitesse d'ingestion réduite des animaux pourrait également être attribuée aux propriétés physicochimiques de la PBS, qui peuvent impacter la satiété des animaux. En effet, il est probable que le fort gonflement de la PBS une fois ingérée accélère le remplissage de l'estomac, contribuant à générer les premiers signaux de satiété. Une concentration plasmatique de ghréline plus faible a effectivement été mesurée chez des animaux recevant un régime PBS en comparaison de ceux recevant un régime de référence, quelle que soit l'heure de la journée (Jensen *et al.*, 2015). Cette hormone, considérée comme « l'hormone de la faim », est sécrétée dans le tractus gastro-intestinal lorsque l'estomac est vide et agit au niveau du système nerveux central. Par ailleurs, un temps de demi-vidange de l'estomac plus long a été observé avec un régime à base de PBS (Guerin *et al.*, 2001). Cette vidange retardée pourrait être liée à la viscosité supérieure des digestats gastriques des porcs recevant de la PBS dans leur ration, en raison des propriétés gélifiantes des pectines. Une production salivaire et des sécrétions gastriques accrues pourraient également contribuer à expliquer cette différence.

Enfin, les fibres solubles contenues en grande quantité dans la PBS sont hautement fermentescibles par le microbiote du gros intestin. Des quantités importante d'AGV sont donc produites (*cf.* partie 2.3) et absorbées. Quelle que soit l'heure de la journée, des concentrations sanguines plus élevées d'AGV ont été mesurées chez des truies ingérant une ration contenant 12 à 33% de PBS (Yde *et al.*, 2011 ; Jensen *et al.*, 2012 ; Jensen *et al.*, 2015 ; Krogh *et al.*, 2015 ; Tan *et al.*, 2018). Simultanément, les animaux recevant des rations à base de PBS montraient un pic glycémique postprandial plus faible et retardé (Ramonet *et al.*, 2000a ; Yde *et al.*, 2011 ; Jensen *et al.*, 2012), ainsi que de moins amples variations diurnes de la glycémie. Des résultats similaires ont également été observés pour l'insulinémie (Ramonet *et al.*, 2000a ; Jensen *et al.*, 2012), et peuvent être expliqués par la vidange gastrique plus longue observée avec les régimes incluant de la PBS, ainsi que par la plus faible teneur en amidon de ces régimes. Ainsi, distribuer une ration à base de PBS en substitution partielle des céréales permet un apport énergétique plus régulier tout au long de la journée, ce qui pourrait contribuer à limiter la sensation de faim des animaux. Enfin, l'inclusion de PBS dans les rations des porcins pourrait jouer sur les freins intestinaux qui contribuent à réguler la satiété des animaux. Notamment, les produits de fermentation des fibres pourraient impacter le frein colonique (Ratanpaul *et al.*, 2019).

1.2. Une diminution des stéréotypies et agressions

Parallèlement aux modifications du comportement alimentaire, d'autres comportements semblent moins exprimés chez les porcins nourris avec des régimes contenant de la PBS. Les études existantes ont principalement été réalisées sur des truies gestantes logées en groupe, avec des taux d'inclusion de PBS élevés (25 à 70% de la matière sèche ingérée (MSI)). Les truies nourries avec des régimes incluant de la PBS présentaient une diminution des comportements agressifs, par rapport aux truies nourries avec des régimes de référence. Selon les études, le nombre d'agressions, la fréquence des morsures, la fréquence

des combats ou les lésions cutanées étaient généralement réduits par l'ajout de PBS dans l'alimentation (Whittaker *et al.*, 1999 ; Danielsen et Vestergaard, 2001 ; Sapkota *et al.*, 2016). Les activités orales non alimentaires (mastication à vide, agitation de la tête, enroulement de la langue, mordillements de l'abreuvoir, léchage et mastication des barres, etc.) considérées comme stéréotypiques, ou l'abreuvement excessif des animaux lié à l'ennui, étaient également réduits lorsque les truies recevaient un régime contenant de la PBS (Whittaker *et al.*, 1998 ; Whittaker *et al.*, 1999 ; Ramonet *et al.*, 2000a ; Danielsen et Vestergaard, 2001 ; Jensen *et al.*, 2015). Ces modifications de comportement seraient probablement liées à la meilleure persistance de la satiété des animaux consommant de la PBS. De plus, les truies recevant des rations à base de PBS passaient généralement moins de temps debout (Whittaker *et al.*, 1999 ; Ramonet *et al.*, 2000b ; McGlone et Fullwood, 2001). Ainsi, l'ajout de PBS dans l'alimentation des truies pourrait contribuer à diminuer leur stress et à améliorer leur bien-être. Cette hypothèse peut être corroborée par les concentrations plus faibles de cortisol et de noradrénaline mesurées dans une étude chez des truies nourries avec des rations contenant 10 ou 20% de PBS (Zhao *et al.*, 2015), même si cela n'a pas toujours été observé (McGlone et Fullwood, 2001 ; Rooney *et al.*, 2019).

