

Valeur énergétique de la graine de lin chez le porc : impact de la technologie de cuisson-extrusion

Jean NOBLET (1), Yolande JAGUÉLIN-PEYRAUD (1), Benoît QUEMENEUR (2), Guillaume CHESNEAU (2)

*(1) INRA, UMR SENAH, 35590 Saint Gilles
(2) VALOREX, La Messayais, 35210 Combourtille*

*avec la collaboration technique à l'INRA de Anne Pasquier, Georges Guillemois, Francis Le Gouevéc,
Benoît Janson, Vincent Piedvache et Alain Chauvin.*

Jean.Noblet@rennes.inra.fr

Valeur énergétique de la graine de lin chez le porc : impact de la technologie de cuisson-extrusion

La graine de lin est utilisée dans l'alimentation du porc, en particulier en raison de sa richesse en acides gras oméga 3. Pour être introduite dans les aliments, elle est généralement extrudée et, compte tenu de sa richesse en lipides, en association avec des matières premières riches en amidon et/ou en parois végétales utilisées alors comme support (SU). L'essai de digestibilité conduit sur des porcs de 60 kg a alors eu pour objectif de mesurer la valeur énergétique et les coefficients de digestibilité de SU et de SU associé à de la graine de lin broyée ou extrudée ; deux procédés d'extrusion ont été appliqués. Les digestibilités de la graine de lin sont calculées à l'aide de la méthode par différence. Le coefficient de digestibilité de l'énergie de la graine de lin broyée (51 %) est très inférieur à celui des graines extrudées (76 % et 84 %). Cette moindre digestibilité est essentiellement liée à une faible digestibilité des matières grasses de la graine broyée (51 % vs 81 % et 90 % pour les graines extrudées). Exprimées relativement à la matière sèche, les teneurs en ED de la graine de lin broyée ou extrudée sont alors de 14,0 ou 21,0 et 23,1 MJ/kg chez le porc en croissance. Les valeurs EM et EN correspondantes ainsi que les valeurs énergétiques pour le porc adulte sont estimées. Les résultats mettent en évidence la nécessité d'un traitement thermique et/ou mécanique de la graine de lin afin que les matières grasses qu'elle contient soient disponibles pour le porc. Les différences entre les deux procédés de cuisson extrusion appliqués dans notre étude suggèrent d'optimiser le process pour que la disponibilité des matières grasses et ensuite la valeur énergétique soient maximales.

Energy value of linseed in pigs: impact of extrusion technology

Linseed is used in pig feeds, particularly as a source of omega 3 fatty acids. However, before inclusion in compound feeds, linseed is generally extruded in association with starch and/or fibre rich ingredients used as a support (SU) for absorbing fat. The objective of the digestibility trial conducted on 60 kg body weight pigs was to measure the energy value and digestibility of nutrients of SU and SU associated with either ground linseed or extruded linseed; two extrusion procedures were compared. Digestibility coefficients of linseed were calculated according to the difference method. Energy digestibility of ground linseed (50%) was considerably lower than after extrusion (76 and 84% for the two extrusion procedures). This lower digestibility in ground linseed was associated with a low digestibility of fat (51 vs 81 and 90% in extruded linseed). Consequently, the DE content of linseed for growing pigs averaged 14.0 or 21.0 and 23.1 MJ per kg of dry matter for ground or extruded linseed, respectively. Corresponding ME and NE values and energy values for adult pigs are proposed. Our study emphasizes the technical and economical interest of extrusion in order to maximize the availability of crude fat of linseed for pigs. The differences in digestibility coefficients between the two extrusion procedures suggest that the extrusion parameters must be optimized in order to maximize availability of fat and energy value of linseed.

