La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc

Aurélie Wilfart, Lucile Montagne, Jean Noblet, Jaap J. van Milgen, Howard Simmins, Anne-Marie Debicki-Garnier, Bertrand Messager

▶ **To cite this version:**

Aurélie Wilfart, Lucile Montagne, Jean Noblet, Jaap J. van Milgen, Howard Simmins, et al.. La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc. 38. Journées de la Recherche Porcine, Jan 2006, Paris, France. hal-02754728

HAL Id: hal-02754728
https://hal.inrae.fr/hal-02754728

Submitted on 3 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

2006. Journées Recherche Porcine, **38**, 193-200.

La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc

Aurélie WILFART (1), Lucile MONTAGNE (1,2), Jean NOBLET (1), Jaap VAN MILGEN (1), Howard SIMMINS (3) Anne-Marie DEBICKI-GARNIER (3), Bertrand MESSAGER (4)

(1) Institut National de la Recherche Agronomique, UMR SENAH, 35590 Saint-Gilles
(2) Agrocampus Rennes, 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes Cedex
(3) Danisco Animal Nutrition, PO Box 777, Marlborough, Wiltshire, SN8 1XN, UK
(4) CEVA Nutrition Animale, La Ballastière, BP 126, 33501 Libourne Cedex

Aurelie.Wilfart@rennes.inra.fr

avec la collaboration technique de A. Pasquier, B. Trépier, Y. Jaguelin, B. Janson, Y. Lebreton, F. Le Gouevec

La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc

L'impact des fibres alimentaires sur la digestion fécale est bien connue mais ne fournit qu'une approche globale de la digestibilité et de la disponibilité des nutriments. Peu d'informations quantitatives sont disponibles sur la digestion dans les différents segments du tube digestif (TD). Les objectifs de cette étude sont de mettre au point une méthode permettant la quantification des processus digestifs dans les différents segments du TD et d'étudier l'impact de trois niveaux de fibres alimentaires (16,5, 20,9 et 27,0 % de fibres totales) sur la digestibilité des nutriments. Six castrats (PV initial de 30 kg), munis de cannule en T simple au niveau du duodénum proximal et de l'iléon distal sont assignés à un double carré latin 3x3 (3 porcs, 3 régimes). Un marqueur (TiO_2) est inclus dans l'aliment pour déterminer la digestibilité apparente dans les différents segments du TD. Les coefficients de digestibilité duodénale sont négatifs pour les minéraux, les protéines et la matière organique (respectivement -78 %, -18 % et -17,4 % pour le régime le plus riche en fibres), ce qui indique l'importance des sécrétions endogènes en amont du duodénum. L'apport de fibres accentue ces sécrétions endogènes et affecte négativement la digestibilité de tous les nutriments ainsi que celle de l'énergie aux différents niveaux du TD.

Fibers affect the digestibility of nutrients all along the gastro-intestinal tract in pigs

The impact of dietary fiber on fecal digestion is well-known but gives a global approach of nutrient digestibility and availability. Little quantitative information is available on digestion in the different segments of the gastro-intestinal (GI) tract. The objectives of this study were to obtain a method allowing the quatification of the digestive process in different segments of the GI-tract and to study the impact of dietary fiber on nutrient digestibility. Six barrows (average initial BW 30 kg and fitted with a simple T-cannulas at the proximal duodenum and distal ileum) were used in a Latin square design (two 3x3 Latin squares). Pigs were fed a diet differing in dietary fiber content in each period by replacing wheat by wheat bran in the diet. A marker (TiO_2) was included in the diet to determine the apparent digestibility in the different segments of the GI-tract. The apparent digestibility of ash, CP, DM and OM increased throughout the GI-tract. Duodenal digestibility coefficients were negative for almost all nutrients (e.g. -78% for ash and -18% for crude protein for the high fiber diet), indicating important endogenous secretions in the stomach and by the pancreas. Fiber inclusion affected the digestibility of all nutrients and energy digestibility, and this all along the GI-tract (the higher the fiber content, the lower the digestibility).