Peu de travaux ont été réalisés pour évaluer l'effet d'un régime incluant de la PBS en substitution des céréales sur le comportement des animaux en post-sevrage ou engraissement. De manière surprenante, un taux d'activité (ratio des animaux debout ou assis / nombre total) plus élevé était observé chez des porcs en croissance nourris avec un régime contenant 23% de PBS par rapport à un régime de référence (Laitat *et al.*, 2015). D'après les auteurs, le temps dédié à l'alimentation supérieur chez les porcs nourris avec le régime PBS pourrait expliquer ce résultat, puisque l'activité « debout » était fortement consacrée au comportement alimentaire.

2. EFFET SUR LA SANTE DIGESTIVE

2.1. Pas de consensus sur l'aspect des fèces

Beaucoup d'études ont évalué l'effet de l'introduction de PBS en substitution d'une partie des céréales à travers la consistance des fèces ou l'incidence de diarrhées. Sur les porcelets en post-sevrage, chez qui la prévalence des diarrhées est forte, les résultats ne sont pas homogènes : alors que certaines études n'ont pas relevé d'effet sur les scores fécaux ou l'incidence des diarrhées (Callesen *et al.*, 2007 ; Jeurond *et al.*, 2008 ; Berrocoso *et al.*, 2015 ; Yan *et al.*, 2017), d'autres ont mis en avant une possible augmentation de l'incidence des diarrhées (Berrocoso *et al.*, 2015) ou au contraire une amélioration des scores fécaux (Callesen *et al.*, 2007) chez les porcelets recevant un régime avec 2,5 à 12% de PBS en comparaison de ceux recevant un régime de référence. De plus, l'ajout de PBS dans les rations des porcelets soumis à un challenge ETEC (*Escherichia coli* entérotoxigène) pendant le post-sevrage n'a pas permis de diminuer l'apparition des diarrhées (Li *et al.*, 2019). L'âge du sevrage, et donc la maturité du système digestif des porcelets, pourrait jouer sur l'efficacité de l'introduction de PBS dans les rations des porcelets pour réduire la diarrhée post-sevrage (Callesen *et al.*, 2007). Alors qu'aucun effet bénéfique de l'introduction de PBS n'était relevé sur les scores fécaux de porcelets sevrés à 27 jours, des porcelets sevrés plus tardivement (33 jours) présentaient un score fécal plus élevé lorsqu'ils étaient nourris avec le régime PBS en comparaison aux porcelets nourris avec le régime de référence.

Chez la truie, des fèces plus molles et humides avec un régime incluant 12 à 40% de PBS ont été observées en comparaison avec un régime de référence (Krogh *et al.*, 2015 ; Rooney *et al.*, 2019).

Ces modifications de consistance étaient certainement liées à la forte CRE de la PBS, et seraient bénéfiques puisqu'elles permettraient de limiter le risque de constipation autour de la mise bas.

2.2. Un microbiote modifié favorablement

2.2.1. Dans les compartiments ante-caecaux

Dans l'estomac de la truie ingérant un régime contenant 22% de PBS (Wang *et al.*, 2003) ou du porcelet nourri avec un régime à 8% de PBS entre 8 et 14 semaines d'âge (Castillo *et al.*, 2007a), quelques modifications de la composition bactérienne ont été relevées en comparaison avec des animaux qui recevaient un régime de référence. Dans la première heure suivant le repas, les concentrations de bactéries coliformes, de bactéries lactiques et d'entérocoques étaient inférieures dans le contenu gastrique des animaux ingérant le régime à base de PBS, possiblement en raison d'une plus forte acidité (Wang *et al.*, 2003). Dans le jéjunum (Castillo *et al.*, 2007a) ou l'iléon (Wang *et al.*, 2004) de jeunes porcs, aucune différence de composition bactérienne n'a été mesurée lorsque 8 à 12% de PBS était inclus dans le régime. Cependant, dans le cadre d'un challenge ETEC réalisé après le sevrage, une diminution de l'attachement d'*E. coli* sur l'épithélium de l'iléon (mais pas du jéjunum) de porcelets nourris avec un régime à 10% de PBS a été observée, par rapport à ceux nourris avec le régime de référence (Li *et al.*, 2019). Deux hypothèses principales pourraient expliquer ce résultat : un effet indirect du régime PBS provoquant une augmentation des bactéries bénéfiques au détriment des bactéries pathogènes, ou un effet direct de la PBS qui se lie aux bactéries ETEC et diminue leur attachement.

