

Valeurs nutritives des fibres, conséquences sur la santé du porcelet et le bien-être de la truie

M. LE GALL¹, L. MONTAGNE², M.-C. MEUNIER-SALAÜN¹, J. NOBLET¹

¹ INRA, Agrocampus, UMR1079 Systèmes d'Élevage, Nutrition Animale et Humaine, F-35590 Saint-Gilles, France

² Agrocampus Ouest, UMR1079 Systèmes d'Élevage, Nutrition Animale et Humaine, F-35590 Saint-Gilles, France

Courriel : Maud.LeGall@rennes.inra.fr

L'introduction de fibres dans les aliments du porc permet de répondre à une partie des enjeux actuels de la filière porcine. L'un des enjeux est économique en lien avec la disponibilité de matières premières, riches en fibres, issues des industries agroalimentaires et des industries des agro-carburants. Un autre enjeu concerne le bien-être des animaux avec les effets des fibres sur le comportement des truies et sur la santé du porcelet. Aujourd'hui, la valeur nutritive des matières premières reste le principal critère utilisé pour la formulation des aliments. Cependant, d'autres critères, souvent plus qualitatifs tels que l'impact des matières premières sur la santé de l'animal, sur son bien-être ou encore sur l'environnement, sont de plus en plus pris en compte. Dans ce contexte, les fibres présentent un intérêt particulier car elles modulent les multiples valeurs des aliments.

L'étude des fibres et de leurs effets est complexe en raison de l'hétérogénéité des fibres en termes d'origine, de composition biochimique et de caractéristiques physico-chimiques avec de nombreux points qui restent encore mal connus. De plus, l'interaction entre l'aliment, l'animal et sa microflore complique l'étude des effets sur la

nutrition, la santé et le comportement des animaux. L'objectif de cet article est de synthétiser les connaissances actuelles sur les conséquences de l'introduction des fibres dans les aliments sur la digestion et métabolisme du porc, la santé du porcelet et le bien-être des truies, en relation avec la composition chimique et les propriétés physico-chimiques des fibres.

1 / Définition, structure chimique et propriétés physico-chimiques des fibres alimentaires

Selon la définition de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA 2002), les fibres sont «des composés d'origine végétale, de nature glucidique et résistants aux enzymes digestives. Dans la plante, elles sont associées ou non à de la lignine ou à d'autres constituants non glucidiques (polyphénols, cires, saponines, cutine, phytates, polystérols...)». Les fibres sont constituées de cellulose, des hémicelluloses et de pectines (Bach Knudsen 2001). Les sources de fibres utilisées en alimentation porcine correspondent majoritairement à celles de la paroi végétale des

matières premières (céréales, oléagineux, protéagineux et leurs coproduits).

Il existe plusieurs classifications des fibres, basées par exemple, sur leurs propriétés de solubilité. Les fibres solubles dans l'eau correspondent aux pectines, β -glucanes, gommés et mucilages et les fibres insolubles à la cellulose et à la majorité des hémicelluloses. La somme des fibres solubles et insolubles de nature glucidique correspond, par ailleurs, aux polysaccharides non amylacés (*Non-Starch Polysaccharides*, NSP ; Bach Knudsen 2001). La méthode séquentielle de Van Soest (1967) mesure les fractions de fibres insolubles dans des détergents neutres (*Neutral Detergent Fibre*, NDF), dans des détergents acides (*Acid Detergent Fibre*, ADF) ou dans l'acide sulfurique (*Acid Detergent Lignine*, ADL) (Bach Knudsen 2001).

Les propriétés physico-chimiques des fibres, comme celles d'hydratation et de viscosité, sont liées à leur composition en polysaccharides, à leur organisation intermoléculaire dans la plante et au degré de lignification (Bach Knudsen 2001). Ces propriétés dépendent aussi des caractéristiques de l'aliment (teneur en fibres, taille des particules alimentaires) et des interactions entre les fibres et des facteurs liés à la digestion par l'animal (pH des contenus, osmolarité, temps de transit, quantité d'eau et de sécrétions endogènes, activité de la microflore...). Elles évoluent tout au long du cheminement des fibres dans le tube digestif (Canibe et Bach Knudsen 2002) et elles influencent fortement leurs propriétés nutritionnelles.



INRA, H. Flageul

2 / Effets des fibres alimentaires sur la valeur nutritive des aliments

2.1 / Digestion des fibres alimentaires et métabolisme fermentaire

Les fibres, résistantes aux enzymes digestives, sont hydrolysées puis fermentées par les microorganismes dans les parties distales du tube digestif. La microflore obtient ainsi son énergie et produit alors des Acides Gras Volatils (AGV) (MacFarlane et Cummings 1991). L'intensité des fermentations dépend de la composition chimique, de la structure moléculaire et du degré de lignification des fibres (Noblet et Le Goff 2001). Ainsi, la digestibilité des fibres solubles et/ou peu lignifiées (pectines, pulpes de betterave ou coques de soja) est supérieure à celle de la cellulose et la lignine (paille de blé) (tableau 1). De plus, d'un point de vue cinétique, les fibres solubles sont fermentées dès les parties proximales du tube digestif (iléon et caecum) alors que les fibres insolubles le sont plus lentement et dans les parties plus distales du tube digestif (côlon et rectum) (Bach Knudsen et Canibe 2000). Ainsi, chez des porcs en croissance, les digestibilités iléales et fécales des NSP sont respectivement de 27 et 92% pour des régimes contenant du son d'avoine, riche en fibres solubles, et de 8 et 54% pour des régimes contenant 10% de son de blé, riche en fibres insolubles (Bach Knudsen et Canibe 2000).

