

# Effets du niveau et de l'origine botanique des parois végétales sur l'utilisation digestive de l'aliment et le transit des digesta chez le porc en croissance et la truie adulte

Gwénola LE GOFF, Jaap VAN MILGEN, Jean NOBLET

Institut National de la Recherche Agronomique  
Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 St Gilles

Avec la collaboration technique de P. BODINIER, J. DELANOE, Sandrine HILLION, Yolande JAGUELIN, Y. LEBRETON, F. LEGOUEVEC, A. ROGER, J.F. ROUAULT, R. VILBOUX

## Effets du niveau et de l'origine botanique des parois végétales sur l'utilisation digestive de l'aliment et le transit des digesta chez le porc en croissance et la truie adulte

Les effets du taux d'incorporation et de l'origine botanique des parois végétales sur l'utilisation digestive des nutriments et de l'énergie et sur le temps de rétention moyen des digesta (TRM) sont étudiés sur des porcs en croissance (35 kg) et en finition (75 kg) et sur des truies adultes (250 kg). Pour cela, quatre régimes sont comparés : un régime témoin (T) à faible teneur en parois végétales (10%) et trois régimes enrichis en parois végétales (20%) où une fraction du régime T est remplacée par des drèches de maïs (DM), du son de blé (SB) ou des pulpes de betterave (PB). Le coefficient de digestibilité de l'énergie diminue de 2, 6 et 8 points en moyenne pour les régimes PB, DM et SB, respectivement, par rapport au régime T. L'utilisation digestive de l'énergie des régimes est améliorée entre le stade croissance (82%), finition (85%) et adulte (86%), la différence entre stades étant la plus prononcée avec le régime DM. Les parois végétales exercent un effet accélérateur sur le transit, le TRM des régimes PB, DM, et SB (53, 48, et 45 h, respectivement) étant inférieur à celui du régime T (56 h). Le TRM est plus élevé chez les truies (81 h, en moyenne) que chez les porcs en finition (37 h) ou en croissance (33 h). Les résultats suggèrent que la prolongation du TRM favorise l'utilisation des parois végétales et par conséquent contribue à améliorer l'utilisation digestive de l'énergie lorsque le poids vif augmente, mais de façon variable selon l'origine botanique des parois végétales.

## Effects of level and botanical origin of dietary fibre on digestive utilisation and rate of passage of digesta in growing pigs, finishing pigs and adult sows

The effects of level and origin of dietary fibre (DF) on digestive utilisation of energy and nutrients of diets and mean retention time of digesta (MRT) were studied in growing pigs (35 kg), finishing pigs (75 kg) and adult sows (250 kg). Four experimental diets were prepared : a low DF (10%) control (C) diet and three DF-rich (20%) diets which corresponded to a combination of diet C and maize bran (MB), wheat bran (diet WB), or sugar beet pulp (diet BP). The digestibility coefficient of energy decreased by 2, 6 and 8 points for diets BP, MB and WB, respectively, when compared to diet C. The digestibility of dietary energy increased from the growing stage (82%) to the finishing stage (85%) and was still higher in adult sows (86%) ; the difference between pig stages was more pronounced for diet MB. Dietary fibre accelerated the transit since the MRT was shorter for diets MB, WB and BP (53, 48, et 45 h, respectively) than for diet C (56 h). Sows had a longer MRT (81 h, on average) than finishing pigs (37 h) and growing pigs (33 h). It is concluded that a prolonged MRT contributes to improve dietary fibre utilisation and consequently the digestive utilisation of energy when body weight is increased, but at variable extents according to the botanical origin of dietary fibre.