2.2.2. Dans le gros intestin

Des effets marqués de la substitution des céréales par de la PBS ont été observés sur le microbiote du gros intestin porcin. L'inclusion de 8 à 10% de PBS dans la ration de porcelets a été associée à une augmentation de la richesse et diversité bactérienne (Konstantinov *et al.*, 2003 ; Castillo *et al.*, 2007a), ainsi qu'à une plus grande stabilité de la diversité bactérienne dans le temps (Roca-Canudas *et al.*, 2007). Ceci peut constituer une propriété intéressante car une plus grande diversité de l'écosystème bactérien est en effet souvent associée à une meilleure stabilité de cet écosystème, et permet une plus grande résilience en cas de perturbation.

Une concentration en bactéries anaérobies totales supérieure a été mesurée dans les fèces de jeunes porcs en croissance (30 à 80 kg) qui ingéraient un régime contenant 12% de PBS, en comparaison à un régime de référence (Wang *et al.*, 2004). Une deuxième étude travaillant sur des porcelets de 8 semaines (rations de référence ou incluant 8% de PBS) n'a cependant pas mis en évidence de différence sur la concentration en bactéries totales dans le caecum ou le côlon (Castillo *et al.*, 2007a). La moitié des six études ayant évalué la concentration en lactobacilles ont observé des concentrations plus élevées chez les animaux recevant un régime incluant de 5 à 20% PBS par rapport aux animaux recevant le régime de référence (Wang *et al.*, 2004 ; Castillo *et al.*, 2007b ; Lynch *et al.*, 2008 ; Molist *et al.*, 2009 ; Berrocoso *et al.*, 2015 ; Yan *et al.*, 2017). Une augmentation linéaire de la concentration en lactobacilles a été rapportée en réponse à l'augmentation progressive de la proportion de PBS (3 à 12%) dans l'alimentation des porcelets (Yan *et al.*, 2017). Par ailleurs, un nombre plus élevé de bifidobactéries a été rapporté chez des porcs recevant des rations contenant 23% de PBS (Laitat *et al.*, 2015). Les concentrations supérieures en lactobacilles et bifidobactéries suggèrent que l'ajout de PBS dans les rations des porcins pourrait être favorable à la santé intestinale. En effet, les

espèces bactériennes appartenant à ces deux genres possèdent souvent des propriétés bénéfiques telles que le renforcement de l'immunité ou le contrôle des bactéries pathogènes. Pourtant, au cours des 7 jours suivant un challenge ETEC post-sevrage, les scores d'excrétion d'*E. coli* des porcelets nourris avec des rations contenant 10% de PBS ne différaient pas de ceux mesurés sur les animaux ayant un régime de référence (Li *et al.*, 2019). De même, aucun effet clair de l'ajout de PBS dans les rations n'a été mis en évidence dans les études ayant analysé les concentrations en *E. coli*, coliformes ou entérobactéries, qui sont des groupes bactériens pouvant potentiellement contenir des espèces pathogènes (Wang *et al.*, 2004 ; Castillo *et al.*, 2007b ; Jeurond *et al.*, 2008 ; Lynch *et al.*, 2008 ; Molist *et al.*, 2009 ; Berrocoso *et al.*, 2015 ; Laitat *et al.*, 2015 ; Yan *et al.*, 2017). La réduction du nombre d'entérobactéries fécales démontrée dans une seule étude pourrait être attribuée à la plus grande proportion de PBS (23%) incorporée dans les rations (Laitat *et al.*, 2015).

Alors que l'ajout de PBS dans les rations permet un apport plus important de fibres, très peu d'études se sont intéressées aux répercussions sur les bactéries fibrolytiques du gros intestin porcin. Konstantinov *et al.* (2003) ont mis en évidence la présence d'espèces de type *Ruminococcus* chez les porcelets nourris un régime contenant 10% de PBS, mais pas chez les animaux recevant le régime de référence. Cependant, Castillo *et al.* (2007a), qui ont quantifié les espèces de type *Ruminococcus flavefaciens*, n'ont montré aucune différence sur les concentrations de ces bactéries cellulolytiques chez des porcelets nourris avec un régime de référence ou un régime comprenant 8% de PBS.