INTRODUCTION

Dans le cadre de la diversification des sources de matières premières et surtout de la fourniture de matières grasses végétales riches en acides gras omega 3, l'usage de la graine de lin s'est développé dans l'alimentation du porc. Or cette matière première a été très peu étudiée pour ce qui concerne sa valeur nutritionnelle et en particulier sa valeur énergétique; ainsi, une valeur énergétique générique lui a été attribuée dans les Tables INRA & AFZ (Sauvant et al., 2004). L'objectif principal de l'étude est donc de contribuer à une meilleure connaissance de la valeur énergétique de la graine de lin pour le porc. Mais, pour être introduite dans les aliments, elle est généralement extrudée et, compte tenu de sa richesse en lipides, en association avec des matières premières riches en amidon et/ou en parois végétales utilisées alors comme support. En pratique, on a donc dû mesurer la valeur nutritionnelle, d'une part, du support seul et, d'autre part, du mélange support et graine de façon à calculer celle de la graine de lin par différence. Par ailleurs, nous avons souhaité quantifier l'effet de l'extrusion en mesurant la graine de lin broyée ou extrudée (selon deux «qualités» de cuisson-extrusion). En définitive, quatre produits ont été évalués : le support (SU), le support + la graine crue broyée (P1), le support + la graine cuite extrudée 1 (P2) et le support + la graine cuite extrudée 2 (P3).

1. MATERIELS ET METHODES

L'essai est réalisé selon un dispositif factoriel dont le principe retenu est d'incorporer dans un régime de base R1 (blé + tourteau de soja), 20 % de un des quatre produits à tester (R2 à R5) et chacun des cinq régimes ainsi préparé est distribué à 4 porcs. L'utilisation digestive de chaque produit est obtenue à l'aide de la méthode par différence avec des mesures sur le régime de

base et des mesures sur les régimes contenant une fraction du régime de base et l'un des produits à tester. La méthode par différence est également appliquée pour calculer, à partir des valeurs nutritionnelles calculées des quatre produits, celle de la graine de lin selon le procédé de préparation: broyage, extrusion 1 et extrusion 2. Les caractéristiques des matières premières et la composition centésimale et chimique des régimes sont rapportées dans respectivement les tableaux 1 et 2. Les régimes ont été préparés en farine au moulin expérimental de l'INRA de St-Gilles avec mesure de la teneur en matière sèche des différents ingrédients de façon à calculer les taux d'incorporation sur la base de la matière sèche. Les taux de matière sèche de la graine de lin et du support avant l'extrusion ont également été déterminés. Les quatre produits ont été fournis par la société Valorex ; ils ont été broyés à la grille de 3mm à la vitesse de 2800 tours par minute. Les deux variantes de cuisson-extrusion se caractérisent par une étape préalable de maturation (entre 10 et 20 minutes) et diffèrent par les durées et températures de maturation et d'extrusion, le niveau d'incorporation de vapeur et le montage des extrudeurs. A titre indicatif, les températures de maturation et d'extrusion étaient de 72°C et 140°C pour P2 et 47°C et 115°C pour P3. Le diagnostic qualitatif du procédé technologique est évalué à l'aide d'une méthode estimant la matière grasse disponible (adaptée de Serres L, 1993, Chimie-III-18) qui différencie significativement les procédés de traitement (Tableau 1). Le produit SU est un mélange 60/40 de son de blé et de tourteau de tournesol.

Chaque régime a été distribué à 4 porcs mâles castrés Piétrain * (Large White * Landrace) pesant 45-48 kg au début de l'expérience ; les animaux ont été répartis selon quatre blocs de 5 animaux comparables sur la base de leur poids vif et éventuellement de leur origine génétique (frères ou demi-frères). Les porcs ont été mis en cage de digestibilité et l'expérience a