Version postprint

Comment citer ce document :
Wilfart, A., Montagne, L., Noblet, J., Van Milgen, J., Simmins, H., Debicki-Garnier, A.-M., Messager, B. (2006). La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc. In: 38. journées de la recherche porcine (p. 193-200). Presented at 38. Journées de la Recherche Porcine, Paris, FRA (2006-01-31 -

INTRODUCTION

La digestion des nutriments ou des composés alimentaires (matière sèche, matière organique, énergie) est influencée par les caractéristiques chimiques et physiques de l'aliment (Le Goff et Noblet, 2001), la présence d'additifs tels que des enzymes, les traitements technologiques mis en œuvre sur l'aliment (Skiba et al, 2002 ; Lahaye et al, 2004), ainsi que par des facteurs liés aux animaux tels que le poids vif, le sexe, l'état physiologique et pathologique et le niveau d'alimentation (Noblet et Shi, 1994). Les connaissances de l'effet des fibres alimentaires sur la digestion des nutriments ont été obtenues essentiellement par des mesures de digestibilité iléale (Souffrant, 2001) et/ou fécale (Zebrowska, 1988). Ces études fournissent des valeurs globales de la digestion et ne permettent pas de quantifier les phénomènes se déroulant dans les différents organes. Or le processus de digestion intègre des phénomènes d'hydrolyse, d'absorption, de fermentation, de sécrétion et de transit d'importances relatives variables suivant l'organe digestif et le nutriment considéré. Chaque organe est soumis à des règles de fonctionnement qui lui sont propres, en fonction des nutriments présents. Une modification de l'importance des phénomènes digestifs au sein d'un organe, par exemple suite à l'introduction de fibres dans l'aliment, peut avoir des conséquences digestives ou métaboliques sans que la digestibilité finale ne soit toujours modifiée.

Les objectifs de cette étude sont 1/ de mettre au point une méthodologie permettant des prélèvements du chyme sortant de l'estomac, de l'intestin grêle et du gros intestin sur un même animal, et 2/ de quantifier l'impact de l'enrichissement de l'aliment en fibres sur, d'une part, la digestibilité des nutriments le long du tube digestif et, d'autre part, les vitesses de transits du chyme alimentaire le long du tube digestif ; les résultats concernant le transit ne seront pas présentés ici. Ces études sont conduites dans un objectif plus général de quantifications des contributions des différentes phases de la digestion pour la construction de modèles de digestion en s'intéressant plus particulièrement aux interactions entre les nutriments et entre les nutriments et l'animal.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Animaux, régimes et schéma expérimental

Six porcs mâles castrés Piétrain x (Large White x Landrace) d'environ 30 kg de poids vif ont été munis de canules en T simples au niveau du duodénum proximal, juste après le canal pancréatique et au niveau de l'iléon distal (Sauer et al, 1983). Les animaux sont logés individuellement dans des cages métaboliques et répartis en deux blocs de trois porcs. Après une phase de récupération post-opératoire de 14 jours, les animaux ont reçu successivement trois aliments différant par leur teneur en fibres, au cours de trois périodes expérimentales successives, selon un dispositif type carré latin 3x3 pour chaque bloc. Chaque période expérimentale dure 14 jours. Des prélèvements de contenus duodénaux et iléaux ont été réalisés le 6ème et 7ème jour et les fèces le 10ème jour. La deuxième semaine de chaque période est utilisée pour déterminer la cinétique de transit (résultats non présentés).

L'aliment témoin à basse teneur en fibres (BF) contient du blé, de l'orge et du tourteau de soja (Tableau 1). La teneur en fibres est accrue pour devenir moyenne (régime MF) ou élevée (régime HF) en remplaçant une partie du blé et de l'orge du régime BF par respectivement 20 et 40 % de son de blé. L'ajout variable d'huile de colza a pour objectif d'avoir des aliments iso-lipidiques. Il en résulte que l'accroissement de la teneur en fibres est associé à une légère augmentation des teneurs en matières minérales et matières azotées et une diminution très importante de la teneur en amidon. Du dioxyde de titane (TiO_2) est inclus à la hauteur de 0,3 % dans l'aliment en tant que marqueur indigestible.

Le niveau d'alimentation est identique en quantité par jour pour tous les animaux au cours d'une même période. Il est fixé à 2,5MJ EM/(kg PV)^{0,60}, en prenant pour référence le poids vif du porc recevant l'aliment le plus concentré en énergie métabolisable (BF). Ceci permet de limiter les refus chez les animaux recevant les aliments MF et HF. Le niveau est ajusté chaque semaine après la pesée des animaux. Les aliments sont distribués automatiquement toutes les 4 heures en 6 repas identiques. L'eau est disponible à volonté. Les refus (si présents) ont été collectés et pesés quotidiennement.

1.2. Collectes des échantillons de digesta et des fèces

Environ 20 g de contenus digestifs duodénaux et iléaux sont prélevés à 8, 12 et 17 heures. Ces quantités représentent à chaque site moins de 0,1 % de l'ingéré, ce qui devrait limiter les perturbations de la digestion en aval du site de prélèvement. Les fèces sont prélevées en continu de 7h30 à 20h30. Immédiatement après prélèvement, les échantillons sont pesés et congelés à -20°C. Ils sont ensuite lyophilisés, broyés puis poolés par animal et par période et conservés à +4°C jusqu'aux analyses.