Enfin, des données récentes suggèrent que l'inclusion de PBS dans les rations des truies en gestation pourrait jouer sur le microbiote des porcelets de manière bénéfique. En effet, Rooney *et al.*, 2019 ont évalué l'effet de l'inclusion de PBS dans la ration de truies en gestation sur les performances de la portée (nourrie avec un régime de référence à base de céréales), de la naissance à l'abattage. A l'abattage (147 jours) les porcs issus des truies nourries avec le régime PBS avaient un poids vif, un poids de carcasse et une épaisseur de muscle plus importants que les animaux issus des portées dont la mère était nourrie avec un régime de référence. D'après les auteurs, la modulation du microbiote des truies par l'inclusion de PBS et le transfert de ce microbiote avantageux aux porcelets pourraient expliquer ces meilleures performances.

2.3. Une activité microbienne intense

2.3.1. Dans les compartiments ante-caecaux

Dans l'estomac des porcs nourris avec un régime contenant de la PBS, des concentrations en AGV totaux supérieures, et notamment en acétate, ont été mesurées par rapport aux porcs nourris avec un régime de référence (Wang *et al.*, 2003 ; Pieper *et al.*, 2014). Il est probable que le temps de rétention des digestats plus long observé avec le régime PBS favorise les fermentations gastriques bactériennes. Alors que des concentrations de propionate et de butyrate supérieures ont également été mesurées chez des porcelets consommant 12% de PBS dans leur ration (Pieper *et al.*, 2014), aucun effet du régime n'a été mis en évidence sur ces concentrations chez des truies gestantes canulées consommant un régime à 22% de PBS (Wang *et al.*, 2003). Les concentrations en lactate étaient plus élevées dans l'estomac des porcs nourris avec le régime à base de PBS (Pieper *et al.*, 2014). Dans ces deux études, aucune différence notable n'a été observée sur le pH gastrique, excepté à 1 h après le repas où le pH était plus faible avec le régime PBS en comparaison du régime de référence (Wang *et al.*, 2003).

Dans l'iléon, les profils de fermentation (AGV, lactate et pH) étaient similaires chez des porcs nourris avec un régime de référence ou un régime contenant de la PBS (Pieper *et al.*, 2014 ; Wang *et al.*, 2004).

2.3.2. Dans le gros intestin

Une étude a comparé les activités caecales des principales enzymes dégradant les glucides (amylase, amylopectinase, xylanase, cellulase) avant puis 7, 21 et 42 jours après l'introduction d'un régime de référence ou d'un régime incluant 8 % de PBS chez des porcelets sevrés (Castillo *et al.*, 2007b). Quel que soit le jour de mesure, aucun effet du régime n'a été observé. Pourtant, dans de nombreuses études des concentrations en AGV totaux, et principalement en acétate, supérieures (significativement ou numériquement) sont observées dans le gros intestin ou les fèces des animaux recevant une ration avec 5 à 20% de PBS en substitution d'une fraction des céréales (Shriver *et al.*, 2003 ; Wang *et al.*, 2004 ; Anguita *et al.*, 2007 ; Castillo *et al.*, 2007a ; Hansen *et al.*, 2007 ; Roca-Canudas *et al.*, 2007 ; Jeurond *et al.*, 2008 ; Molist *et al.*, 2009 ; Weber et Kerr, 2012 ; Pieper *et al.*, 2014). Une augmentation de la production d'AGV, certainement en réponse à la plus grande quantité de fibres solubles et/ou insolubles apportée par le régime, serait bénéfique pour la santé intestinale des animaux, les AGV constituant une source d'énergie majeure pour le microbiote et les colonocytes. L'évolution des concentrations en propionate et butyrate en fonction du régime variait cependant selon les études, de même que pour les concentrations en lactate (Anguita *et al.*, 2007 ; Molist *et al.*, 2009 ; Pieper *et al.*, 2014).