Tableau 1 - Composition chimique des matières premières

Produit ²	Graine de lin	Support (SU)	SU + graine de lin broyée (P1)	SU + graine de lin extrudé 1 (P2)	SU + graine de lin extrudé 2 (P3)
Teneur en MS, %¹	90,85	87,82	89,84	93,16	93,30
Composition chimique, % MS					
Matières minérales	3,8	6,2	4,9	4,9	4,9
Matière organique	96,2	93,85	95,1	95,1	95,1
Matières azotées	22,7	23,4	22,5	21,8	22,5
Matières grasses sans hydrolyse	33,9	3,3	19,6	21,3	21,6
Matières grasses avec hydrolyse	43,7	4,3	21,7	21,7	22,4
Cellulose brute	8,0	19,0	17,1	14,7	14,4
NDF	20,3	44,2	33,6	31,0	31,0
ADF	8,3	13,1	12,1	12,0	12,5
ADL	3,4	4,2	4,3	4,1	4,1
TDF (Prosky)	36,0	47,0	41,3	38,9	34,4
Amidon Ewers	-	14,4	11,4	10,8	10,6
Amidon enzymatique	-	10,8	7,4	6,7	6,6
Sucres Totaux	2,9	6,4	4,7	5,2	5,2
Energie Brute (MJ/kg MS)	27,51	19,39	23,02	22,80	22,96
Disponibilité <i>in vitro</i> des matières grasses, %	-	-	35,2	80,1	64,9

¹ Au moment de la fabrication des aliments

² Le produit SU est un mélange 40/60 de tourteau de tournesol et de son de blé ; les produits P1, P2 et P3 sont des mélanges 50/50 de SU et de graine de lin.

Tableau 2 - Composition des régimes

	Régime				
	1	2	3	4	5
Composition centésimale, %					
Blé	82,75	65,64	65,64	65,64	65,64
Tourteau de Soja	14,00	11,11	11,11	11,11	11,11
Support (SU)	0,00	20,00	0,00	0,00	0,00
P1	0,00	0,00	20,00	0,00	0,00
P2	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	20,00
Phosphate bicalcique	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Carbonate de calcium	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Sel marin	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
CMV	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Composition chimique, % MS					
Matières minérales	5,3	6,1	5,9	6,0	5,9
Matières azotées totales	17,8	18,6	18,7	18,7	18,8
Matières grasses sans hydrolyse	1,4	1,7	5,0	5,5	5,8
Matières grasses avec hydrolyse	2,3	2,5	6,2	6,0	6,1
Cellulose brute	3,9	6,7	6,5	5,8	5,9
NDF	16,9	21,9	19,9	19,2	20,7
ADF	3,2	4,8	4,9	4,8	4,6
ADL	1,1	1,5	1,4	1,6	1,6
Amidon polarimétrique	55,7	48,3	47,4	46,4	46,3
Amidon enzymatique	55,6	46,2	49,8	46,0	47,4
Energie Brute (MJ/kg MS)	18,05	18,14	18,96	18,92	19,02
Digestibilité <i>in vitro</i> de la MO (%)	88,4	82,3	85,2	86,1	85,5
Disponibilité <i>in vitro</i> des matières grasses (%)	33,6	35,8	31,9	72,5	68,0

duré 22 jours avec deux périodes successives de 12 et 10 jours, la première pour l'adaptation aux cages et aux régimes expérimentaux et la deuxième pour le contrôle précis des quantités ingérées et la collecte quotidienne et totale des fèces et des urines. Les fèces sont cumulées alors que les urines sont pesées quotidiennement et un aliquote est prélevé.

Le niveau alimentaire s'accroît progressivement au cours de la période d'adaptation afin d'atteindre des ingérés d'environ 2,0 kg par jour au début de la collecte. Ce niveau alimentaire a été légèrement accru pendant la collecte (2,2 kg les 4 derniers jours). Les aliments ont été distribués en deux repas équivalents et sous forme de farine humidifiée. Les éventuels refus ou gaspillages d'aliment étaient collectés, séchés et pesés. Le poids vif moyen était de 52 kg au début de la collecte et de 60 kg à la fin de la collecte. A la fin de la collecte, les fèces sont pesées, homogénéisées et 1/ lyophilisées pour les analyses de laboratoire et 2/ séchées pour la détermination de la teneur en matière sèche. Deux échantillons de chaque régime ont été constitués au moment de la distribution aux animaux pour la mesure de leurs teneurs en matière sèche et les analyses de laboratoire.