1.3. Analyses

Les analyses de laboratoire ont porté sur les aliments et sur les digesta (duodénaux et iléaux) et les fèces de chaque animal. Compte tenu de la faible quantité d'échantillons duodénaux et iléaux, seules les analyses les plus pertinentes en termes de digestion ont été effectuées sur ces échantillons. Les aliments ont été caractérisés le plus complètement possible (Tableau 1). Les teneurs en matière sèche (MS), matières minérales (MM) et matières azotées totales (MAT, Nx6,25) sont déterminées sur les digestas duodénaux, iléaux et les fèces selon les méthodes AOAC (1990). Une analyse préliminaire ayant montré que les fèces ne contenaient pas d'amidon, la teneur en amidon a été déterminée par méthode enzymatique (Thivend et al, 1965) uniquement dans les digesta iléaux. Les teneurs en matières grasses (MG) (AOAC, 1990) et en énergie brute (calorimètre adiabatique, IKA, Staufen) ont été mesurées uniquement dans les fèces. Le dosage des parois végétales (NDF, ADF, ADL) est réalisé sur les régimes expérimentaux selon la méthode de Van Soest et al (1991). Le dosage des fibres totales (TDF) et insolubles

Version postprint

Comment citer ce document :
Wilfart, A., Montagne, L., Noblet, J., Van Milgen, J., Simmins, H., Debicki-Garnier, A.-M., Messager, B. (2006). La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc. In: 38. journées de la recherche porcine (p. 193-200). Presented at 38. Journées de la Recherche Porcine, Paris, FRA (2006-01-31 -

Tableau 1 - Composition centésimale et chimique des régimes expérimentaux

Régimes *	BF	MF	HF
Taux d'incorporation (%)			
Blé	41,05	31,23	21,40
Orge	41,05	31,23	21,40
Tourteau de soja	14,00	14,00	14,00
Son de blé	0,00	20,00	40,00
Huile de colza	0,70	0,35	0,00
Phosphate dicalcique	1,10	1,10	1,10
Carbonate de calcium	1,00	1,00	1,00
Vitamines et minéraux	0,50	0,50	0,50
TiO_2	0,30	0,30	0,30
Composition chimique (% de la matière sèche)			
Matières minérales	5,8	6,4	7,1
Matières azotées totales	17,5	18,5	19,6
Matières grasses	2,5	2,4	2,4
Amidon	52,1	45,4	38,2
NDF	14,6	18,8	23,8
ADF	3,4	4,5	5,8
ADL	0,3	0,5	0,9
Fibres totales	16,5	20,9	27,0
Fibres insolubles	13,2	18,6	22,9
Fibres solubles	3,33	2,3	4,1
Energie brute (MJ/kg MS)	18,2	18,2	18,4
Valeur nutritionnelle**			
Lysine, %	0,7	0,7	0,8
Energie digestible, MJ/kg	13,2	12,4	11,5
Energie métabolisable, MJ/kg	12,7	11,8	10,9
Energie nette, MJ/kg	9,6	8,7	7,9

** BF : régime à faible teneur en fibres, MF : régime avec une teneur moyenne en fibres, HF : régime à haute teneur en fibres.*
*** A partir des données des tables INRA & AFZ (Sauvant et al. 2004)*

dans les régimes, les digesta iléaux et les fèces est réalisé selon la méthode de Prosky et al (1992). Les teneurs en fibres solubles sont calculées par différence entre fibres totales et fibres insolubles. La concentration en TiO_2 dans les régimes, les digesta et les fèces est déterminée par dosage colorimétrique (Njaa, 1961).

1.4. Calculs et analyses statistiques

La digestion d'un composant alimentaire ou d'un nutriment Z est abordée par le calcul de son coefficient d'utilisation digestive apparente (CUD) à la fin de chaque segment étudié et par la notion de flux de chaque constituant transitant le long du tube digestif, ce qui permet de mieux quantifier l'amplitude des phénomènes digestifs de type sécrétion et absorption, et des quantités relatives de nutriments circulants. Les CUD bouche-segment digestif (duodénal, iléal et fécal) ont été calculés à partir de l'équation suivante :

$$CUD_{segment,Z} = [1-([Z]_{segment} \times [TiO_2]_{aliment})/([Z]_{aliment} \times [TiO_2]_{segment})] \times 100$$

Z étant le constituant ou nutriment considéré (MS, MO, MM, MAT, MG, amidon, EB), segment la partie du tube digestif étudié (bouche-duodénum, bouche-iléon ou bouche-gros intestin). Les flux sont exprimés relativement aux quantités de MS et de constituants ou nutriments ingérées et relativement aux quantités qui entrent dans chaque organe (flux intra organe). Les digestibilités dans l'intestin grêle et dans le gros intestin ont été également calculées.

