

Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc

L'apport d'énergie alimentaire représente le principal coût en production porcine (plus de 50 %). Il est donc très important de connaître avec précision à la fois les besoins en énergie du porc et la valeur énergétique des aliments complets et des matières premières. Pour celle-ci, les connaissances ont progressé depuis la publication des Tables par l'INRA en 1989 et les Tables récemment publiées (Sauvant *et al* 2002) par l'INRA et l'AFZ (Association française de Zootechnie) prennent en compte de nouveaux concepts tels que l'énergie nette ou des valeurs énergétiques variables selon le stade physiologique de l'animal. De plus, des méthodes ont été proposées pour prendre en compte les variations de la composition chimique des matières premières. L'objet de cet article est de présenter les bases utilisées pour l'établissement des valeurs proposées en 2002 et de fournir des méthodes pratiques pour leur mise en œuvre.

La valeur énergétique des aliments pour le porc peut être estimée sur la base de leur teneur en énergie digestible (ED) ou en énergie métabolisable (EM) ou en énergie nette (EN). Les avantages et les limites de chaque mode d'évaluation ont été fréquemment présentés (Noblet 2001) et il est maintenant admis que la meilleure estimation de la teneur « vraie » en énergie d'un aliment pour le porc est donnée par sa teneur en EN. Toutefois, la teneur en EN est elle-même dépendante des teneurs en EM ou en ED ou en éléments

digestibles. Nous avons donc choisi de présenter dans les Tables 2002 l'ensemble des valeurs ED, EM et EN. Les bases retenues pour le nombre, la définition et les caractéristiques chimiques des matières premières retenues ont été données par Sauvant et Tran (2002) et Tran et Sauvant (2002) à partir des informations collectées auprès des organisations partenaires de la Banque de Données de l'Alimentation Animale de l'AFZ. Par ailleurs, les valeurs nutritionnelles rapportées dans les Tables sont en cohérence avec les caractéristiques chimiques retenues.

Résumé

Cet article présente la démarche adoptée pour le calcul des données de valeur énergétique, pour le porc, des matières premières (n = 120) des Tables publiées par l'INRA et l'AFZ en 2002. Elle propose également des méthodes simplifiées pour le calcul des valeurs énergétiques de produits dont la composition chimique diffère de celle rapportée dans les Tables. Les résultats sont basés sur la compilation des données de la bibliographie et l'utilisation des connaissances les plus récentes en termes de concepts. Six valeurs énergétiques résultant de la combinaison de trois modes d'expression (ED, EM ou EN) et de deux stades physiologiques (porc en croissance et truie adulte) sont proposées. Les effets de facteurs de variation de la valeur énergétique tels que la technologie (granulation, broyage ...) ou le niveau d'alimentation sont également abordés, mais les données disponibles dans la bibliographie ne permettaient pas de les prendre en compte, du moins de façon systématique.

1 / Démarche générale

La démarche adoptée pour le calcul de la valeur énergétique des aliments pour le porc a d'abord consisté à considérer la teneur en énergie digestible (ED) comme le produit de la teneur en énergie brute et du coefficient d'utilisation digestive fécale de l'énergie (dE). La teneur en énergie brute est calculée à partir de la composition chimique selon la méthode décrite par Tran et Sauvant (2002) ; les équations sont rapportées en annexe 1. On considère que dE est affecté, d'une part, par les caractéristiques chimiques du produit et,

Abréviations

EB :	énergie brute
ED :	énergie digestible
EM :	énergie métabolisable
EN :	énergie nette
dE :	coefficient d'utilisation digestive de l'énergie
dN :	coefficient d'utilisation digestive de l'azote
MAT :	matières azotées totales
MAD :	matières azotées digestibles
MG :	matières grasses
MGH :	matières grasses (avec hydrolyse)
MGD :	matières grasses digestibles
CB :	cellulose brute
MO :	matière organique
dMO :	coefficient d'utilisation digestive de la matière organique
MOD :	matière organique digestible
MOND :	matière organique non digestible
MM :	matières minérales