La digestion des fibres est influencée par des facteurs liés à l'animal et

notamment son âge, corrélé au poids vif (Noblet et Le Goff 2001). Ainsi, la digestibilité fécale de la fraction NDF d'un aliment contenant 26% de NDF apportés par un mélange de fibres est améliorée de 10% entre 45 et 150 kg de poids vif. De même, la digestibilité des régimes fibreux est plus importante pour la truie que le porc en croissance (tableau 1). Cela s'explique par le fait que les animaux adultes ont un taux d'ingestion rapporté par unité de poids vif plus faible, un temps de transit moyen plus long, un volume intestinal et une activité cellulolytique plus importants (Varel et Yen 1997) que des animaux plus jeunes.

Notons aussi que les capacités fermentaires dépendent du type génétique. Pour des porcs ibériques, la digestibilité du glucose de la fraction fibreuse est de 61% alors qu'elle est de 95% pour des porcs Landrace ayant un transit digestif plus lent que les premiers (Morales *et al* 2002).

Par ailleurs, la digestion des fibres nécessite une période d'adaptation de l'animal à son aliment d'environ cinq semaines (Longland *et al* 1993). Ceci correspond à l'adaptation quantitative et qualitative de la microflore (Le Blay *et al* 1999) associée à l'hypertrophie du gros intestin qui permet alors un temps de rétention plus long favorable aux fermentations (Mathers *et al* 1997).

Les AGV produits par fermentation sont absorbés par la muqueuse, véhiculés vers le foie et participent ensuite au métabolisme énergétique. Notons que leur contribution au métabolisme énergétique est 5 à 10% plus faible que celle des monosaccharides absorbés au

niveau de l'intestin grêle (Noblet et Le Goff 2001).

2.2 / Influence des fibres alimentaires sur la digestion de l'aliment

Globalement, les fibres réduisent la digestibilité iléale et fécale de l'énergie et des nutriments en modifiant les capacités d'hydrolyse et de fermentations, le transit et l'absorption. Ainsi, la digestibilité fécale de l'énergie diminue de 9 et 6% respectivement chez le porc en croissance et la truie, lorsque la teneur en NDF augmente de 1 point dans l'aliment (Le Goff et Noblet 2001).

La réduction de la digestibilité apparente des aliments, observée en présence de fibres, peut s'expliquer par la diminution de la digestibilité réelle des constituants alimentaires qui sont plus difficilement accessibles aux enzymes digestives (Noblet et Le Goff 2001). Ceci est la conséquence de l'augmentation de la viscosité des contenus intestinaux suite à l'ingestion de certaines fibres solubles et plus généralement de l'augmentation du volume des contenus digestifs (Bach Knudsen 2001).

La diminution de la digestibilité apparente peut aussi résulter d'un accroissement des sécrétions endogènes. Ainsi, les fibres solubles avec une forte capacité de rétention d'eau (pulpe de betterave) stimuleraient les sécrétions d'enzymes pancréatiques et intestinales (Souffrant 2001). Les sécrétions intestinales, constituées de mucines et de fragments de cellules épithéliales, seraient en outre accrues par des effets directs (érosion de la muqueuse) ou

Tableau 1. Digestibilité et valeur énergétique des céréales et coproduits utilisés en alimentation porcine. Adapté de Le Goff et al (2002).

	Blé	Orge	Fibres de maïs	Son de blé	Pulpe de pomme de terre	Pulpe de betterave	Paille
Digestibilité fécale apparente totale							
<i>Porc en croissance</i>							
Protéines	0,81	0,74	0,62	0,58	-0,40	0,37	-0,72
Lipides	0,35	0,46	0,53	0,33	-0,92	ND	0,38
Fibres	0,43	0,37	0,36	0,10	0,95	0,77	0,06
<i>Truie adulte</i>							
Protéines	0,85	0,80	0,64	0,78	0,17	0,46	-0,46
Lipides	0,41	0,51	0,54	0,33	ND	ND	0,34
Fibres	0,47	0,43	0,67	0,38	0,99	0,89	0,20
Energie digestible, porc MJ/ kg MS	15,93	14,84	11,03	10,13	13,92	12,66	0,53
Energie digestible, truie MJ/ kg MS	16,26	15,35	13,86	12,19	13,86	12,75	2,78

ND : non déterminé.

indirects (*via* les fermentations) des fibres. Ainsi, le butyrate, produit par les fermentations coliques, en raison de son effet trophique, régule la croissance cellulaire (Sakata 1987), et accélère le renouvellement protéique des cellules épithéliales conduisant à plus de desquamations de l'épithélium.