L'inclusion de PBS dans les rations des porcins a également été testée comme stratégie pour apporter des substrats glucidiques facilement fermentescibles dans le gros intestin, afin de réduire les fermentations protéiques et certains dérivés potentiellement toxiques (par exemple l'ammoniac, les amines biogènes, le sulfure d'hydrogène, les indoles ou les composés phénoliques). En effet, certains de ces produits peuvent endommager les muqueuses intestinales et générer des réactions inflammatoires (Pieper *et al.*, 2014). Des concentrations plus faibles d'acides gras à chaîne ramifiée, provenant principalement de la fermentation des protéines, ainsi que des concentrations réduites de métabolites dérivés de protéines ont effectivement été mesurées dans le caecum et le côlon de porcs nourris avec un régime incluant 12 % de PBS en substitution des céréales (Pieper *et al.*, 2014). L'augmentation des fermentations observée dans le gros intestin des animaux nourris avec des régimes à base de PBS se reflétait souvent sur le pH, qui prenait des valeurs plus basses dans certaines études (Hansen *et al.*, 2007 ; Lynch *et al.*, 2008 ; Pieper *et al.*, 2014 ; Laitat *et al.*, 2015) mais pas dans toutes (Shriver *et al.*, 2003 ; Wang *et al.*, 2004 ; Anguita *et al.*, 2007 ; Castillo *et al.*, 2007a ; Jeurond *et al.*, 2008 ; Pieper *et al.*, 2014), que les animaux soient en post-sevrage ou croissance.

2.4. Une muqueuse digestive renforcée

2.4.1. Muqueuse gastrique

Une seule étude s'est intéressée à l'impact de l'inclusion de PBS dans la ration sur l'intégrité de la muqueuse gastrique des porcs en croissance, et plus précisément sur l'incidence des ulcères gastriques (Laitat *et al.*, 2015). Une réduction du score des lésions de la muqueuse non-glandulaire (*pars œsophagea*) a été observée avec le régime contenant 23% de PBS, en comparaison du régime de référence. D'après les auteurs, le moindre développement d'ulcères avec le régime PBS pourrait être expliqué par la présence de fibres grossières, qui participeraient à limiter le reflux et le contact entre les acides et la *pars*

oesophagea, ainsi que l'ischémie impliquée dans l'étiologie des ulcères en stimulant le flux sanguin de la paroi.

2.4.2. Muqueuse intestinale

Au niveau de l'intestin grêle, des observations histomorphologiques ont été réalisées au niveau du jéjunum de porcs à l'engraissement nourris avec des rations contenant 23% de PBS (Laitat *et al.*, 2015) ou au niveau de l'iléon de porcelets recevant 2,5% ou 5% de PBS (Berrococo *et al.*, 2015). Par rapport aux animaux recevant une ration de référence, aucune différence n'a été mesurée sur l'anatomie des villosités et des cryptes intestinales, suggérant que le régime à base de PBS n'a pas contribué à modifier la capacité digestive de l'intestin grêle. Néanmoins, la paroi jéjunale tendait à être plus épaisse chez les animaux recevant le régime PBS en raison d'une plus grande épaisseur de *muscularis*, et les cellules caliciformes (produisant du mucus) couvraient une plus grande surface du jéjunum (Laitat *et al.*, 2015). Ces dernières observations pourraient refléter un environnement digestif offrant une meilleure protection contre les agents pathogènes.

Au niveau du côlon, aucune modification de la profondeur des cryptes ou de l'épaisseur de la paroi n'a été relevée chez des animaux recevant un régime incluant de la PBS (Anguita *et al.*, 2007 ; Laitat *et al.*, 2015). De plus, aucune différence n'a été observée visuellement lors de l'inspection macroscopique des lésions (Jeaurond *et al.*, 2008). Cependant, en comparaison avec un régime de référence, un nombre plus faible de nœuds lymphatiques a été mesuré chez des porcelets nourris avec 8% de PBS (Anguita *et al.*, 2007), et un nombre plus élevé de lymphocytes / mm² a été observé chez des porcs nourris avec 23% de PBS (Laitat *et al.*, 2015). L'inclusion de PBS dans les rations pourrait donc participer à la modulation de l'immunité mucoale des animaux.

Chez des porcelets soumis à un challenge ETEC en post-sevrage, Li *et al.* (2019) ont mesuré à la fois dans l'intestin grêle et le gros intestin l'abondance de différentes protéines des jonctions serrées et de marqueurs de l'activation du système immunitaire mucoale. Alors qu'aucune différence n'a été notée dans le côlon, des abondances d'ARNm plus faibles d'interleukine-10 et plus élevées de claudine-1 ont été mises en évidence dans l'iléon des porcs nourris avec le régime PBS par rapport au régime de référence. Ces résultats suggèrent que l'ajout de PBS dans le régime des porcelets en post-sevrage pourrait limiter la rupture des jonctions serrées, permettant ainsi de maintenir l'intégrité de la muqueuse intestinale, et aider à réguler la réponse inflammatoire lors d'une infection ETEC. Les mécanismes protecteurs n'ont cependant pas encore été élucidés.