## INTRODUCTION

La disponibilité de matières premières riches en parois végétales sur le marché, telles que les co-produits des industries de meunerie ou d'amidonnerie, favorise leur utilisation dans l'alimentation des porcs. Plusieurs études ont montré que l'introduction de parois végétales dans le régime provoque une diminution de l'utilisation digestive des nutriments et de l'énergie en relation notamment avec une moindre utilisation de la fraction parois végétales par le porc (FERNANDEZ et JØRGENSEN, 1986 ; CHABEAUTI et NOBLET, 1990). Cependant, la capacité du porc à utiliser les parois végétales est très variable. En particulier, elle s'améliore avec le poids vif de l'animal, cet effet étant le plus marqué lorsque des porcs en croissance sont comparés à des truies adultes (NOBLET et al, 1993 ; LE GOFF et NOBLET, 2001). De plus, l'amélioration ainsi observée dépend de l'origine botanique des parois végétales utilisées dans l'aliment (NOBLET et BACH KNUDSEN, 1997 ; NOBLET et LE GOFF, 2000). Plusieurs facteurs peuvent expliquer l'évolution de la capacité du porc à utiliser les parois végétales : capacité de la flore bactérienne, niveau alimentaire, temps de rétention des digesta. L'étude de ce dernier facteur a fait l'objet du présent travail. Dans ce contexte, l'effet de la teneur et de l'origine botanique des parois végétales (maïs, blé ou betterave) sur l'utilisation digestive de l'énergie et des nutriments ainsi que sur le temps de transit total des digesta a été déterminé chez des porcs à trois stades (croissance, finition et adulte).

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. Régimes expérimentaux

Les résultats présentés sont obtenus à partir de mesures réalisées sur quatre régimes expérimentaux. Le régime témoin

(régime T) est caractérisé par un faible taux de parois végétales (10% de fibres totales, TDF) et a été préparé à partir de blé et d'isolat de soja. Les trois autres régimes correspondent à une combinaison du régime T et de drèches de maïs (régime DM), de son de blé (régime SB), ou de pulpe de betterave (régime PB) et ont été formulés de façon à ce que leur teneur en parois végétales soit similaire (20% de TDF). Le niveau d'incorporation des matières premières ainsi que la composition chimique moyenne des quatre régimes expérimentaux sont présentés au tableau 1. En dehors des périodes expérimentales, les porcs en croissance recevaient un régime standard contenant 24,4% de blé, 25,0% d'orge, 16,0% de maïs, 23,0% de tourteau de soja, 5,0% de son de blé, 3,0% de mélasse de canne et un complément minéral et vitaminique.

### 1.2. Dispositif expérimental

#### 1.2.1. Essai 1 : porcs en croissance et en finition

Cinq portées de quatre mâles castrés Piétrain x (Large-White x Landrace) pesant 30 kg en début d'expérience ont été utilisées. Chaque animal a été utilisé lors de deux périodes expérimentales successives (i.e. périodes de croissance et de finition) à 28 jours d'intervalle. Au sein de chaque portée, un animal est attribué à l'un des quatre régimes ; les animaux ont reçu le même aliment lors des deux périodes expérimentales. Le niveau alimentaire est fixé à 90% de l'*ad libitum* et est augmenté progressivement au cours de l'étude. Les animaux sont accoutumés à la cage et au régime expérimental pendant 11 jours suivis d'une période de collecte totale des fèces pendant 10 jours. Durant les 6 premiers jours de la collecte, les fèces sont recueillies quotidiennement et regroupées en fin de période expérimentale pour la détermination de la digestibilité de l'aliment. La mesure du temps de transit total se déroule lors des 4 derniers jours de la période de collecte.

**Tableau 1** - Compositions centésimale et chimique des régimes expérimentaux

Régimes (1)	T	DM	SB	PB
<b>Composition centésimale, %</b>				
Blé	89,90	68,09	64,77	76,24
Isolat de soja	6,85	5,19	4,93	5,81
Drèches de maïs	-	23,47	-	-
Son de blé	-	-	27,05	-
Pulpe de betterave	-	-	-	14,70
Phosphate bicalcique	1,20	1,20	1,20	1,20
Carbonate de calcium	1,10	1,10	1,10	1,10
Sel	0,45	0,45	0,45	0,45
CMV	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Composition chimique, % de la matière sèche</b>				
Matières minérales	4,9	5,1	6,0	5,8
Matières azotées	17,1	16,8	17,0	16,0
Matières grasses	1,6	2,3	2,3	1,5
Cellulose brute	2,7	4,6	4,6	5,1
NDF	10,7	19,7	19,6	15,8
TDF	10,3	19,7	19,7	18,3
Amidon	59,6	51,6	48,1	54,1
Sucres	2,8	2,2	3,9	3,0
<b>Énergie brute, MJ/kg de matière sèche</b>	<b>17,97</b>	<b>18,19</b>	<b>18,04</b>	<b>17,71</b>

(1) T : régime témoin ; DM : régime drèches de maïs ; SB : régime son de blé ; PB : régime pulpe de betterave ; NDF : neutral detergent fibre ; TDF : total dietary fibre.