Les nutriments non digérés dans l'intestin grêle et les fibres sont ensuite partiellement fermentés dans le gros intestin, accroissant la biomasse bactérienne et donc le poids des fèces. Ces fermentations peuvent s'accompagner d'un transfert de l'urée sanguine vers le gros intestin. Ainsi, l'introduction de fibres dans les aliments, en stimulant l'activité fermentaire diminue l'excrétion d'N urinaire (et donc d'ammoniac) et augmente les pertes fécales d'N d'origine bactérien (Dourmad *et al* 2009).

L'effet des fibres sur le transit digestif dépend du type de fibres, de leur taux d'incorporation dans l'aliment et des caractéristiques de l'animal (Bach Knudsen 2001). Au niveau gastrique, les fibres solubles, lorsqu'elles proviennent d'avoine ou de pulpe de betterave, retardent la vidange gastrique alors que la gomme de guar, les pectines, ou les coproduits d'avoine, l'accélèrent. Le ralentissement de la vidange gastrique, en prolongeant le sentiment de satiété, entraîne la baisse du niveau d'ingestion spontanée pouvant être la cause de la diminution des performances chez les porcs mais est plutôt recherché chez la truie en gestation (cf. § 4).

Les fibres insolubles ont des effets modérés sur le transit dans l'intestin grêle (Wilfart *et al* 2007) alors que les fibres solubles le ralentiraient plutôt (Bach Knudsen 2001). Dans le gros intestin, et d'une manière générale, les fibres accélèrent le transit par deux modes d'actions : effet direct lié à l'augmentation de volume et effet indirect *via* la stimulation contractile par les AGV produits par fermentation (Le Goff *et al* 2002, Wilfart *et al* 2007).

Les effets des fibres sur l'hydrolyse, les sécrétions et le transit évoqués ci-dessus affectent les profils d'absorption des nutriments. Plusieurs études menées chez la truie ayant consommé des aliments contenant des enveloppes d'avoine, de la pulpe de betterave, de la pulpe de pomme de terre et de la pectine, seules ou en mélange, ont mis en évidence des variations des profils sanguins de métabolites ou d'hormones

(Ramonet *et al* 2000, Serena *et al* 2009). Ces effets ont été attribués aux fibres solubles avec une forte capacité de rétention d'eau et de gonflement qui réduisent et retardent l'absorption du glucose après le repas et s'accompagnent d'une diminution de production d'insuline (Serena *et al* 2009).

En résumé, la capacité digestive des fibres par le porc dépend de facteurs liés aux fibres (nature, taux d'incorporation...) et de facteurs liés à l'animal (âge, poids vif). De ce fait, deux valeurs énergétiques sont couramment utilisées pour la formulation des aliments du porc en croissance et de la truie.

3 / Effets des fibres alimentaires sur la santé des porcelets

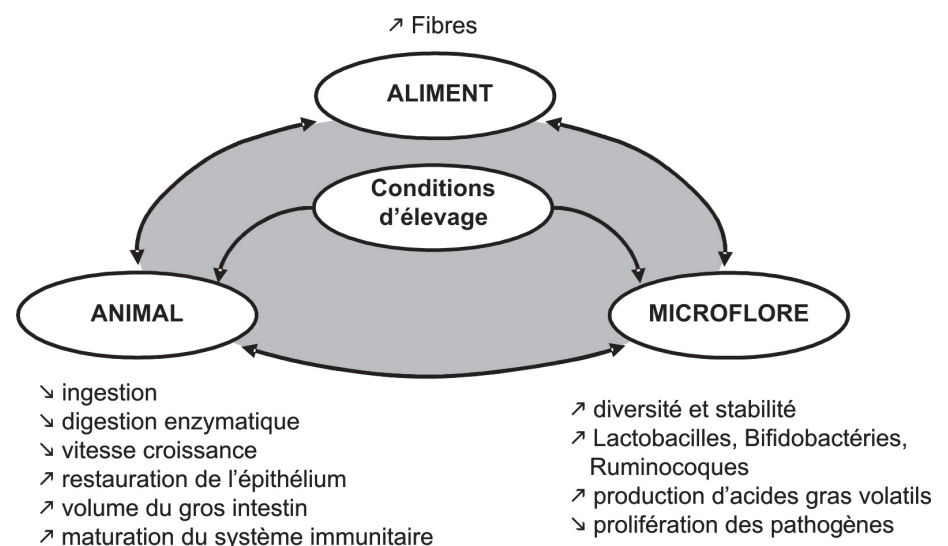
Le sevrage est une période critique de l'élevage du porc, caractérisée par une susceptibilité accrue aux désordres digestifs entraînant diarrhées et baisse de croissance. Les conséquences du sevrage sur la physiologie, la microbiologie et l'immunologie du porcelet ont fait l'objet de synthèses récentes (Lallès *et al* 2004, 2007).