Le suffixe "c" correspond au porc en croissance, "t" à la truie adulte

d'autre part, par le poids vif du porc. Le coefficient dE est également affecté par la technologie mise en œuvre (tableau 1), mais les données de la bibliographie étaient insuffisantes pour prendre en compte cet effet de façon rigoureuse et systématique. On peut admettre que les valeurs proposées dans les Tables se rapportent plutôt à des aliments sous forme de farine. Pour ce qui concerne l'effet du poids vif, dans un souci de simplification, deux stades principaux ont été retenus : le porc en croissance de 50-70 kg de poids vif et la truie adulte. En effet, les résultats présentés dans le tableau 2 mettent en évidence que des mesures de dE effectuées sur un animal d'environ 60 kg de poids vif rendent compte de l'utilisation digestive de l'aliment lorsqu'il est consommé par des animaux pesant de 30 à 100 kg. Le résultat peut également être extrapolé à des porcs plus légers (porcelets) et à des porcs de 100 à 150 kg en croissance rapide. Le modèle de truie adulte utilisé a été la truie vide alimentée à un niveau voisin du niveau de gestation (Le Goff et Noblet 2001a et 2001b). Les données du tableau 3 montrent de façon indirecte que les

Tableau 1. Effet de la granulation sur l'utilisation digestive des matières grasses (dMG, en %) et de l'énergie (dE, en %) chez le porc en croissance (Noblet et Champion 2003, Skiba et al 2002).

Aliment		Farine	Granulé
Régimes maïs-soja (n = 3)	dMG	61,0	77,0
	dE	88,4	90,3
Maïs (n = 2)	dMG	60,0	80,0
	dE	88,0	90,2
Régime blé-soja	dE	88,6	89,2
Régime blé-soja-graine de colza ⁽¹⁾	dMG	27,0	84,0
	dE	73,1	87,4
Graine de colza ⁽¹⁾	dMG	21,0	89,0
	dE	35,2	83,2

⁽¹⁾ Graine de colza broyée modérément.

Tableau 2. Evolution de l'utilisation digestive de l'énergie (dE) avec le poids vif chez le porc.

Données moyennes de 4 régimes à base de blé et tourteau de soja et des proportions variables de son de blé, huile de colza et graisses animales ; mesures réalisées en continu sur les mêmes animaux entre 35 et 95 kg ; l'effet du poids sur dE ($P < 0,01$) est plus marqué pour les régimes riches en parois végétales ($P < 0,01$) (J. Noblet, non publié).

Poids vif (kg)	MS ingérée (g/jour)	dE (%)
38	1250	82,6
49	1680	83,0
61	1940	83,6
72	2015	84,2
80	2060	84,8
90	2120	85,3
Moyenne (35-95)	1845	83,6

Tableau 3. Effets du poids vif et du stade physiologique sur l'utilisation digestive de l'énergie (dE) chez le porc.

	Essai 1 ⁽¹⁾		Essai 2 ⁽²⁾	
	Porc en croissance	Truie vide	Porc en croissance	Truie en lactation
Poids vif (kg)	60	227	62	246
Aliment ingéré (g MS/jour)	2044	2119	2062	4850
dE (%)	77,2 ^a	80,5 ^b	79,9 ^a	84,9 ^b

⁽¹⁾ Moyenne de 3 aliments à base de maïs, blé, orge (prédominance de l'orge), pois et tourteau de soja et contenant des proportions variables de son de blé, tourteau de tournesol, corn gluten feed et graisses animales (J. Noblet, non publié).

⁽²⁾ Moyenne de 3 aliments à base de maïs, blé, orge (prédominance de maïs), pois et tourteau de soja (en proportions plus élevées que dans l'essai 1) et contenant des proportions variables de son de blé, tourteau de tournesol, corn gluten feed et graisses animales (Etienne et al 1997).

Tableau 4. Effet du niveau alimentaire sur l'utilisation digestive de l'énergie (dE) chez le porc.

Poids vif moyen (kg)	Porc en croissance ⁽¹⁾		Truie adulte ⁽²⁾		
	40,1	43,3	260	260	260
Aliment ingéré (g MS/jour)	1106	1478	2090	2536	2966
dE (%)	83,2	82,6	85,2	85,6	85,9

⁽¹⁾ Moyenne de 2 aliments de type complexe contenant 13 et 21 % de NDF ; effet du niveau alimentaire plus marqué pour le régime à teneur élevée en NDF (P < 0,05) (J. Noblet, non publié).

⁽²⁾ Moyenne de 4 aliments à base de blé, maïs, orge et tourteau de soja et des proportions variables d'huile de colza, son de blé, coques de soja, pulpe de betterave et paille de blé (J. Noblet, non publié).