Les données sont analysées par analyse de variance selon la procédure GLM de SAS pour tester les effets période, animal et régime. Lorsque l'effet global est significatif, les moyennes sont ajustées par rapport à l'effet régime et comparées 2 à 2 par un test de Student. Les valeurs présentées sont des moyennes ajustées.

Version postprint

Comment citer ce document :
Wilfart, A., Montagne, L., Noblet, J., Van Milgen, J., Simmins, H., Debicki-Garnier, A.-M., Messager, B. (2006). La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc. In: 38. journées de la recherche porcine (p. 193-200). Presented at 38. Journées de la Recherche Porcine, Paris, FRA (2006-01-31 -

2. RÉSULTATS

2.1. Performances zootechniques

Les animaux ont des poids vifs similaires au moment de la mise en lot (32 kg en moyenne). Au cours de chaque période expérimentale, le régime alimentaire n'a pas eu d'effet significatif sur les performances des animaux. Après les périodes 1, 2 et 3, le poids vif moyen a été respectivement de 38, 48 et 59 kg correspondant à des gains de poids vif journaliers de 757, 686 et 606 g.

2.2. Digestibilité apparente et flux des constituants alimentaires

Globalement et en toute logique, les CUD de quasiment tous les constituants alimentaires augmentent le long du tube digestif après leur passage au niveau du duodénum (Tableau 2). De même, les flux de constituants alimentaires diminuent dans les compartiments digestifs après le passage dans l'estomac (Tableau 3). Quelque soit l'unité ou le mode d'expression, l'augmentation de la teneur en fibres se traduit par une augmentation des flux de nutriments (matières minérales, matières azotées) et de MS ou MO et une diminution des CUD et ce quelque soit le site digestif.

Pour tous les régimes, la digestibilité des matières minérales est négative après l'estomac (-77,8 % pour le régime HF), suggérant des sécrétions importantes de minéraux en amont du duodénum (salive, estomac). Le CUD augmente mais reste négatif jusqu'à la fin de l'intestin grêle (-16,6 % pour HF) et devient positif au niveau fécal. Ces phénomènes de sécrétions endogènes et d'absorption sont significativement affectés par la présence des fibres. Ainsi les CUD fécaux de

Tableau 2 - Effet de l'enrichissement en fibres sur les coefficients d'utilisation digestive apparente (%) des nutriments, de la matière organique, de la matière sèche et de l'énergie à la sortie de l'estomac (duodénum, D), de l'intestin grêle (I) et du gros intestin (F) et dans l'intestin grêle (D-I) et le gros intestin (I-F)

Nutriment	Compartiment digestif	Régime			ETR**	Probabilités		
		BF*	MF*	HF*		Période	Porc	Régime
Matières minérales	D	-77,3	-75,3	-77,8	22,1	0,50	0,04	0,98
	I	-11,6	-14,0	-16,6	11,4	0,46	0,29	0,79
	F	34,9a	22,8b	17,5b	3,6	0,35	0,01	<0,01
	D-I	37,2	33,9	30,7	4,8	0,03	0,53	0,88
	I-F	41,3a	32,1ab	28,1b	5,8	0,10	0,16	<0,01
Matières azotées	D	-4,9	-10,6	-18,1	12,9	0,68	0,24	0,33
	I	63,2	62,0	60,8	5,9	0,08	0,32	0,81
	F	83,0a	77,6b	72,8c	2,8	0,34	0,21	<0,01
	D-I	65,1	65,3	66,6	9,7	0,19	0,11	0,59
	I-F	53,7a	40,2b	30,3c	5,2	0,92	0,08	0,01
Fibres totales	I	-33,1a	-28,9a	-12,4c	9,2	0,70	0,25	0,02
	F	28,0	24,7	24,1	3,5	0,05	<0,02	0,20
Amidon	I	98,9	98,7	98,3	0,5	0,55	0,39	0,23
Matières grasses	F	59,1a	45,7b	33,6c	5,1	0,71	0,30	<0,01
Matière organique	D	1,1a	-10,4b	-17,4b	4,8	0,01	0,06	<0,01
	I	55,8a	50,5b	47,3b	3,2	<0,01	0,03	0,01
	F	82,2a	75,3b	69,2c	1,5	0,23	0,01	<0,01
	D-I	55,1	54,8	55,5	2,7	<0,01	<0,01	0,9
	I-F	59,5a	49,6b	41,1c	3,5	<0,01	0,07	<0,01
Matière sèche	D	-3,4a	-14,6b	-21,8b	4,8	0,01	0,07	<0,01
	I	51,9a	46,3b	42,8b	3,2	<0,01	0,01	<0,01
	F	79,5a	71,9b	65,5c	1,4	0,19	<0,01	<0,01
	D-I	53,4	52,9	53,2,	1,9	<0,01	<0,01	0,9
	I-F	57,1a	47,2b	39,4c	3,2	<0,01	0,04	<0,01
Energie	F	79,9a	72,1b	65,9c	1,9	0,41	0,03	<0,01