La majorité des études publiées (cf. revue de Montagne *et al* 2003), indiquent que l'introduction de fibres (5 à 6% de cellulose brute correspondant au maximum préconisé par l'Institut technique du Porc (IFIP 2000)) dans les aliments de post-sevrage

réduit l'incidence et la sévérité des diarrhées colibacillaires, que les fibres soient majoritairement solubles et rapidement fermentescibles (pulpes de betterave par exemple), ou insolubles (son de blé par exemple). D'autres études, réalisées en Australie, indiquent qu'inversement les fibres solubles et visqueuses exacerbent les désordres digestifs (Hopwood et Hampson 2003). Notons que ces travaux ont été menés chez des porcelets expérimentalement infectés, en utilisant comme témoin un aliment sécurisant pour la santé digestive à base de riz cuit et de farines animales (Pluske *et al* 2001). Ces contradictions rendent par ailleurs compte du caractère multifactoriel des infections du post-sevrage, impliquant les autres caractéristiques de l'aliment (teneur en protéines, granulométrie, forme de distribution etc. ; Hopwood et Hampson 2003) et les interactions entre les facteurs alimentaires et non alimentaires (résistance de l'animal, conduite de l'élevage ; Madec *et al* 1998). Les effets des fibres sur la santé digestive des porcelets résultent d'interactions entre les fibres, l'animal et notamment la muqueuse digestive et la microflore (figure 1).

Les fibres stimulent l'activité microbienne dans l'iléon, le caecum et le côlon du porcelet, avec pour conséquence une augmentation des concentrations en AGV totaux et acide lactique dans les contenus digestifs ainsi qu'une modification des proportions d'AGV au profit du butyrate (Wellock *et al* 2008). On observe également une baisse du pH des contenus digestifs

Figure 1. Conséquences potentielles de l'introduction de teneurs modérées de fibres dans les aliments sur la physiologie et la microbiologie du porcelet juste après le sevrage (adapté de Montagne *et al* 2009).





INRA, H. Flageul

(Högberg et Lindberg 2006) et un accroissement du volume des fèces lié à l'accroissement de la biomasse bactérienne et de la capacité de fixation d'eau. Les fibres permettent par ailleurs de réduire les fermentations de type protéolytique qui prédisposent aux diarrhées. Il en résulte une diminution des concentrations dans les contenus digestifs d'AGV ramifiés et d'ammoniaque, composé irritant pour la muqueuse (Williams *et al* 2001). La stimulation de l'activité microbienne par les fibres s'accompagne généralement d'un accroissement de la diversité de la microflore et de la prolifération de certaines espèces bactériennes. Il s'agit de bactéries du genre *Lactobacillus* (*L. sobrius*) et/ou *Bifidus*, considérées comme bénéfiques pour la santé digestive (Konstantinov *et al* 2006) ou d'espèces du genre *Ruminococcus*, qui participeraient à la fermentation des fibres (Konstantinov *et al* 2003).

Les effets des fibres sur la diversité de la microflore renforcent la résistance à la colonisation par des bactéries pathogènes (ou effet barrière) et expliquent les effets bénéfiques de l'inclusion des fibres dans les aliments de post-sevrage. Ces effets ne semblent pas observés chez des animaux infectés par *E coli*, recevant des aliments contenant des fibres fermentescibles, solubles et visqueuses. Celles-ci serviraient de substrat à *E coli* entérototoxique et favoriseraient ainsi leur prolifération (Hopwood et Hampson 2003). Par contre, une étude récente indique que l'inclusion de fibres solubles mais non visqueuses n'est pas néfaste (Wellock *et al* 2008).

L'ingestion des fibres a aussi des effets sur le fonctionnement du tube digestif de l'animal. Ces effets peuvent être directs ou indirects, *via* la stimulation de l'activité microbienne. Un effet fréquemment observé est l'augmentation du poids et du volume des parties distales du tube digestif, en lien avec les fermentations et le rôle trophique des AGV, plus particulièrement du butyrate (Williams *et al* 2001). De plus, les AGV sont rapidement absorbés, ce qui stimule l'absorption colique de l'eau et des minéraux, et diminue les diarrhées aqueuses (Blottières *et al* 1999).

Les fibres augmenteraient la vitesse de prolifération des cellules dans les cryptes et/ou le nombre de cellules possédant de l'ADN fragmenté, révélateur de l'apoptose (Vente-Spreuwenberg et Beynen 2003). Les conséquences sur la morphologie sont une diminution du rapport entre la hauteur des villosités et la profondeur des cryptes. L'augmentation de la prolifération cellulaire peut être expliquée par l'effet trophique des AGV. Les conséquences de ces altérations morphologiques sur les fonctions d'hydrolyse de la muqueuse dépendent des études, des fibres et des enzymes étudiées. Globalement, les fibres semblent peu affecter les activités des enzymes intestinales (Montagne *et al* 2003) mais soutenir l'activité des enzymes pancréatiques (Lizardo *et al* 1997).