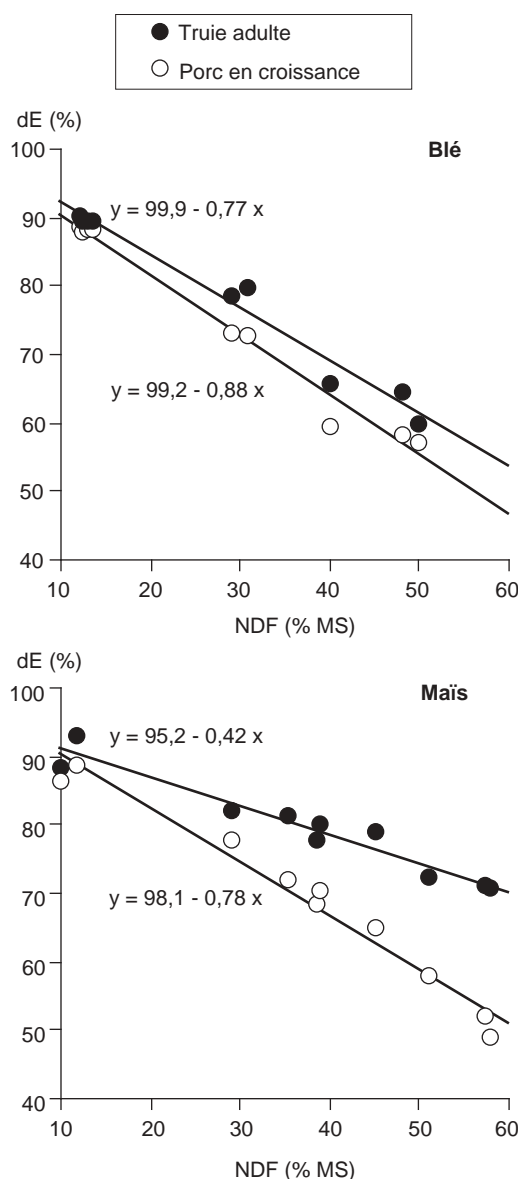
valeurs obtenues chez la truie vide sont applicables à la truie en lactation dont le niveau alimentaire est deux à trois fois plus élevé. Les données obtenues sur la truie adulte sont donc applicables à la fois à la truie en gestation et à la truie en lactation. De plus, les résultats du tableau 4 montrent que les effets du niveau alimentaire sur le dE sont très faibles chez le porc et peuvent donc être négligés.

Les pertes d'énergie par l'urine sont calculées à partir de la quantité d'azote excrétée dans les urines et les pertes sous forme de gaz à partir de la quantité de parois végétales dégradées ; cette dernière perte d'énergie diffère entre les deux stades physiologiques retenus pour estimer la teneur en ED. La teneur en énergie métabolisable (EM) est alors la différence entre la valeur ED et les pertes d'énergie par les urines et les gaz. La teneur en énergie nette (EN) est estimée à partir des équations proposées par Noblet *et al* (1994a) et appliquées aussi bien au porc en croissance qu'à la truie (Noblet *et al* 1994b).

2 / Estimation de la digestibilité de l'énergie et des principaux nutriments

2.1 / Chez le porc en croissance

Le principe retenu pour l'estimation de dE a été de calculer pour chaque matière première une équation prédisant dE à partir d'une ou deux caractéristiques chimiques pouvant être relativement variables et discriminantes. Ceci a été réalisé à partir des données de la bibliographie et de données obtenues à l'INRA et non publiées (n = 670). Cependant, pour la plupart des matières premières, il n'existait pas suffisamment de données de digestibilité et nous avons été amenés à regrouper les données de matières premières ayant des points communs tels qu'une origine botanique et anatomique commune. Un exemple tiré des données de Noblet et Le Goff (2000) pour les produits du blé ou du maïs est donné à la figure 1. En pratique, la plupart des équations prenaient en compte un prédicteur des parois végétales (cellulose brute, NDF ou ADF). Toutefois, il était difficile, pour un produit donné, de privilégier objectivement une des équations. Aussi, les dE rapportés dans les Tables sont le plus souvent issus de la moyenne, pondérée de façon relativement subjective, des estimations issues des différentes équations. Toutes les équations obtenues sont rapportées en annexe 1. Des équations simi-

Figure 1. Effet de la teneur en NDF sur la digestibilité de l'énergie (dE) des produits du blé et des produits du maïs chez la truie adulte et le porc en croissance (adapté de Noblet et Le Goff 2000).


Selon les données, on estime la digestibilité de l'énergie ou directement la teneur en ED à partir de critères de composition chimique de la matière première.

lares ont été établies pour le coefficient de digestibilité de l'azote (dN ; annexe 1).