### 1.2.2. Essai 2 : truies adultes

Quatre truies ovariectomisées Large-White x Landrace et pesant en moyenne 250 kg ont reçu les quatre régimes expérimentaux selon un dispositif en carré latin 4 x 4, chaque truie recevant successivement l'un des quatre régimes. Le niveau alimentaire est maintenu à 2,4 kg d'aliment par jour. Pendant chaque période expérimentale, les truies sont adaptées au régime expérimental pendant 11 jours avant la période de collecte totale des fèces qui se déroule sur 10 jours. Les 7 premiers jours de la période de collecte sont consacrés à la mesure du transit total et les trois derniers jours à la collecte quotidienne des fèces pour la détermination de la digestibilité de l'aliment.

### 1.3. Mesures sur animaux

Tous les animaux ont reçu leur aliment en 2 repas par jour (8h00 et 16h00) sous forme de farine humidifiée (après broyage sur grille de 2,5 mm). Les animaux sont pesés au début et à la fin de la période de collecte des fèces. Lors des mesures de digestibilité, les fèces sont recueillies quotidiennement, conservées à +4°C et pesées et homogénéisées à la fin de la période expérimentale. Deux échantillons de fèces sont constitués, l'un servant à la détermination de la matière sèche excrétée et l'autre étant lyophilisé pour les analyses de laboratoire. La quantité d'aliment ingérée pendant la période de collecte est mesurée quotidiennement. Des échantillons de chaque régime sont prélevés chaque jour et cumulés sur la période expérimentale (repas fictifs) pour la détermination de la teneur en matière sèche et pour les analyses de laboratoire.

Lors de la mesure du transit total, le premier repas de la période (8h00) est marqué par 1 g d'oxyde d'ytterbium ( $Yb_2O_3$ ) incorporé directement dans l'aliment. Ensuite, le même aliment, non marqué, est distribué en 2 repas par jour jusqu'à la fin de l'expérience, de la même façon que pour les mesures de digestibilité. Les fèces sont collectées en totalité 3, 5, 8, 11, 14, 19, 24, 27, 29, 32, 35, 38, 43, 48, 51, 56, 62, 72, 75, 80, 86 et 96 heures après la distribution du repas marqué dans l'essai 1 et 6, 11, 24, 30, 35, 48, 54, 61, 72, 78, 83, 96, 107, 120, 131, 144, 155 et 168 heures après la distribution du repas marqué dans l'essai 2. Un échantillon de fèces est également prélevé sur chaque animal avant la distribution du repas marqué pour la détermination du niveau zéro de marqueur dans les échantillons. Chaque échantillon est pesé au moment de la collecte, séché (48h à 105°C), broyé (sur grille de 2,5 mm), puis conservé à + 4°C.

### 1.4. Analyses de laboratoires

D'une part, les analyses de laboratoire ont porté sur les régimes expérimentaux et les fèces récoltées sur chaque porc pour la détermination de la digestibilité des aliments. Les dosages (matière sèche, matières minérales, azote, énergie, cellulose brute, NDF, amidon, sucres) sont effectués selon des méthodes décrites précédemment (LE GOFF et NOBLET, 2001). La teneur en fibres totales (TDF) des régimes est également déterminée selon la méthode de PROSKY et al

(1988). D'autre part, chaque échantillon de fèces collecté pour la mesure du transit total est analysé pour la détermination de la quantité de marqueur (ytterbium) excrétée. D'abord, 0,5 g d'échantillon est minéralisé (550°C, 8h) après détermination de la teneur en matière sèche. Ensuite, les cendres sont reprises à chaud dans une solution d'acide nitrique (1,5N). La solution ainsi obtenue est analysée pour la détermination de sa teneur en ytterbium à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (VARIAN, 220 FS, Springvale, Australie). La quantité de marqueur excrétée lors de chaque intervalle de collecte correspond au produit de la concentration du marqueur et de la quantité de matière sèche excrétée lors de cet intervalle.