L'effet des fibres sur les capacités de défenses de l'animal, défenses passives *via* le mucus et actives *via* le système immunitaire de la muqueuse intestinale, est encore mal connu. L'introduction

de fibres dans l'aliment conduit à augmenter la présence de mucines dans les contenus digestifs iléaux (+ 30 à + 115%), consécutivement à des phénomènes d'érosion du mucus (Montagne *et al* 2004, Piel *et al* 2005). Ces phénomènes d'érosion s'accompagnent parfois d'un accroissement de la densité de cellules caliciformes dans la muqueuse intestinale, cellules qui produisent des mucines. Mais cet effet est variable suivant le type de fibres (Hedemann *et al* 2006, Piel *et al* 2007). Concernant l'immunité, l'introduction de glucides fermentescibles ne supprime pas l'inflammation de la muqueuse digestive consécutive au sevrage mais permettrait une maturation plus rapide des fonctions de protection spécifiques, comme par exemple la production d'immunoglobulines (Pié *et al* 2007).

En conclusion, les fibres interagissent avec la microflore et la muqueuse digestive du porcelet modifiant ainsi l'équilibre digestif. Les conséquences sur la santé ne sont pas toujours évidentes, rendant difficile l'établissement de recommandations.

4 / Effets des fibres alimentaires sur le bien-être de la truie

Chez la truie, les fibres peuvent être apportées soit dans l'aliment afin d'accroître le volume distribué à apport énergétique constant, soit dans l'environnement de l'animal (paille). Les travaux réalisés avec des taux de fibres variant entre 25 et 43% NDF, indiquent qu'au-dessus d'un certain taux, diffèrent selon les études, l'apport de fibres réduit les troubles du comportement chez les truies soumises à un rationnement alimentaire (Meunier-Salaün *et al* 2001). En effet, les restrictions alimentaires appliquées chez la truie pendant la gestation favorisent l'apparition de comportements stéréotypés et le nombre des agressions chez les truies en groupe (Terlouw *et al* 1991). Ces réponses, associées à une motivation alimentaire non satisfaite, et à une compétition en défaveur des animaux subordonnés, sont considérées comme des signes de mal-être (Lawrence et Rushen 1993). Les résultats sur l'effet favorable des rations fibreuses en gestation ont contribué à la réglementation européenne stipulant la mise à disposition d'une quantité d'aliment volumineux ou riche en fibres pour les truies gestantes (Directive 2001/88/CE). L'intérêt des fibres en faveur du bien-

être des truies gestantes est bien établi, tout en soulignant que l'intensité des effets observés dépend de facteurs liés à l'aliment (caractéristiques physico-chimiques, texture de la ration, modalités de distribution et effets sur le métabolisme) et à l'animal (parité, état motivationnel ; Meunier-Salaün *et al* 2007). L'apport de fibres dans la ration joue également sur l'expression du comportement alimentaire, se traduisant par une réduction de la vitesse d'ingestion (Ramonet *et al* 1999) et un fractionnement de la séquence alimentaire lors de l'ingestion de la ration (Guillemet *et al* 2006). Ces réponses peuvent être liées à un pouvoir de rétention d'eau élevé selon les sources de fibres utilisées (Ramonet *et al* 2000), au caractère de moindre appétence de la ration fibreuse (Guillemet *et al* 2007a) et aux effets métaboliques favorables à une sensation de rassasiement (Philippe *et al* 2008). De telles réponses peuvent néanmoins s'estomper avec le temps en raison de l'accroissement du volume de certains organes digestifs (estomac, caecum, côlon) permettant une augmentation progressive de l'ingestion volontaire (Jørgensen *et al* 1996, Whittaker *et al* 2000).

Les conséquences de la distribution de fibres pendant la gestation sur les performances des truies (gain de poids, épaisseur de lard) varient en fonction des études. Cette divergence dans les effets peut s'expliquer en partie par une sous-estimation de la valeur énergétique de la ration dans certains régimes expérimentaux conduisant à des apports plus faibles en énergie nette que prévus (Noblet *et al* 2003) et à l'origine de différences dans l'état corporel des truies en fin de gestation.

L'accroissement du volume du tube digestif et la réplétion intestinale avec l'apport de fibres peuvent être aussi un élément de variation (Philippe *et al* 2008). Par ailleurs, l'implication de critères secondaires, tels que le rang de portée des truies, l'origine génétique des animaux, les modalités d'alimentation (dispositif, source, taux ou moment d'introduction des fibres) a été également rapportée (Philippe *et al* 2008).

La distribution de régimes fibreux pendant la gestation stimule la consommation d'aliment en début de lactation. Elle favorise donc l'adaptation de la truie à la distribution à volonté d'un aliment riche en protéines. L'augmentation d'ingestion se manifeste plus particulièrement au cours de la première semaine de lactation (Guillemet *et al* 2007b). Sur l'ensemble de la lactation, les quantités ingérées par jour ne sont pas affectées, néanmoins la répartition des séquences alimentaires au cours du nyctémère est modifiée, et se traduit par une ingestion sous forme de repas plus nombreux et de moindre taille chez les truies nourries pendant la gestation avec un aliment enrichi en fibres (Guillemet *et al* 2006). L'effet favorable des fibres sur la consommation pendant la lactation varie cependant suivant les caractéristiques de l'animal (état corporel) ou de l'aliment de gestation (nature des fibres) mais n'interfère pas avec l'état corporel des truies au sevrage (Philippe *et al* 2008).