** BF : régime à faible teneur en fibres, MF : régime avec une teneur moyenne en fibres, HF : régime à haute teneur en fibres.*
***Ecart type moyen résiduel ; les valeurs affectées d'une même lettre (ou sans lettre) ne sont pas différentes au seuil de 5%*

Version postprint

Messager, B. (2006). La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc. In: 38. journées de la recherche porcine (p. 193-200). Presented at 38. Journées de la Recherche Porcine, Paris, FRA (2006-01-31 -

matières minérales sont inférieurs chez les animaux recevant le régime HF, comparativement au régime BF (17,5 *vs* 34,9 % ; P<0,001). Les données de flux indiquent que l'accroissement des flux de matières minérales (+2,3 à +2,4 g/100 g de MS ingérée entre les aliments BF et HF selon les sites) avec l'augmentation de la teneur en fibres est très supérieur aux augmentations de teneurs en matières minérales dans les aliments (+1,3 g entre HF et BF), ce qui suggère un effet propre des fibres alimentaires sur les sécrétions endogènes de matières minérales. Les aliments BF et HF différant d'environ 10 g de fibres totales, les sécrétions peuvent être chiffrées à 1 g par 100 g de MS ingérée, soit 0,1 g par g de fibres supplémentaires.

Les CUD des matières azotées totales sont négatifs dans le duodénum pour tous les régimes, suggérant un apport de

Tableau 3 - Effet de l'enrichissement en fibres sur les flux de nutriments, de matière organique et de matière sèche à la sortie de l'estomac (duodénum, D), de l'intestin grêle (I) et du gros intestin (F)

Nutriment	Compartiment digestif	Régime			ETR**	Probabilités		
		BF*	MF*	HF*		Période	Porc	Régime
Flux de nutriments en g pour 100 g de MS ingérée								
Matières minérales	D	10,2a	11,2ab	12,6b	1,6	0,47	0,05	0,12
	I	6,4	7,3	8,3	0,8	0,55	0,33	0,01
	F	3,7a	4,9b	5,8c	0,2	0,54	0,01	<0,01
Matières azotées totales	D	18,3a	20,5ab	23,1b	2,5	0,65	0,24	0,04
	I	6,4	7,0	7,7	1,1	0,09	0,33	0,25
	F	3,0a	4,1b	5,3c	0,5	0,34	0,22	<0,01
Matières grasses	F	1,0a	1,3b	1,6c	0,1	0,71	0,30	<0,01
Fibres totales	I	22,0a	28,3b	30,2b	1,8	0,28	0,65	<0,01
	F	11,9a	16,6b	20,4c	0,9	0,16	<0,01	<0,01
Matière organique	D	93,2a	103,3b	109,2b	4,5	0,01	0,06	<0,01
	I	41,7a	46,4b	48,9b	3,0	<0,01	0,03	0,01
	F	16,7a	23,1b	28,7c	1,4	0,22	0,01	<0,01
Matière sèche	D	103,4a	114,6b	121,8b	4,8	0,01	0,04	<0,01
	I	48,1a	53,7b	57,2b	3,3	<0,01	0,02	<0,01
	F	20,5a	28,1b	34,5c	1,4	0,19	<0,01	<0,01
Flux de nutriments en g pour 100 g de nutriments ingérés								
Matières minérales	D	177,3	175,3	177,8	22,1	0,50	0,04	0,98
	I	111,6	114,0	116,6	11,4	0,46	0,29	0,79
	F	65,1a	77,2b	82,5b	3,6	0,35	0,01	<0,01
Matières azotées totales	D	105,0	110,1	118,1	12,9	0,68	0,24	0,33
	I	36,8	38,0	39,2	5,9	0,08	0,31	0,81
	F	17,0a	22,4b	27,2c	2,8	0,34	0,22	<0,01
Matières grasses	F	31,3a	42,2b	51,2c	3,9	0,70	0,31	<0,01
Fibres totales	I	133,1a	128,9a	112,4b	9,2	0,70	0,24	0,02
	F	72,1	75,3	75,9	3,5	0,05	<0,01	0,20
Matière organique	D	98,9a	110,4b	117,5b	4,8	0,01	0,06	<0,01
	I	44,2a	49,6b	52,7b	3,2	<0,01	0,03	0,01
	F	17,8a	24,7b	30,8c	1,5	0,23	0,01	<0,01
Matière sèche	D	103,4a	114,6b	121,8b	4,8	0,01	0,04	<0,01
	I	48,1a	53,7b	57,2b	3,3	<0,01	0,02	<0,01
	F	20,5a	28,1b	34,5c	1,4	0,19	<0,01	<0,01