CONCLUSION

En raison de sa composition biochimique particulière, la PBS présente des propriétés d'intérêt pour améliorer le

comportement et la santé en élevage porcin. Son fort gonflement une fois humidifiée et sa CRE élevée rendent les digestats plus visqueux et volumineux, provoquant une augmentation du remplissage et du temps de rétention gastrique, atténuant ainsi la sensation de faim des animaux. Leur vitesse d'ingestion est alors réduite, et le temps dédié à l'alimentation plus long. Il en résulte une diminution des comportements agressifs et des stéréotypies. Ces résultats ont principalement été démontrés chez les truies gestantes logées en groupe, avec des taux d'incorporation de PBS pouvant atteindre 70%. Il serait intéressant de vérifier l'impact positif de l'inclusion de PBS sur le comportement des porcs à d'autres stades d'élevage, en prenant bien en compte qu'avec la diminution de la vitesse d'ingestion, les animaux devront bénéficier d'un temps d'accès suffisamment long à la mangeoire pour éviter une diminution de l'ingestion conduisant à une baisse des performances zootechniques.

La teneur élevée en fibres solubles de la PBS favorise les fermentations microbiennes dans le gros intestin des porcs. De grandes quantités d'AGV sont produites et absorbées, ce qui fait de la PBS une source fibreuse intéressante pour substituer une partie des céréales tout en maintenant les performances zootechniques. Les grandes concentrations sanguines d'AGV, et les moindres variations diurnes de la glycémie observées avec un régime incluant de la PBS en substitution des céréales permettent aux animaux de bénéficier d'un apport énergétique plus constant, ce qui participe également à augmenter leur satiété.

L'incorporation de PBS en substitution partielle des céréales fournit des fibres solubles et insolubles comme substrats aux microorganismes du gros intestin porcin. La diversité bactérienne est supérieure et la composition bactérienne modifiée (augmentation des bactéries bénéfiques et diminution des pathogènes), contribuant à rendre l'environnement intestinal plus sain. L'impact de l'ajout de PBS sur le développement des capacités fibrolytiques chez le porc sera à évaluer au travers de nouvelles recherches. Bien que des études supplémentaires soient nécessaires pour le confirmer, il semblerait que l'ajout de PBS permette un meilleur maintien de l'intégrité de la muqueuse intestinale et une régulation de la réponse inflammatoire en cas de stress tels qu'une infection ETEC. L'inclusion de PBS pourrait ainsi améliorer la santé digestive à tous les stades d'élevage, peut-être même celle des porcelets issus de truies ayant consommé des rations à base de PBS pendant la gestation.

Enfin, la possibilité de réduire les ulcères gastriques par l'inclusion de PBS dans la ration est une voie prometteuse qui mérite des recherches supplémentaires. En effet, une diminution de la forte prévalence des ulcères en élevage serait bénéfique pour optimiser la prise alimentaire et les performances zootechniques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agyekum A.K., Nyachoti C.M., 2017. Nutritional and metabolic consequences of feeding high-fiber diets to swine: A Review. *Eng.*, 3, 716-725.
- Anguita M., Gasa J., Nofrarias M., Martín-Orúe S.M., Pérez J.F., 2007. Effect of coarse ground corn, sugar beet pulp and wheat bran on the voluntary intake and physicochemical characteristics of digesta of growing pigs. *Livest. Sci.*, 107, 182-191.
- Berrococo J.D., Menoyo D., Guzmán P., Saldaña B., Cámara, L., Mateos, G.G., 2015. Effects of fiber inclusion on growth performance and nutrient digestibility of piglets reared under optimal or poor hygienic conditions. *J. Anim. Sci.*, 93, 3919-3931.
- Brouns F., Edwards S.A., English P.R., 1997. The effect of dietary inclusion of sugar-beet pulp on the feeding behaviour of dry sows. *Anim. Sci.*, 65, 129-133.
- Callesen J., Halas D., Thorup F., Knudsen K. B., Kim J.C., Mullan B. P., Hampson D.J., Wilson R.H., Pluske, J.R., 2007. The effects of weaning age, diet composition, and categorisation of creep feed intake by piglets on diarrhoea and performance after weaning. *Livest. Sci.*, 108, 120-123.
- Castillo M., Skene G., Roca M., Anguita M., Badiola I., Duncan S.H., Flint H.J., Martín-Orúe S.M., 2007a. Application of 16S rRNA gene-targeted fluorescence in situ hybridization and restriction fragment length polymorphism to study porcine microbiota along the gastrointestinal tract in response to different sources of dietary fibre. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 59, 138-146.