Dans le prolongement des études déjà menées, il serait intéressant d'évaluer la persistance des effets des régimes fibreux sur les parités successives, la majeure partie des études faisant appel à des truies de parité homogène, primi-

pare ou multipare. L'influence du type génétique des animaux et des pratiques d'alimentation jouant sur le démarrage de la distribution d'aliment lactation en phase péripartum méritent également des travaux complémentaires.

En conclusion, les pratiques actuelles pour l'apport de fibres aux truies reproductrices varient mais, dans tous les cas, suivent la recommandation européenne, qui est d'introduire une source de fibres dans l'alimentation ou comme substrat, mais sans recommandation d'un taux spécifique (Directives Européennes 2001/88/EC, 2001/93/EC). La synthèse des effets rapportés dans la littérature converge vers une teneur en NDF de l'ordre de 20% (Quiniou 2008) mais ne permet pas d'aboutir à l'établissement de recommandation stricte.

Conclusion

En résumé, les fibres ont un rôle plutôt négatif sur la digestion en agissant sur l'ingestion et en réduisant la digestibilité de l'énergie. Chez le porcelet, l'introduction de teneurs modérées de fibres plutôt fermentescibles et peu visqueuses semble favorable au développement du tube digestif après sevrage. Chez la truie en gestation, les fibres ont des effets favorables sur le comportement. Ces effets dépendent de la nature des fibres, de leur taux d'incorporation et de facteurs liés à l'animal qui les ingère. Un compromis est à trouver entre les effets défavorables sur la valeur nutritive et les effets favorables sur la santé et le comportement.

Références

- Bach Knudsen K.E., 2001. The nutritional significance of «dietary fibre» analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 3-20.
- Bach Knudsen K.E., Canibe N., 2000. Breakdown of plant carbohydrates in the digestive tract of pigs fed on wheat- or oat-based rolls. *J. Sci. Food Agric.*, 80, 1253-1261.
- Blottières H.M., Champ M., Hoebler C., Michel C., Cherbut C., 1999. Production and digestive effects of short chain fatty acids. *Sci. Aliment*, 19, 269-290.
- Canibe N., Bach Knudsen K.E., 2002. Degradation and physicochemical changes of barley and pea fibre along the gastrointestinal tract of pigs. *J. Sci. Food Agric.*, 82, 27-39.
- Directive 2001/88/CE du Conseil du 23 octobre 2001 modifiant la directive 91/630/CEE établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs. *J.O. L 316 du 1.12.2001*, 1-4.
- Dourmad J.Y., Rigolot C., Jondreville C., 2009. Influence de la nutrition sur l'excrétion d'azote, de phosphore, de cuivre et de zinc des porcs, et sur les émissions d'ammoniac, de gaz à effet de serre et d'odeurs. *INRA Prod. Anim.*, 22, 41-48.
- Guillemet R., Dourmad J.Y., Meunier-Salaün M.C., 2006. Feeding behavior in primiparous lactating sows: Impact of a high-fiber diet during pregnancy. *J. Anim. Sci.*, 84, 2474-2481.
- Guillemet R., Comyn S., Dourmad J.Y., Meunier-Salaün M.C., 2007a. Gestating sows prefer concentrate diets to high-fiber diet in two-choice tests. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 108, 251-262.
- Guillemet R., Hamard A., Quesnel H., Pere M.C., Etienne M., Dourmad J.Y., Meunier-Salaün M.C., 2007b. Dietary fibre for gestating sows: effects on parturition progress, behaviour, litter and sow performance. *Animal*, 1, 872-880.
- Hedemann M.S., Eskildsen M., Laerke H.N., Pedersen C., Lindberg J.E., Laurinen P., Bach Knudsen K.E., 2006. Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pigs fed contrasting fiber concentrations and fiber properties. *J. Anim. Sci.*, 84, 1375-1386.
- Högberg A., Lindberg J.E., 2006. The effect of level and type of cereal non-starch polysaccharides on the performance, nutrient utilization and gut environment of pigs around weaning. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 127, 200-219.