** BF : régime à faible teneur en fibres, MF : régime avec une teneur moyenne en fibres, HF : régime à haute teneur en fibres.*

***Ecart type moyen résiduel*

Les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5%

Wilfart, A., Montagne, L., Noblet, J., Van Milgen, J., Simmins, H., Debicki-Garnier, A.-M., Messager, B. (2006). La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc. In: 38. journées de la recherche porcine (p. 193-200). Presented at 38. Journées de la Recherche Porcine, Paris, FRA (2006-01-31 -

Version postprint

MAT endogènes en amont du duodénum. Les CUD des matières azotées totales sont positifs aux niveaux iléal et fécal et voisins de respectivement 60 et 78 %. Seul le CUD fécal est affecté par la teneur en fibres de l'aliment avec des valeurs d'autant plus faibles que l'aliment est riche en fibres. Le CUD duodénal est réduit avec l'enrichissement en fibres mais cet effet n'est pas significatif en raison d'une variabilité élevée. Le flux de matières azotées au niveau duodénal, supérieur à la quantité de matières azotées ingérées, confirme ces sécrétions endogènes. Il montre également que l'augmentation du flux duodénal de MAT avec la teneur en fibres est plus importante que l'augmentation de la teneur en MAT dans l'aliment (+4,8 *vs* +2,1 g par 100 g de MS ingérée entre les régimes BF et HF). Cet effet est atténué au niveau iléal (+1,3 g) et, dans une moindre mesure, au niveau fécal (+2,3 g). Il existe donc également un effet propre des fibres de l'aliment sur les sécrétions endogènes, du moins celles en amont du duodénum.

Au niveau des fibres totales, dosées uniquement au niveau iléal et fécal, on peut remarquer de façon surprenante des CUD négatifs au niveau iléal et, par voie de conséquence, un flux plus élevé que la quantité ingérée. Les CUD deviennent positifs au niveau fécal. Il existe également des effets de la teneur en fibres de l'aliment sur la digestibilité iléale de ces fibres. L'amidon, dosé uniquement dans les contenus digestifs iléaux est digéré à plus de 98 % à la fin de l'intestin grêle, indépendamment du régime considéré. Le CUD fécal des MG diminue quand la teneur en fibres alimentaires augmente (59,1 *vs* 33,6 % pour BF et HF ; P<0,001), traduisant une augmentation du flux de MG fécales avec l'enrichissement en fibres de l'aliment (+0,6 g par 100 g de MS ingérée entre BF et HF). De ces observations sur les nutriments, il résulte que la digestibilité de la matière organique ou de la MS est négative au niveau du duodénum, s'accroît le long du tube digestif et est réduite à tous les niveaux du tube digestif par l'enrichissement en fibres; il en est de même pour la digestibilité fécale de l'énergie.

3. DISCUSSION

L'approche par compartiment nous permet de suivre l'évolution de la digestion le long du tube digestif et non plus uniquement à la fin de l'iléon et dans les fèces. Ce qui permet de rendre compte de l'importance de chacun des segments digestifs dans les phénomènes d'absorption et de sécrétion.