Les analyses de laboratoire sur les matières premières, les régimes, les fèces et les urines ont été effectuées à l'aide des méthodes habituelles de notre laboratoire (Noblet et al., 1989). La

digestibilité *in vitro* de la matière organique a été mesurée sur les régimes selon la méthode de Noblet et Jaguelin-Peyraud (2007). Une difficulté est apparue pour la mesure des teneurs en matières grasses avec hydrolyse acide préalable sur la graine de lin et, dans une moindre mesure, sur les produits P1, P2 et P3. La solution pour obtenir des résultats cohérents a consisté à sécher le produit hydrolysé à une température d'uniquement 60°C alors que la méthode officielle préconise 100°C. Enfin, un test de disponibilité *in vitro* de la matière grasse a été réalisé sur les produits et les régimes (Skiba et al., 2002).

Les coefficients de digestibilité fécale apparente de la matière organique, de l'azote, des matières grasses et de l'énergie et la teneur en énergie digestible (ED) et métabolisable (EM) des cinq régimes ont été calculés selon les méthodes habituelles (Noblet et al., 1989). Les données de chaque régime ont été soumises à une analyse de variance avec prise en compte des effets aliment (n=5) et bloc (n=4). La méthode par différence pour calculer les valeurs nutritionnelles des quatre produits et de la graine de lin suppose que 1/ le régime R1 est utilisé de la même façon seul ou en association avec les produits SU, P1, P2 et P3 et 2/ que le support SU est utilisé de la même façon seul ou en association avec la graine de lin (broyée ou extrudée). Les teneurs en EN et les valeurs énergétiques pour la truie adulte des quatre produits et des trois formes de graine de lin ont été calculées selon les méthodes décrites par Noblet et al. (2003).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'expérience s'est déroulée sans problème. Aucun refus n'a été observé durant les phases d'adaptation et de collecte. La quantité moyenne de matière sèche ingérée n'est pas différente pour l'ensemble des régimes et le bilan d'azote n'est pas affecté par la nature du régime (Tableau 3). L'effet statistique du bloc d'origine n'est pas significatif, à l'exception du poids vif moyen.

Les caractéristiques chimiques de la graine de lin sont données dans le tableau 1. Comme pour la graine de colza (Skiba et al., 2002), les analyses chimiques sur ce type de produit sont délicates, en particulier pour les parois végétales avec des résultats parfois contradictoires (voir par exemple TDF et NDF ; tableau 1). De même, les résultats de teneur en matières grasses de la graine broyée ou, dans une moindre mesure, du produit P1 diffèrent beaucoup selon qu'une hydrolyse acide est effectuée ou pas. Par ailleurs, la graine de lin étudiée dans notre essai est plus riche en matières grasses que celle des Tables INRA & AFZ (43,7 avec hydrolyse vs 36,2 % sur une base matière sèche (MS) ; Sauvart et al., 2004). En relation avec cette teneur plus élevée en matières grasses, la teneur en énergie brute de la graine de lin de notre essai est également plus élevée que celle des tables INRA & AFZ (27,51 vs 26,78 MJ/kg de MS). Enfin, si l'on estime la teneur en énergie brute de la graine de lin à partir de ses caractéristiques chimiques selon l'équation rapportée dans les Tables INRA & AFZ (Sauvart et al., 2004), les valeurs prédites en prenant la teneur en matières grasses sans hydrolyse (26,23 MJ/kg de MS) ou avec hydrolyse (28,37 MJ par kg de MS) diffèrent de la valeur mesurée (27,51 MJ/kg de MS). Ces observations suggèrent d'établir une relation plus précise permettant de relier la teneur en énergie brute de la graine de lin à sa teneur en matières grasses et selon la méthode d'analyse utilisée pour estimer la teneur en matières grasses. A l'inverse des matières grasses ou de l'énergie brute, la teneur en matières azotées de la graine de lin de notre essai est plus faible que celle donnée dans les tables

INRA & AFZ. Les autres résultats sur les produits P1, P2 et P3 et sur les régimes sont conformes entre eux.