### 1.5. Calculs et analyses statistiques

Les coefficients de digestibilité ont été déterminés sur des périodes de 10 jours. Dans ce contexte, la matière sèche excrétée pendant les 10 jours de collecte correspond à la somme des matières sèches obtenues lors de la collecte cumulée pour la mesure de la digestibilité et des collectes par intervalles pour la mesure de transit. Il est supposé que la collecte effectuée lors de la mesure de la digestibilité de l'aliment (6 jours dans l'essai 1 et 3 jours dans l'essai 2) fournit un échantillon représentatif des 10 jours. Les coefficients de digestibilité de la matière organique, des nutriments et de l'énergie et les teneurs en ED ont été calculés selon les méthodes décrites précédemment (NOBLET et al, 1993).

Pour chaque porc, la quantité de marqueur collectée lors des intervalles successifs est cumulée. Les données ainsi obtenues ont été analysées selon le modèle proposé par POND et al (1986) pour la détermination des paramètres de transit :

$$M(t) = 0, \text{ pour } t \leq T_0 \text{ ou } M(t) = Q \{ 1 - [\exp(-2(t - T_0)/(TRM - T_0))] (1 + (2(t - T_0)/(TRM - T_0))) \} \text{ pour } t > T_0, \text{ où :}$$

$M(t)$  = quantité de marqueur excrétée au temps  $t$  (mg),  
 $Q$  = Quantité totale de marqueur excrétée (mg),  
 $t$  = temps écoulé entre le moment du marquage et la fin de l'intervalle de collecte (h),  
 $TRM$  = temps de rétention moyen des digesta (h),  
 $T_0$  = délai d'apparition du marqueur au niveau fécal (h).

La quantité totale de marqueur excrétée ( $Q$ ) a été rapportée à la quantité de marqueur introduite dans l'aliment lors du marquage, de façon à calculer le taux de récupération du marqueur (%).

Pour chaque animal, les paramètres de transit ont été estimés à l'aide de la procédure NLIN de SAS (1990). Ensuite, les données obtenues dans l'essai 1 (digestibilité de l'aliment et paramètres de transit) ont été traitées par analyse de variance en prenant en compte les effets de l'animal ( $n=20$ ), de la nature du régime ( $n=4$ ), du stade physiologique ( $n=2$ ) et de l'interaction entre la nature du régime et le stade physiologique. Les résultats obtenus dans l'essai 2 ont été soumis à une autre analyse de variance incluant les effets de l'animal ( $n=4$ ), de la nature du régime ( $n=4$ ) et de la période expérimentale ( $n=4$ ). Les analyses de variance ont été réalisées à l'aide de la procédure GLM de SAS (1990).

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Essai 1 : porcs en croissance et en finition (tableau 2)

Le dispositif permet de comparer l'utilisation digestive des quatre régimes expérimentaux chez des porcs en croissance (33 kg) et des porcs en finition (78 kg). Les résultats indiquent que, en moyenne pour ces quatre régimes, les coefficients de digestibilité de la matière organique, des matières azotées, des parois végétales (cellulose brute et NDF) et de l'énergie sont plus élevés ( $P < 0,01$ ) chez le porc en finition que chez le porc en croissance. En conséquence, la teneur en ED des régimes a augmenté en moyenne de 0,5 MJ/kg MS entre les deux stades. D'autre part, les coefficients de digestibilité de la matière organique, des matières azotées et de l'énergie varient selon la nature du régime au sein d'un même stade, avec des valeurs systématiquement supérieures pour le régime T. Parmi les régimes enrichis en parois végétales, les coefficients de digestibilité sont plus élevés pour le régime PB que pour les régimes DM et SB. Enfin, l'écart entre les coefficients de digestibilité de la matière organique, de l'énergie ou des parois végétales (NDF) mesurés au stade croissance et au stade finition est plus important pour les régimes DM et SB que pour les régimes T et PB, ce qui résulte d'une interaction ( $P < 0,05$ ) entre la nature du régime et le stade des animaux.