Dans le duodénum, la digestibilité des matières minérales et des matières azotées totales est particulièrement négative. Cela traduit un apport endogène d'origines salivaire, gastrique et pancréatique de protéines (mucines, enzymes et protéines tissulaires) et d'électrolytes (sodium, potassium, chlorures et bicarbonates). Pour les matières azotées totales, la digestibilité redevient très positive à la fin de l'iléon suggérant que les quantités totales absorbées dans l'intestin grêle sont supérieures à celles sécrétées dans l'estomac et l'intestin grêle. En ce qui concerne les minéraux, la digestibilité ne redevient positive que dans les fèces. L'étude des flux montre cependant que l'absorption des matières minérales présentes au début du duodénum a lieu à la fois dans l'intestin grêle (environ 60 %) et le gros intestin (environ 40 %). Notre étude ne permet pas de préciser les sites d'absorption des différents minéraux. L'introduction de fibres dans l'aliment diminue la digestibilité apparente de tous les constituants à tous les sites de prélèvements. Une plus faible digestibilité apparente peut s'expliquer par une augmentation des sécrétions endogènes et/ou une diminution de l'hydrolyse et de l'absorption des constituants alimentaires. Dans le duodénum, pour les matières minérales et azotées, compte tenu de l'absence d'absorption stomacale, la comparaison entre quantités transitant et ingérée donne une estimation des quantités sécrétées. Pour le régime HF, par exemple, les animaux ingèrent 7,05 g de minéraux/100 g de MS alors que le flux de matières minérales au niveau du duodénum est de 12,6 g, soit une sécrétion de matières minérales endogènes de 5,55 g (tableau 3). Si l'on rapporte ces résultats à la MS endogène (21,8 g pour 100 g de MS ingérée), les minéraux représenteraient 25 % de la MS d'origine endogène alors que les MAT en représenteraient 16 %. Ces résultats interpellent et montrent les limites de la méthodologie (voir plus loin) car il est difficile d'expliquer quels autres composants peuvent compléter les minéraux et la MAT dans la composition de la MS endogène. Plus l'aliment est riche en fibres, plus le volume de chyme est important de par la capacité de rétention d'eau de ces dernières (Low, 1989). L'augmentation du volume d'eau stimulerait la sécrétion de sodium et de potassium afin d'équilibrer les concentrations ioniques de part et d'autre de l'épithélium digestif (Partridge, 1978). De plus, l'acidité du chyme sortant de l'estomac étant neutralisée par les sécrétions biliaires et pancréatiques, une augmentation des sécrétions gastriques se traduit aussi par un accroissement des sécrétions pancréatique et biliaire. De plus, l'augmentation du volume des digesta suite à une ingestion de fibres augmente l'effet abrasif du chyme sur la muqueuse intestinale (Moeser et Kempen, 2002), accroissant les pertes de protéines des mucines et des cellules épithéliales. Ces phénomènes expliquent l'effet des fibres sur les sécrétions de matières minérales et azotées duodénales.

Dans l'iléon, il y a une diminution de flux de MAT, de MM et de MO et une augmentation de CUD entre le duodénum et l'iléon. Cependant, un accroissement de 1 g de fibres dans l'aliment augmente le flux total de matière organique de 690 mg, des MAT de 130 mg et de MM de 190 mg. Ces résultats mettent en évidence que les fibres diminuent l'efficacité de l'hydrolyse des constituants alimentaires et de l'absorption des nutriments (diminution du CUD iléal entre BF et HF), ce qui augmente les flux. Ces résultats vont dans le sens de ceux de Shi et Noblet (1993). Cet accroissement résulterait de l'augmentation de la vitesse de transit le long du tube digestif (Jorgensen et al, 1996) et de l'encombrement stérique causé par les fibres.

La digestibilité fécale des minéraux, des matières azotées, des matières grasses, de la matière organique est aussi diminuée quand la teneur en fibres alimentaires augmente en accord avec les résultats de Noblet et Pérez (1993) et Le Goff et Noblet (2001). Cette diminution est, d'une part, la conséquence de tous les phénomènes précédents et, d'autre part, il est probable que les fibres entraînent des phénomènes de fermentations accrues conduisant à une augmentation de la masse bactérienne et des excrétions fécales plus

Version postprint

Comment citer ce document :
Wilfart, A., Montagne, L., Noblet, J., Van Milgen, J., Simmins, H., Debicki-Garnier, A.-M., Messager, B. (2006). La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc. In: 38. journées de la recherche porcine (p. 193-200). Presented at 38. Journées de la Recherche Porcine, Paris, FRA (2006-01-31 -

élevées de matières azotées et, dans une moindre mesure, de matières grasses. Ce phénomène est un facteur additionnel permettant d'expliquer l'effet des fibres sur la diminution de la digestibilité apparente.

D'un point de vue méthodologique, l'utilisation de la double cannulation et de l'administration d'un aliment marqué au TiO_2 permet d'avoir une bonne vision des phénomènes digestifs se déroulant dans les différents organes. L'importante variabilité des résultats (ETR élevés), notamment pour les minéraux dans le duodénum et l'iléon, peut constituer un facteur limitant de la méthode. Nous retrouvons là une des critiques majeures de ce genre d'études. L'emploi de canules peut-être critiqué en raison de la faible quantité de digesta prélevée et donc de la non représentativité des échantillons. Il en est de même pour la répartition homogène du marqueur dans les digesta. De la même façon, le résultat du calcul de la composition chimique de la MS endogène au niveau duodénal (les matières minérales et les matières azotées ne représenteraient que 50 % de la totalité de l'endogène) conduit à avoir des doutes sur la fiabilité et de la représentativité de l'échantillonnage (ou l'homéostasie) au niveau duodénal. Les teneurs en matières minérales (sur MS) du contenu duodénal sont variables d'un animal à l'autre (de 7 à 13 %) mais corrélées à la teneur en MAT. Au-delà des erreurs sur la mesure de la teneur en titane liées à l'échantillonnage, ceci laisse penser que nous n'avons pas échantillonné la même quantité ou proportion d'endogène d'un animal à l'autre et ce en relation avec la pulsatilité des secrétions endogènes. Le cas particulier de la digestibilité négative des parois végétales à la fin de l'iléon amène aussi à se poser des questions touchant à la fois aux techniques de prélèvement et aux méthodes d'analyses (du marqueur en particulier). Des études complémentaires seront menées pour résoudre ce résultat surprenant et peu vraisemblable.