Les données de digestibilité obtenues sur les cinq régimes sont présentées au tableau 3. Les résultats obtenus pour R1 et R2 sont conformes à la composition centésimale des aliments et à la différence de teneur en parois végétales. Les régimes R3, R4 et R5 dont la composition chimique est quasi identique se différencient très nettement en matière d'utilisation digestive avec un effet très marqué de l'extrusion sur la digestibilité de la matière organique et de l'énergie à relier à une amélioration marquée de la digestibilité des matières grasses (+ 30 points en moyenne pour les deux procédés d'extrusion). Toutes les données de digestibilité de R4 sont numériquement plus élevées que celles de R5 mais l'écart n'est pas significatif. La méthode de digestibilité *in vitro* de la matière organique ne semble pas en mesure de mettre en évidence la moindre disponibilité des matières grasses et de la matière organique du régime R3 contenant la graine de lin broyée. La même observation avait été faite avec la graine de colza non traitée thermiquement (Noblet et Jaguelin-Peyraud, 2007). En revanche, la méthode d'évaluation du traitement technologique reposant sur la mesure des matières grasses disponibles s'avère en mesure de discriminer les aliments selon la digestibilité de leur fraction matières grasses (Figure 1).

Les résultats de digestibilité présentés au tableau 4 pour les quatre produits et pour la graine de lin ont été obtenus à l'aide de la méthode par différence. La digestibilité de l'énergie et des constituants chimiques du support (mélange 40/60 de tourteau de tournesol et de son de blé) est en accord avec ce qui peut être calculé à partir des données des Tables INRA & AFZ (Sauvart et al., 2004). Conformément à ce qui a été observé sur les régimes, les coefficients de digestibilité de P1 (graine broyée & support) sont tous inférieurs à ce qui est observé pour P2 et P3. L'écart est particulièrement important pour les matières grasses et, par voie de conséquence, pour l'énergie et les valeurs énergétiques correspondantes. Les écarts observés sur les produits sont encore plus importants lorsque l'on s'adresse à la graine de lin elle-même et en supposant que la

Tableau 3 - Bilan azoté et utilisation digestive des régimes

	Régime					Statistiques ¹	
	1	2	3	4	5	ETR	Effet
Poids vif moyen des animaux, kg	55,1	55,5	56,5	56,4	55,8	2,9	
Matière sèche ingérée, g/j	1795 ^b	1790 ^b	1794 ^b	1803 ^a	1815 ^a	10	R**
Bilan azoté, g/j							
Ingéré	51,2 ^a	53,3 ^b	53,6 ^{bc}	54,0 ^c	54,5 ^d	0,3	R**
Fixé	21,8	21,1	20,7	21,5	21,6	0,9	
Coefficients de digestibilité, %							
Matière sèche	87,3 ^c	80,6 ^a	80,6 ^a	83,2 ^b	82,4 ^b	0,9	R**
Matière organique	89,3 ^c	82,9 ^a	82,7 ^a	85,4 ^b	84,7 ^b	0,9	R**
Matières azotées totales	86,4	82,2	83,4	84,8	84,5	2,4	
Energie	86,8 ^d	79,8 ^b	78,1 ^a	82,9 ^c	81,7 ^c	1,0	R**
Matières grasses sans hydrolyse	8,5 ^a	26,0 ^b	37,6 ^c	72,5 ^d	68,2 ^d	5,9	R**
Matières grasses avec hydrolyse	45,7 ^a	51,1 ^a	50,1 ^a	75,0 ^b	70,0 ^b	4,2	R**
Valeurs énergétiques, MJ/kg MS							
Energie digestible	15,66 ^c	14,48 ^a	14,81 ^b	15,69 ^c	15,54 ^c	0,19	R**
Energie métabolisable	15,19 ^c	13,90 ^a	14,22 ^b	15,09 ^c	14,93 ^c	0,20	R**