La mesure du temps de transit total sur animaux et la détermination des paramètres de transit se sont déroulées dans des conditions satisfaisantes. Le taux de récupération du marqueur au niveau fécal (92% en moyenne pour l'ensemble de la période de collecte) n'est pas influencé ( $P > 0,05$ ) par le stade des animaux ou par la nature du régime. Les données montrent que le temps de rétention moyen des digesta (TRM) est plus important ( $P < 0,01$ ) chez le porc en finition (37 h en moyenne pour les quatre régimes) que chez le porc en croissance (33 h). Cet écart est principalement expliqué par l'augmentation du délai d'apparition du marqueur au niveau fécal chez le porc en finition (25 h en moyenne vs 20 h chez le porc en croissance). Le TRM a également été influencé ( $P < 0,01$ ) par la nature du régime. En effet, le TRM est plus important pour les régimes PB et T que pour les régimes DM et SB, en relation avec une prolongation du délai d'apparition du marqueur.

### 2.2. Essai 2 : truies adultes (tableau 3)

La comparaison des résultats obtenus avec le régime T avec ceux des autres régimes montre clairement que l'utilisation digestive de la matière organique et de l'énergie décroît lorsque la teneur en parois végétales de l'aliment augmente. Toutefois, l'effet négatif des parois végétales est plus important pour le régime SB que pour les régimes DM et PB, en relation avec des variations d'utilisation digestive de la fraction parois végétales (cellulose brute ou NDF) de ces régimes.

Lors de la mesure du transit sur truies, en moyenne 89% du marqueur ont été récupérés. Les résultats montrent que les paramètres de transit ont été affectés par la nature du régime.

En effet, le TRM est plus élevé ( $P < 0,01$ ) chez les truies alimentées avec le régime T qu'avec les régimes à teneur plus élevée en parois végétales, en relation notamment avec un délai d'apparition du marqueur prolongé. Cependant, l'accélération du transit avec les régimes enrichis en parois végétales a été plus importante pour le régime SB que pour les régimes DM et PB. Enfin, il convient de noter que les paramètres de transit ont été très variables ( $P < 0,01$ ) entre les truies (TRM compris en 60 et 120 h, résultats individuels non présentés).

## 3. DISCUSSION

### 3.1. Effet du stade physiologique du porc sur l'utilisation digestive de l'énergie

L'étude a permis de déterminer les effets du poids vif (35, 80 et 250 kg) sur l'utilisation digestive de l'énergie chez le porc. Les résultats de l'essai 1 montrent clairement que l'utilisation digestive de l'énergie augmente entre le stade croissance et le stade finition. L'effet du poids vif est encore plus marqué lorsque ces résultats sont comparés à ceux obtenus sur truies adultes (essai 2). L'amélioration de l'utilisation digestive de l'énergie est expliquée principalement par une utilisation digestive accrue des parois végétales. Ces observations sont conformes aux résultats de la bibliographie (FERNANDEZ et al, 1986 ; NOBLET et al, 1993). Il en résulte que la teneur en ED des régimes de l'étude, en particulier celle des régimes enrichis en parois végétales, a augmenté avec le poids vif des animaux. Rejoignant les conclusions rapportées précédemment (NOBLET et al, 1993 ; LE GOFF et NOBLET, 2001), ces résultats suggèrent qu'en pratique, différentes valeurs énergétiques doivent être attribuées à un même aliment selon le stade physiologique de l'animal.

### 3.2. Effet du stade physiologique sur le temps de transit total des digesta

Les valeurs de temps de rétention moyen des digesta (TRM) obtenues dans notre étude sur les porcs de 35 et 80 kg et sur les truies adultes sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par respectivement POTKINS et al (1991), POND et al (1986) et HOLZGRAEFE et al (1985). Les résultats du présent travail mettent en évidence que le TRM et le délai d'apparition du marqueur au niveau fécal sont prolongés avec l'augmentation du poids vif, entre le stade croissance et le stade finition (essai 1) ou le stade adulte (essai 2). Cette observation est à relier à l'accroissement de la taille du tube digestif, en particulier celle du gros intestin (POND et al, 1986). Il faut ajouter que, chez les truies, le niveau alimentaire relatif plus faible que celui des porcs en croissance, contribue à l'augmentation du TRM (ROTH et KIRCHGESSNER, 1985).