CONCLUSION

La présente étude conduite avec une méthodologie assez lourde permet de caractériser les sites de digestion des principaux nutriments et met en évidence que les fibres alimentaires présentes dans l'aliment affectent la digestibilité des autres nutriments en stimulant notamment les sécrétions endogènes et ce en amont du duodénum. La méthode de double cannulation est un bon moyen pour appréhender les phénomènes digestifs sur l'ensemble du tube digestif en séparant différents segments sur un même animal.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient CEVA nutrition animale pour sa participation financière.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis (15 Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. D. Sauvant, J.-M. Pérez, G. Tran (eds), Seconde Edition révisée, INRA, Paris, 301 pp.
- Jorgensen H., Zaho X.Q., Eggum B., 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. Br. J. Nutr., 75, 365-378.
- Lahaye L., Ganier P., Thibault J., Seve B., 2004. Technological processes of feed manufacturing affect protein endogenous losses and amino acid availability for body protein deposition in pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 113, 141-156.
- Le Goff G. ,Noblet J., 2001. Comparative digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. J. Anim. Sci., 79, 2418-2427.
- Low A.G., 1989. Secretory response of the pig gut to non-starch polysaccharides. Anim. Feed Sci. Technol., 23, 55-65.
- Moeser A. ,Kempen T., 2002. Dietary fibre level and enzyme inclusion affect nutrient digestibility and excreta characteristics in grower pigs. J. Sci. Food Agric., 82, 1606-1613.
- Njaa L.R., 1961. Determination of protein digestibility with titanium dioxide as indicator substance. Acta Agric. Scand., 11, 227-241.
- Noblet J., Perez J.M., 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. J. Anim. Sci., 71, 3389-3398.
- Noblet J., Shi X.S., 1994. Effet of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. Livest. Prod. Sci., 37, 323-338.
- Partridge I.G., 1978. Studies on digestion and absorption in the intestines of growing pigs 3. Studies of mineral nutrients in the digestive tract. Br. J. Nutr., 39, 537-
- Prosky L., Asp N.G., Schweizer T.F., Devries J.W., Furda I., 1992. Determination of Insoluble and Soluble Dietary Fiber in Foods and Food-Products - Collaborative Study. Journal of AOAC International, 75, 360-367.
- Sauer W., Jorgensen H., Berzins R., 1983. A modified nylon bag technique for determining apparent digestibilities of protein in feedstuffs for pigs. Can. J. Anim. Sci., 63, 233-237.
- Shi X.S. ,Noblet J., 1993. Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: effect of diet composition. Livest. Prod. Sci., 34, 237-252.
- Skiba F., Noblet J., Callu P., Evrard J., Melcion J., 2002. Influence ddu type de broyage et de la granulation sur la valeur énergétique de la graine de colza chez le porc en croissance. Journées Rech. Porcine, 34, 67-73.
- Souffrant W., 2001. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. Anim. Feed Sci. Technol., 90, 93-102.
- Thivend P., Mercier C., Guilbot A., 1965. Dosage de l'amidon dans les milieux complexes. Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys., 5, 513-526.
- Van Soest P.J., Robertson J., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy. Sci., 74, 3583-3597.
- Zebrowska H., 1988. Digestion of starch and fibre of cereal feeds in different sections of the digestive tract of the pig. Animal Science Papers and Reports - Polish Academy of Sciences, Institute of Genetics and Animal Breeding, Jastrzebiec.

Version postprint

Willart, A., Montagne, L., Noblet, J., Van Milgen, J., Simmins, P.H., Dubleki Garnier, A. M., Messager, B. (2006). La teneur en fibres alimentaires affecte la digestibilité des nutriments dans tous les segments du tube digestif chez le porc. In: 38. journées de la recherche porcine (p. 193-200). Presented at 38. Journées de la Recherche Porcine, Paris, FRA (2006-01-31 -