¹ A partir de l'analyse de variance qui prend en compte l'effet régime (R) ; ETR = écart-type résiduel, niveau de signification **: P<0.01

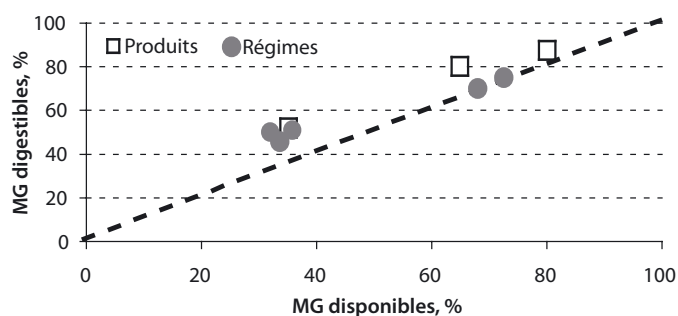


Figure 1- Relation entre la digestibilité fécale apparente des matières grasses mesurée *in vivo* et la disponibilité des matières grasses mesurée *in vitro* (le trait représente la bissectrice)

valeur nutritionnelle de SU n'est pas modifiée par l'extrusion. Ainsi, pour l'énergie, la digestibilité de la graine broyée est estimée à 51 % alors que, suite à l'extrusion, elle est de 76 et 84 % selon le procédé d'extrusion. Le procédé 1 caractérisé par une disponibilité apparente des matières grasses plus élevée (80 % vs 65 % de la MG totale avec hydrolyse) conduit à une valeur nutritionnelle supérieure.

Les tables INRA & AFZ (Sauvant et al., 2004) proposent une digestibilité de l'énergie de la graine de lin (73 %) qui est, d'une part, intermédiaire entre les différentes valeurs mesurées dans notre étude et, d'autre part, inférieure à celles mesurées sur le produit extrudé. Il faut rappeler que, à défaut de données dans la bibliographie sur la valeur nutritionnelle de la graine de lin, une valeur «générique» avait été proposée, valeur qui ne prenait pas en compte les effets généralement positifs de la technologie (granulation, extrusion, etc.) et qui ignorait aussi le fait que les matières grasses de la graine de lin broyée sont peu digestibles. A titre d'autre exemple de l'effet de la technologie sur la digestibilité des

matières grasses, on peut citer les résultats de Skiba et al. (2002) sur la graine de colza pour laquelle les effets sont encore plus marqués que pour la graine de lin. Enfin, il faut remarquer que le mode de calcul adopté répercute sur la seule graine de lin l'impact de l'extrusion du mélange support & graine de lin alors qu'il est probable que l'extrusion améliore aussi la valeur nutritionnelle du support et, en particulier, sa fraction matières grasses.

CONCLUSION

Notre étude permet de proposer des valeurs énergétiques de la graine de lin et des produits commerciaux qui contiennent de la graine de lin mélangée à un support nécessaire à la mise en œuvre de l'extrusion. Elle met aussi en évidence le rôle majeur de la cuisson-extrusion sur la digestibilité des matières grasses de la graine de lin qui semble donc se comporter de façon très comparable à la graine de colza pour laquelle la granulation améliore considérablement la digestibilité de l'énergie via celle des matières grasses. A l'inverse, l'apport de graine de lin broyée est très peu performant sur le plan technique puisque la moitié des matières grasses apportées ne sont pas disponibles pour le porc. Enfin, l'optimisation du traitement technologique sur la valeur nutritionnelle et la digestibilité des matières grasses est à rechercher puisque les deux procédés de cuisson-extrusion conduisent à des résultats sensiblement différents. Dans le cas précis de la graine de lin, la méthode analytique de caractérisation des traitements technologiques à partir de la matière grasse disponible semble pertinente et en mesure de prédire la digestibilité *in vivo* des matières grasses.