### 3.3. Effet de l'origine botanique des parois végétales sur le temps de transit total

Aux différents stades physiologiques étudiés (essais 1 et 2), l'introduction de parois végétales provenant du maïs ou du blé (régimes DM et SB, respectivement) dans le régime T a induit une diminution du TRM. D'autre part, l'ajout de drèches de maïs ou de son de blé a provoqué une augmen-

**Tableau 2** - Effet de la composition chimique du régime et du stade de croissance sur l'utilisation digestive de l'énergie et des nutriments et sur le temps de transit des digesta chez le porc

Régimes (1)	Porc en croissance				Porc en finition				ETR	Effet (2)		
	T	DM	SB	PB	T	DM	SB	PB		R	S	RS
<b>Nombre d'observations</b>	5	5	5	5	6	5	5	5				
<b>Poids vif moyen, kg</b>	32,1c	33,2c	33,8c	33,8c	77,7b	77,5b	77,1b	80,3a	1,3	*	**	NS
<b>Matière sèche ingérée, g/j</b>	1262	1260	1269	1268	2135	2142	2142	2135	-	-	-	-
<b>Coefficients d'utilisation digestive, %</b>												
Matière sèche (MS)	87,7b	80,4e	79,1f	86,3c	89,3a	82,6d	81,0e	87,2b	0,5	**	**	*
Matière organique	89,6b	82,2f	81,4g	88,6c	91,4a	84,6d	83,7e	89,6b	0,4	**	**	*
Matières azotées	83,5b	79,3c	77,2d	79,9c	90,2a	85,1b	84,3b	84,9b	1,3	**	**	NS
Cellulose brute	41e	36f	21h	63b	47c	44d	29g	67a	2	**	**	NS
NDF	57c	46f	49e	64b	59c	54d	53d	70a	2	**	**	*
Energie	86,7b	79,6f	77,9g	85,5c	89,4a	82,5d	80,8e	87,2b	0,5	**	**	*
<b>Energie digestible, MJ/kg MS</b>	15,58b	14,48e	14,05f	15,15c	16,08a	15,00d	14,58e	15,44b	0,10	**	**	NS
<b>Matière sèche indigestible, g/j (3)</b>	160f	247d	265c	173f	228e	371b	407a	273c	11	**	**	**
<b>Transit des digesta (4)</b>												
Taux de récupération du marqueur, %	95,6	88,8	95,0	100,0	94,6	88,3	82,8	94,9	9,0	NS	NS	NS
Temps moyen de rétention, h	34,3bc	31,5c	32,1c	34,4bc	37,8b	34,3bc	34,2bc	42,1a	2,7	NS	**	NS
Délai d'apparition du marqueur, h	22,7ab	18,6c	18,4c	19,9bc	26,0a	24,7ab	24,6ab	26,4a	2,6	NS	**	NS

(1) Voir tableau 1 pour la signification des abréviations.

(2) A partir de l'analyse de variance incluant l'effet de l'animal (n=20), de la nature du régime (R, n=4), du stade physiologique des animaux (S, n=2) et de l'interaction entre la nature du régime et le stade physiologique (RS) ; ETR pour écart-type résiduel ; niveaux de signification : \*\* : P<0,01 ; \* : P<0,05 ; † : P<0,10 ; NS (non significatif) : P>0,10. Les mêmes animaux ont été utilisés aux stades croissance et finition et recevaient les mêmes régimes aux 2 stades. Sur une même ligne, des lettres différentes sont affectées aux valeurs lorsqu'elles sont significativement différentes (P<0,05). Pour des raisons pratiques, un animal supplémentaire a été attribué au régime T au stade finition ; les conditions expérimentales pour cet animal ont été les mêmes que pour les 20 autres animaux de l'essai.