- Castillo M., Martín-Orúe S.M., Anguita M., Pérez J.F., Gasa J., 2007b. Adaptation of gut microbiota to corn physical structure and different types of dietary fibre. *Livest. Sci.*, 109, 149-152.
- Danielsen V., Vestergaard E.M., 2001. Dietary fibre for pregnant sows: Effect on performance and behaviour. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 71-80.
- Guerin S., Ramonet Y., LeCloarec J., Meunier-Salaün M.C., Bourguet P., Malbert C.H., 2001. Changes in intragastric meal distribution are better predictors of gastric emptying rate in conscious pigs than are meal viscosity or dietary fibre concentration. *Br. J. Nutr.*, 85, 343-350.
- Hansen M.J., Chwalibog A., Tauson A.-H., 2007. Influence of different fibre sources in diets for growing pigs on chemical composition of faeces and slurry and ammonia emission from slurry. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 134, 326-336.
- Jeaurond E.A., Rademacher M., Pluske J.R., Zhu C.H., de Lange C.F.M., 2008. Impact of feeding fermentable proteins and carbohydrates on growth performance, gut health and gastrointestinal function of newly weaned pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 88, 271-281.
- Jensen M.B., Pedersen L.J., Theil P.K., Bach Knudsen K.E., 2015. Hunger in pregnant sows: Effects of a fibrous diet and free access to straw. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 171, 81-87.
- Jensen M.B., Pedersen L.J., Theil P.K., Yde C.C., Bach Knudsen K.E., 2012. Feeding motivation and plasma metabolites in pregnant sows fed diets rich in dietary fiber either once or twice daily. *J. Anim. Sci.*, 90, 1910-1919.
- Konstantinov S.R., Zhu W.Y., Williams B.A., Tamminga S., de Vos W.M., Akkermans A.D., 2003. Effect of fermentable carbohydrates on piglet faecal bacterial communities as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of 16S ribosomal DNA. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 43, 225-235.
- Krogh U., Bruun T.S., Amdt C., Flummer C., Poulsen J., Theil P.K., 2015. Colostrum production in sows fed different sources of fiber and fat during late gestation. *Can. J. Anim. Sci.*, 95, 211-223.
- Laitat M., Antoine N., Cabaraux J. F., Cassart D., Mainil J., Moula N., Nicks B., Wavreille J., Philippe F.X., 2015. Influence of sugar beet pulp on feeding behavior, growth performance, carcass quality and gut health of fattening pigs. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 19, 20-31.
- Li Q., Burrough E.R., Gabler N.K., Loving C.L., Sahin O., Gould S.A., Patience J.F., 2019. A soluble and highly fermentable dietary fiber with carbohydrases improved gut barrier integrity markers and growth performance in F18 ETEC challenged pigs. *J. Anim. Sci.*, 97, 2139-2153.
- Lynch M.B., O'Shea C.J., Sweeney T., Callan J.J., O'Doherty J.V., 2008. Effect of crude protein concentration and sugar-beet pulp on nutrient digestibility, nitrogen excretion, intestinal fermentation and manure ammonia and odour emissions from finisher pigs. *Animal*, 2, 425-434.
- McGlone J.J., Fullwood S.D., 2001. Behavior, reproduction, and immunity of crated pregnant gilts: Effects of high dietary fiber and rearing environment. *J. Anim. Sci.*, 79, 1466-1474.
- Molist F., de Segura A.G., Gasa J., Hermes R.G., Manzanilla E.G., Anguita M., Pérez J.F., 2009. Effects of the insoluble and soluble dietary fibre on the physicochemical properties of digesta and the microbial activity in early weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 149, 346-353.
- Nguyen N., Jacobs M., Li J., Huang C., Li D., Navarro D.M., Stein H.H., Jaworski N.W., 2019. Concentrations of soluble, insoluble, and total dietary fiber in feed ingredients determined using Method AOAC 991.43 are not different from values determined using Method AOAC 2011.43 with the AnkomTDF Dietary Fiber Analyzer. *J. Anim. Sci.*, 97, 3972-3983.
- Pieper R., Boudry C., Bindelle J., Vahjen W., Zentek J., 2014. Interaction between dietary protein content and the source of carbohydrates along the gastrointestinal tract of weaned piglets. *Arch. Anim. Nutr.*, 68, 263-280.