- Hopwood D.E., Hampson D.J., 2003. Interactions between the intestinal microflora, diet and diarrhoea, and their influences on piglet health in the immediate post-weaning period. In: Weaning the pig: concepts and consequences. Pluske J.R., Le Dividich J., Verstegen M.W.A. (Eds), Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 199-217.
- Institut Technique du Porc (IFIP), 2000. L'alimentation. In : Mémento de l'éleveur de porc. 373p.
- Jørgensen H., Zhao X.Q., Eggum B.O., 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hindgut and energy metabolism in pigs. *British J. Nutr.*, 75, 365-378.
- Konstantinov S.R., Zhu W.Y., Williams B.A., Tamminga S., de Vos W.M., Akkermans A.D.L., 2003. Effect of fermentable carbohydrates on piglet faecal bacterial communities as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of 16S ribosomal DNA. *FEMS Micro. Ecol.*, 43, 225-235.
- Konstantinov S.R., Poznanski E., Fuentes S., Akkermans A.D.L., Smidt H., de Vos W.M., 2006. *Lactobacillus sobrius* sp. nov., a novel isolate abundant in the intestine of weaning piglets. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 56, 29-32.
- Lallès J.P., Boudry G., Favier C., Le Floch N., Luron I., Montagne L., Oswald I.P., Pié S., Piel C., Sève B., 2004. Gut function and dysfunction in young pigs: physiology. *Anim. Res.*, 53, 301-316.
- Lallès J.P., Bosi P., Smidt H., Stokes C.R., 2007. Nutritional management of gut health in pigs around weaning. *Proc. Nutr. Soc.*, 66, 260-268.
- Lawrence A. Rushen J., 1993. Stereotypic animal behaviour: fundamentals and applications to welfare. CAB International (Ed), Wallington, UK, 210p.
- Le Blay G., Michel C., Blottière H., Cherbut C., 1999. Enhancement of butyrate production in the rat caecocolonic tract by long-term ingestion of resistant potato starch. *Br. J. Nutr.*, 82, 419-426.
- Le Goff G., Noblet J., 2001. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.*, 79, 2418-2427.
- Le Goff G., van Milgen J., Noblet J., 2002. Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Anim. Sci.*, 74, 503-515.
- Lizardo R., Peiniau J., Aumaitre A., 1997. Inclusion of sugar-beet pulp and change of protein source in the diet of the weaned piglet and their effects on digestive performance and enzymatic activities. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 66, 1-14.
- Longland A.C., Low A.G., Quelch D.B., Bray S.P., 1993. Adaptation to the digestion of non-starch polysaccharide in growing pigs fed on cereal or semi-purified basal diets. *Br. J. Nutr.*, 70, 557-566.
- MacFarlane G.T., Cummings J.H., 1991. The colonic flora, fermentation, and large bowel digestive function. In: The large intestine: physiology, pathophysiology, and disease. Phillips S.F., Pemberton J.H., Shorter R.G. (Eds), Raven Press, Ltd., New York, 51-94.
- Madec F., Bridoux N., Bounaix S., Jestin A., 1998. Measurement of digestive disorders in the piglet at weaning and related risk factors. *Prev. Vet. Med.*, 35, 53-72.
- Mathers J.C., Smith H., Carter S., 1997. Dose-response effects of raw potato starch on small-intestinal escape, large-bowel fermentation and gut transit time in the rat. *Br. J. Nutr.*, 78, 1015-1029.
- Montagne L., Pluske J.R., Hampson D.J., 2003. A review of interactions between dietary fibre and the mucosa, and their consequences on digestive health in young monogastric animals. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 108, 95-117.
- Montagne L., Piel C., Lallès J.P., 2004. Effect of diet on mucin kinetics and composition: Nutrition and health implications. *Nutr. Rev.*, 62, 105-114.
- Montagne L., Lallès J.P., Le Huëou-Luron I., Le Floch N., 2009. Comment favoriser par des voies nutritionnelles l'adaptation physiologique et microbiologique des porcelets au sevrage ? *Inra Prod. Anim.*, 22, 25-32.
- Meunier-Salaün M.C., Edwards S.A., Robert S., 2001. Effect of dietary fibre on the behaviour and health of the restricted fed sow. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 53-69.
- Meunier-Salaün M.C., Bizeray D., Colson V., Courboulay V., Lensink J., Prunier A., Remience V., Vandenheede M., 2007. The welfare of farmed pigs. *Prod. Anim.*, 20, 73-80.
- Morales J., Perez J.F., Martin-Orue S.M., Fondevila M., Gasa J., 2002. Large bowel fermentation of maize or sorghum- acorn diets fed as a different source of carbohydrates to Landrace and Iberian pigs. *Br. J. Nutr.*, 88, 489-497.
- Noblet J., Le Goff G., 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 35-52.
- Noblet J., Bontems V., Tran G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. *INRA Prod. Anim.*, 16, 197-210.
- Quiniou N., 2008. L'alimentation de la truie. Brochure IFIP, IFIP (Ed), Paris, France, 44p.
- Pié S., Awati A., Vida S., Falluel I., Williams B.A., Oswald I.P., 2007. Effects of added fermentable carbohydrates in the diet on intestinal proinflammatory cytokine-specific mRNA content in weaning piglets. *J. Anim. Sci.*, 85, 673-683.
- Piel C., Montagne L., Sève B., Lallès J.P., 2005. Increasing digesta viscosity using carboxymethylcellulose in weaned piglets stimulates ileal goblet cell numbers and maturation. *J. Nutr.*, 135, 86-91.
- Piel C., Montagne L., Sève B., Lallès J.P., 2007. Dietary fibre and indigestible protein increase ileal glycoprotein output without impacting colonic crypt goblet cells in weaned piglets. *Livest. Sci.*, 108, 106-108.
- Philippe F.X., Remience V., Dourmad J.Y., Cabarau J.F., Vandenheede M., Nicks B., 2009. Les fibres dans l'alimentation des truies gestantes. *INRA Prod. Anim.*, 21, 277-290.
- Pluske J.R., Kim J.C., McDonald D.E., Pethick D.W., Hampson D.J., 2001. Non-starch polysaccharides in the diets of young weaned piglets. In: The Weaner Pig: nutrition and management. Varley M.A., Wiseman J. (Eds), CABI publishing, Wallingford, UK, 81-112.
- Ramonet Y., Meunier-Salaün M.C., Dourmad J.Y., 1999. High-fiber diets in pregnant sows: Digestive utilization and effects on the behavior of the animals. *J. Anim. Sci.*, 77, 591-599.
- Ramonet Y., Robert S., Aumaitre A., Dourmad J.Y., Meunier-Salaün M.C., 2000. 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.
- Sakata T., 1987. Stimulatory effect of short-chain fatty acids on epithelial cell proliferation in the rat intestine: a possible explanation for trophic effects of fermentable fibre, gut microbes and luminal trophic factors. *Br. J. Nutr.*, 58, 95-103.
- Serena A., Jørgensen H., Bach Knudsen K.E., 2009. Absorption of carbohydrate derived nutrients in sows as influenced by types and contents of dietary fiber. *J. Anim. Sci.*, 87, 136-147.
- Souffrant W.B., 2001. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 93-102.
- Terlouw E.M.C., Lawrence A.B., Illius A.W., 1991. Influences of feeding level and physical restriction on development of stereotypies in sows. *Anim. Behav.*, 42, 981-991.
- Van Soest P.J., Wine R.H., 1967 Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. AOAC*, 46, 829-835.
- Varel V.H., Yen J.T., 1997. Microbial perspective on fiber utilization by swine. *J. Anim. Sci.* 75, 2715-2722.
- Vente-Spreeuwenberg M.A.M., Beynen A.C., 2003. Diet-mediated modulation of small intestinal integrity in weaned piglets. In: Weaning the Pig: concepts and Consequences. Pluske J.R., Le Dividich J., Verstegen M.W.A. (Eds), Wageningen, Wageningen Academic Publisher, The Netherlands, 145-199.
- Wellock I.J., Fortomaris P.D., Houdijk J.G.M., Wiseman J., Kyriazakis I., 2008. The consequences of non-starch polysaccharide solubility and inclusion level on the health and performance of weaned pigs challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Br. J. Nutr.*, 99, 520-530.
- Wilfart A., Montagne L., Simmins H., Noblet J., van Milgen J., 2007. Digesta passage in different segments of the gastro-intestinal tract of pigs as affected by dietary fibre. *Br. J. Nutr.*, 98, 54-62.
- Williams B.A., Verstegen M.W.A., Tamminga S., 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. *Nutr. Res. Rev.*, 14, 207-227.
- Whittaker X., Edwards S.A., Spoolder H.A.M., Corning S., Lawrence A.B., 2000. The performance of group-housed sows offered a high fibre diet ad libitum. *Anim. Sci.*, 70, 85-93.