(3) Correspond à la différence entre la quantité de matière sèche ingérée et la quantité de matière sèche digestible.

(4) Les paramètres de transit sont obtenus selon le modèle de POND et al. (1986) (voir texte).

**Tableau 3** - Effet de la composition chimique du régime sur l'utilisation digestive de l'énergie et des nutriments et sur le temps de transit des digesta chez la truie adulte

	Régimes (1)				ETR	Effet (2)
	T	DM	SB	PB		R
<b>Nombre d'observations</b>	4	4	4	4		
<b>Poids vif moyen, kg</b>	252	254	251	252	2	NS
<b>Matière sèche ingérée, g/j</b>	2106	2110	2116	2115	-	-
<b>Coefficients d'utilisation digestive, %</b>						
Matière sèche (MS)	88,5a	84,4c	81,9d	86,5b	1,0	**
Matière organique	91,6a	87,3c	85,2d	90,0b	0,9	**
Matières azotées	91,3a	85,1d	87,7b	87,0c	0,5	**
Cellulose brute	39c	55b	38c	67a	3	**
NDF	58b	64ab	58b	71a	4	**
Energie	89,6a	84,8c	82,5d	87,6b	0,8	**
<b>Energie digestible, MJ/kg MS</b>	16,10a	15,42b	14,89c	15,52b	0,15	**
<b>Matière sèche indigestible, g/j (3)</b>	241d	329b	383a	285c	22	**
<b>Mesure du transit des digesta (4)</b>						
Taux de récupération du marqueur, %	93,6a	85,2b	88,8a,b	88,4a,b	3,2	*
Temps moyen de rétention, h	95,0a	78,1b,c	68,6c	82,2b	6,0	**
Délai d'apparition du marqueur, h	75,9a	60,3b	54,7b	58,2b	6,6	*

(1) Voir tableau 1 pour la signification des abréviations.

(2) A partir de l'analyse de variance incluant l'effet de la nature du régime (R, n=4), de l'animal (n=4) et de la période (n=4) ; ETR pour écart-type résiduel ; niveaux de signification : \*\* : P<0,01 ; \* : P<0,05 ; NS (non significatif) : P>0,10. Sur une même ligne, des lettres différentes sont affectées aux valeurs lorsqu'elles sont significativement différentes (P<0,05).

(3) Correspond à la différence entre la quantité de matière sèche ingérée et la quantité de matière sèche digestible.

(4) Les paramètres de transit sont obtenus selon le modèle de POND et al. (1986) (voir texte).

tation importante de la quantité de matière indigestible présente dans le tube digestif (tableaux 2 et 3), exerçant ainsi un effet physique direct sur la paroi du tube digestif et favorisant, par conséquent, l'accélération du transit des digesta (FIORAMNOTI et BUENO, 1980). L'introduction de pulpe de betterave (régime PB) dans le régime T a eu des effets opposés selon le stade physiologique puisqu'elle a provoqué une prolongation du TRM chez le porc en finition et une diminution du TRM chez la truie adulte. Les données de la bibliographie, également contradictoires, suggèrent que les parois végétales de betterave peuvent freiner le transit en relation avec la capacité de rétention en eau importante de ce type de parois végétales ou, au contraire, accélérer le transit via leurs produits de dégradation, selon les conditions intrinsèques du tube digestif (POTKINS et al, 1991, SALVADOR et CHERBUT, 1992).

### 3.4. Effet de l'origine botanique des parois végétales sur l'utilisation digestive de l'énergie en interaction avec le stade physiologique du porc