Cependant, pour plusieurs des matières premières ou familles de matières premières retenues dans les Tables, il existait peu ou pas de données dans la bibliographie ou bien les données avaient été obtenues sur des produits de compositions comparables. Il était alors impossible d'établir une équation de

prédiction de dE ou de dN à partir de la composition chimique. Une première solution a alors consisté à retenir pour ce produit la moyenne des données de la bibliographie, à condition qu'elles soient relativement cohérentes entre elles (annexe 2). Une deuxième solution a été de prédire directement la teneur en ED (kcal/kg de produit sec) du produit à partir de ses caractéristiques chimiques. L'équation suivante (Le Goff et Noblet 2001a et 2001b, et J. Noblet, non publié ; n = 77 régimes) :

$$ED = 5,37 \text{ MAT} + 7,58 \text{ MG} + 4,11 \text{ Amidon} + 0,76 \text{ NDF} + 3,90 \text{ Résidu} \quad (\text{ETR} = 83)$$

a été utilisée ; les compositions sont en g par kg de produit sec et "Résidu" correspond à la différence entre la teneur en matière organique et la somme des autres constituants considérés dans l'équation. A défaut d'estimation par les méthodes précédentes, une valeur probable a été arbitrairement choisie pour quelques matières premières.

Les coefficients de digestibilité fécale de l'amidon et des sucres sont supposés égaux à 100 %, tant chez le porc en croissance que chez la truie en reproduction. Les données de digestibilité fécale des matières grasses (dMG) de la bibliographie sont peu nombreuses, parfois incohérentes et surtout peu précises pour les produits ayant des teneurs en MG inférieures à 5 %, soit la majorité des produits. A l'exception des sources de matières grasses (voir ci-dessous), nous avons alors choisi de prédire la teneur en matières grasses digestibles (MGD) à partir d'une équation établie par Le Goff et Noblet (2001a et 2001b) sur 77 régimes ; dMG correspond au rapport (x100) entre MGD et la teneur en matières grasses. L'équation suivante :

$$\text{MGD} = 0,82 \text{ MG} - 0,02 \text{ NDF} - 7 \quad (\text{ETR} = 3,3)$$

dans laquelle MGD, MG et NDF sont exprimées en g par kg de matière sèche a été utilisée. Elle conduit à des valeurs très basses (voire négatives) de dMG pour les produits à faible teneur en matières grasses.

Pour des raisons multiples, il existe peu de données fiables et surtout exhaustives sur la digestibilité des parois végétales chez le porc. Il n'a donc pas été possible d'estimer directement la digestibilité de cette fraction. La solution indirecte a consisté à estimer le coefficient de digestibilité fécale de la matière organique (dMO) ou la teneur en matière organique digestible (MOD, en g/kg de matière sèche) et à identifier, d'une part, un résidu (Res) qui correspond à la différence entre la teneur en MO et la somme des teneurs en matières azotées, matières grasses, amidon et sucres et, d'autre part, un résidu digestible (ResD) égal à la différence entre la teneur en MOD et la somme des teneurs en MAD, MGD, amidon et sucres (calculées selon les méthodes décrites ci-dessus). Les composants Res et ResD sont en principe équivalents à respectivement la teneur en parois végétales et la teneur en parois végétales digestibles, mais les valeurs sont estimées par différence et non issues de mesures directes. Le coefficient dMO (%) a été estimé à partir de l'équation suivante (J. Noblet, non publié, n = 270 régimes) :

$$\text{dMO} = 7,0 + 0,955 \text{ dE} - 0,005 \text{ MAD} - 0,003 \text{ MGD} \quad (\text{ETR} = 0,4)$$

dans laquelle MAD et MGD sont exprimées en g par kg de matière sèche et dE en %. La relation suivante :

$$\text{dMO} = 7,9 + 0,915 + 0,0031 \text{ (Amidon + sucres)}$$

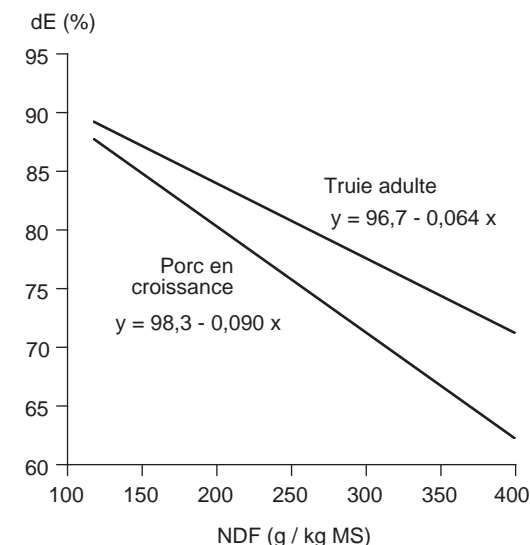
dans laquelle les teneurs en amidon et en sucres sont également exprimées en g par kg de matière sèche, a une précision équivalente (ETR = 0,4).