Résumé

Le terme fibres alimentaires regroupe l'ensemble des polysaccharides non amylacés qui résistent à l'hydrolyse par les enzymes digestives des animaux monogastriques. Elles correspondent principalement aux constituants des parois cellulaires des végétaux associés ou non à la lignine. L'introduction de fibres dans les aliments des porcs diminue leur valeur nutritive mais peut aussi avoir des conséquences non-nutritives intéressantes dans le contexte actuel de la production porcine. Ainsi, les fibres interagissent avec le bon fonctionnement du tube digestif et donc sa santé, le bien-être de l'animal en situation de restriction alimentaire. Cette revue présente les mécanismes associés, fournissant ainsi des bases de réflexion pour l'introduction de fibres dans les formules pour porcelets, truie et porc charcutier.

Abstract

Use of fibres in pig feed: consequences on nutrition, health and behaviour

Dietary fibre is defined as a heterogeneous mixture of structural and non-structural polysaccharides together or not with lignin, which are resistant to hydrolysis by endogenous digestive enzymes. Dietary fibre introduction in pig feeds decreases their nutritional values but could also be potentially interesting for non-nutritive aspects in the current context of pig production. Thus, dietary fibre introduction may interact with gut health and welfare in feed-restricted sows. This text reviews the physiological mechanisms of dietary fibre digestion and their consequences on metabolism. Impacts on gut health and welfare are illustrated for piglets and sows, respectively.

LE GALL M., MONTAGNE L., MEUNIER-SALAÜN M.-C., NOBLET J., 2009. Valeurs nutritives des fibres, conséquences sur la santé du porcelet et le bien-être de la truie. *Inra Prod. Anim.*, 22, 17-24.