L'interaction entre la nature du régime et le stade physiologique sur l'utilisation digestive de l'énergie, illustrée dans l'essai 1 et confirmée lors de la comparaison avec les résultats de l'essai 2, indique une différence entre stades plus importante pour le régime DM que pour les autres régimes. Ce résultat est principalement expliqué par une interaction entre la nature du régime et le stade physiologique pour l'utilisation digestive des parois végétales. Cette observation est en accord avec des résultats antérieurs obtenus sur différentes matières premières (NOBLET et BACH KNUDSEN, 1997; NOBLET et LE GOFF, 2000). Ces auteurs ont montré que l'utilisation digestive de la pulpe de betterave ou du son de blé est peu dépendante du poids vif du porc étant donné d'une part, que la pulpe de betterave est relativement bien utilisée à tous les stades physiologiques et, d'autre part, que le son de blé résiste à la dégradation dans le tube digestif de façon comparable chez les animaux jeunes ou adultes, indé-

pendamment du temps de rétention des digesta. Le cas plus spécifique des co-produits du maïs est également relaté par NOBLET et BACH KNUDSEN (1997) qui suggèrent une amélioration possible de l'utilisation des parois végétales de maïs via une augmentation du temps de transit. Nos résultats valident cette hypothèse puisqu'ils montrent que la prolongation du TRM (+47 h entre le stade croissance et le stade adulte) s'est accompagnée d'une amélioration de 18 points de l'utilisation digestive des parois végétales (NDF), et par conséquent de 5 points de l'utilisation digestive de l'énergie du régime DM. Cependant, l'effet de l'augmentation du TRM dépend de l'origine botanique des parois végétales puisqu'il est plus modéré pour les régimes PB et SB (+7 et +9 points d'utilisation digestive des parois végétales entre le stade croissance et le stade adulte, respectivement).

### CONCLUSION

Les résultats du présent travail ont montré que l'utilisation digestive de l'énergie et des nutriments, en particulier de la fraction parois végétales, est améliorée avec le poids vif du porc. En parallèle, le temps de rétention moyen des digesta augmente avec le poids vif. On peut donc suggérer que l'amélioration de l'utilisation digestive des parois végétales est en partie expliquée par une prolongation du temps de séjour des digesta, notamment dans le gros intestin. Cependant, l'amélioration de l'utilisation digestive est plus ou moins importante selon l'origine botanique des parois végétales. Nos résultats renforcent l'idée que, d'un point de vue pratique, la valeur énergétique des aliments, notamment pour les aliments riches en parois végétales, doit être adaptée au type de porc qui les consomme.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les partenaires du Groupement pour l'Encouragement à la Recherche en Nutrition Animale (GERNA) qui ont contribué, notamment par leur aide financière, aux travaux expérimentaux de la thèse de Gwénola Le Goff.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHABEAUTI E., NOBLET J., 1990. Journées Rech. Porcine en France, 22, 167-174.
- FERNANDEZ J.A., JØRGENSEN H., JUST A., 1986. Anim. Prod., 43, 127-132.
- FIORAMNOTI J., BUENO L., 1980. Br. J. Nutr., 43, 162
- HOLZGRAEFE D.P., FAHEY G.C., JENSEN A.H., 1985. J. Anim. Sci., 60, 1235-1246.
- LE GOFF G., NOBLET J., 2001. Journées Rech. Porcine en France, 33, 211-220.
- NOBLET, J., BACH KNUDSEN, K.E., 1997. In «Digestive physiology in pigs». 571-574.
- NOBLET J., LE GOFF G., 2000. Journées Rech. Porcine en France, 32, 177-183.
- NOBLET J., SHI X.S., KAREGE C., DUBOIS S., 1993. Journées Rech. Porcine en France, 25, 165-180.
- POND W.G., POND K.R., ELLIS W.C., MATIS J.H., 1986. J. Anim. Sci., 63, 1140-1149.
- POTKINS Z.V., LAWRENCE T.L.J., THOMLISON J.R., 1991. Br. J. Nutr., 65, 391-413.
- PROSKY L., ASP N.-G., SCHWEIZER T.F., DEVRIES J.W., FURDA I., 1988. J. Assoc. Off. Anal. Chem., 71, 1017-1023.
- ROTH F.X., KIRCHGESSNER M., 1985. Z. Tierphysiol. Tierernähr. u. Futtermittelkunde, 53, 254-264.
- SALVADOR V., CHERBUT C., 1992. Cah. Nutr. Diét., 27, 290-297.
- SAS, 1990. SAS/STAT, User's Guide (Release 6.07) SAS Inst. Inc. Cary, NC, USA.