REMERCIEMENTS

A la société Valorex pour son soutien financier lors de la réalisation de l'essai.

Tableau 4 - Coefficients de digestibilité des matières premières chez le porc en croissance et valeurs énergétiques chez le porc en croissance et la truie adulte¹

	Support (SU)	SU + graine broyée (P1)	SU + graine extrudée 1 (P2)	SU + graine extrudée 2 (P3)	Graine de lin			
					Broyée	Extrudée 1	Extrudée 2	
Coefficients de digestibilité, %								
Matière organique	57,4	57,3	70,7	67,7	57,2	83,6	77,5	
Matières azotées	68,9	74,5	80,2	79,1	79,8	91,0	88,6	
Matières grasses	56,9	45,5	87,9	81,6	44,5	90,3	83,3	
Matières grasses (hydrolyse)	64,5	51,9	87,4	80,0	50,8	89,6	81,5	
Energie	54,1	52,2	71,6	67,2	50,9	83,9	76,1	
Valeurs énergétiques, MJ/kg MS								
Croissance	ED	10,48	12,01	16,31	15,43	14,00	23,08	20,95
	EM	9,79	11,33	15,59	14,71	13,24	22,19	20,08
	EN	6,59	9,02	11,90	11,29	11,24	17,93	16,36
Truie	ED	11,78	13,28	17,18	16,39	14,65	23,55	21,60
	EM	10,87	12,40	16,27	15,48	13,69	22,42	20,49
	EN	7,22	9,36	12,30	11,74	11,66	18,13	16,69

¹ Calculé à l'aide de la méthode par différence qui suppose que 1/ le régime 1 est utilisé de la même façon seul ou en association avec les produits SU, P1, P2 et P3 et 2/ que le support SU est utilisé de la même façon avec la graine de lin (broyée ou extrudée). Les valeurs EM sont calculées à partir des teneurs en ED et pour un coefficient de rétention des matières azotées de 50 % et une perte d'énergie sous forme de méthane (Noblet et al., 2003). Les valeurs EN sont calculées à partir des équations EN2, EN4 et EN7 (Noblet et al., 1994 ; pondération de 1, 0,5 et 0,5) ; les valeurs énergétiques chez la truie sont calculées à partir des valeurs mesurées chez le porc en croissance et en utilisant des valeurs de «b» égales à 3,25 et 3,00 kJ/g pour respectivement le support et la graine de lin (Noblet et al., 2003).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Noblet, J., Fortune, H., Dubois, S., Henry, Y., 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA Editions, Paris, 106p.
- Noblet, J., Fortune, H., Shi, X.S., Dubois, S., 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 72, 344-354.
- Noblet J., Sève B., Jondreville C., 2002. Valeurs nutritives pour les porcs. In: D. Sauvant, J.M. Perez and G. Tran (Eds), Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons, 25-35. INRA Editions, Versailles, France.
- Noblet J., Bontems V., Tran G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. *INRA Prod. Anim.*, 16, 197-210.
- Noblet J., Jaguelin-Peyraud Y., 2007. Prediction of digestibility of organic matter and energy in the growing pig from an *in vitro* method. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 134, 211-222.
- Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. INRA Editions, Versailles, France.
- Skiba F., Noblet J., Callu P., Evrard J., Melcion J.P., 2002. Influence du type de broyage et de la granulation sur la valeur énergétique de la graine de colza chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine en France*, 34, 67-74.