- Ramonet Y., Robert S., Aumaître A., Dourmad J.Y., Meunier-Salaün M.C., 2000a. Influence of the nature of dietary fibre on digestive utilization, some metabolite and hormone profiles and the behaviour of pregnant sows. *Anim. Sci.*, 70, 275-286.
- Ramonet Y., Bolduc J., Bergeron R., Robert S., Meunier-Salaün M.C., 2000b. Feeding motivation in pregnant sows: Effects of fibrous diets in an operant conditioning procedure. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 66, 21-29.
- Ratanpaul V., Williams B.A., Black J.L., Gidley M.J., 2019. Effects of fibre, grain starch digestion rate and the ileal brake on voluntary feed intake in pigs. *Animal*, 13, 2745-2754.
- Roca-Canudas M., Anguita M., Nofrarías M., Majó N., de Rozas A.P., Martín-Orúe S.M., Pérez J.F., Pujols J., Segalés J., Badiola I., 2007. Effects of different types of dietary non-digestible carbohydrates on the physico-chemical properties and microbiota of proximal colon digesta of growing pigs. *Livest. Sci.*, 109, 85-88.
- Rooney H.B., O'Driscoll K., O'Doherty J. V., Lawlor P.G., 2019. Effect of l-carnitine supplementation and sugar beet pulp inclusion in gilt gestation diets on gilt live weight, lactation feed intake, and offspring growth from birth to slaughter. *J. Anim. Sci.*, 97, 4208-4218.
- Sapkota A., Marchant-Forde J.N., Richert B.T., Lay D.C., 2016. Including dietary fiber and resistant starch to increase satiety and reduce aggression in gestating sows. *J. Anim. Sci.*, 94, 2117-2127.
- Shriver J.A., Carter S.D., Sutton A.L., Richert B.T., Senne B.W., Pettey L.A., 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 81, 492-502.
- Slama J., Schedle K., Wurzer G.K., Gierus M., 2019. Physicochemical properties to support fibre characterization in monogastric animal nutrition. *J. Sci. Food Agric.*, 99, 3895-3902.
- Tan C.Q., Sun H.Q., Wei H.K., Tan J.J., Long G., Jiang S.W., Peng J., 2018. Effects of soluble fiber inclusion in gestation diets with varying fermentation characteristics on lactational feed intake of sows over two successive parities. *Animal*, 12, 1388-1395.
- Wang J.F., Li D.F., Jensen B.B., Jakobsen K., Xing J.J., Gong L.M., Zhu Y.H., 2003. Effect of type and level of fibre on gastric microbial activity and short-chain fatty acid concentrations in gestating sows. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 104, 95-110.
- Wang J.F., Zhu Y.H., Li D.F., Wang M., Jensen B.B., 2004. Effect of type and level of dietary fibre and starch on ileal and faecal microbial activity and short-chain fatty acid concentrations in growing pigs. *Anim. Sci.*, 78, 109-117.
- Weber T.E., Kerr B.J., 2012. Metabolic effects of dietary sugar beet pulp or wheat bran in growing female pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 523-532.
- Whittaker X., Edwards S.A., Spoolder H.A.M., Lawrence A.B., Corning S., 1999. Effects of straw bedding and high fibre diets on the behaviour of floor fed group-housed sows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 63, 25-39.
- Whittaker X., Spoolder H.A.M., Edwards S.A., Lawrence A.B., Corning S., 1998. The influence of dietary fibre and the provision of straw on the development of stereotypic behaviour in food restricted pregnant sows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 61, 89-102.
- Whittemore E.C., Kyriazakis I., Tolkamp B.J., Emmans G.C., 2002. The short-term feeding behavior of growing pigs fed foods differing in bulk content. *Physiol. Behav.*, 76, 131-141.
- Yan C.L., Kim H.S., Hong J.S., Lee J.H., Han Y.G., Jin Y.H., Son S.W., Ha S.H., Kim Y.Y., 2017. Effect of Dietary sugar beet pulp supplementation on growth performance, nutrient digestibility, fecal Microflora, blood profiles and Diarrhea incidence in weaning pigs. *J. Anim. Sci. Technol.*, 59, 18.
- Yde C.C., Bertram H.C., Theil P.K., Knudsen K.E.B., 2011. Effects of high dietary fibre diets formulated from by-products from vegetable and agricultural industries on plasma metabolites in gestating sows. *Arch. Anim. Nutr.*, 65, 460-476.
- Zhao P., Zhang Z., Kim I.H., 2015. Effects of beet pulp supplementation on growth performance, fecal moisture, serum hormones and litter performance in lactating sows. *Anim. Sci. J.*, 86, 610-616.