Pour toutes les matières premières à teneurs très élevées en lipides (huiles, graisses), dMG, dE et dMO ont été supposés égaux à 85 %, tant chez le porc en croissance que chez la truie adulte ; cette valeur correspond à la moyenne des données de la bibliographie et elle ne prend pas en compte les éventuelles (mais faibles) différences de digestibilité associées au degré d'insaturation des acides gras. Elle n'est cependant pas applicable à des produits riches en acides gras libres (type huiles acides) pour lesquels les dMG (et les dE) sont très inférieurs à cette valeur moyenne (Jorgensen et Fernandez 2000). Enfin, le dE des acides aminés industriels a été considéré égal à 100 % et la teneur en ED correspond alors à la teneur en énergie brute de l'équivalent acide aminé pur.

2.2 / Chez la truie adulte

La bibliographie met en évidence que la digestibilité de l'énergie est plus élevée chez la truie adulte que chez le porc en croissance, ce qui justifie l'attribution de deux valeurs énergétiques distinctes (Le Goff et Noblet 2001a et 2001b ; figure 2). De plus, cette supériorité dépend notamment de la teneur de l'aliment en parois végétales et de l'origine botanique de celles-ci. Toutefois, il existe peu de données de digestibilité de l'énergie chez la truie dans la bibliographie, ce qui ne permet pas d'estimer dE par régression comme chez le porc en croissance. De plus, les quelques données disponibles ne correspon-

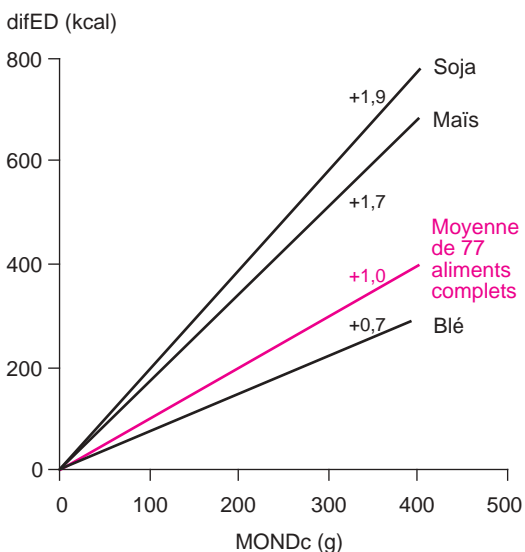
Figure 2. Effet de la teneur en NDF de l'aliment et du stade physiologique sur la digestibilité de l'énergie (dE) (d'après Le Goff et Noblet 2001a et 2001b).



dent pas nécessairement aux produits définis dans la table. L'approche décrite par Le Goff et Noblet (2001a et 2001b) dans laquelle la teneur en ED chez la truie est estimée à partir de la teneur en ED mesurée ou estimée chez le porc en croissance était possible pour quelques familles de matières premières (blé, maïs et soja ; Noblet et Le Goff 2000, Le Goff et Noblet 2001a et 2001b). Mais de telles équations de passage n'étaient pas disponibles pour tous les produits et, inversement, l'application d'une même équation à tous les produits présentait des dangers de surestimation ou de sous-estimation de la correction.

Une analyse complémentaire des données utilisées dans la publication de Le Goff et Noblet (2001a et 2001b) montre que la différence de teneur en ED entre la truie et le porc en croissance est directement proportionnelle à la teneur en matière organique non digestible chez le porc en croissance (MONDc). Pour les 77 régimes de leur étude, l'accroissement de la teneur en ED par g de MONDc (ou difED) est en moyenne de 1,0 kcal par g ; ce surplus de 1,0 kcal d'ED est associé à un apport supplémentaire de 0,195 g de MOD se répartissant entre 0,058 g de MAD et 0,137 g de ResD. Les mesures de digestibilité comparées chez la truie et le porc en croissance montrent également que difED varie selon les matières premières (figure 3). En d'autres termes, la valorisation de la MONDc chez la truie dépend de l'origine botanique des matières premières. Ce point est également illustré à la figure 1 qui montre que l'effet négatif des parois végétales sur dE est comparable pour le blé et le maïs chez le porc en croissance alors qu'il est très différent pour la truie adulte. L'utilisation des données obtenues à l'INRA sur environ 50 matières premières (J. Noblet *et al.*, données partiellement publiées) a permis d'estimer la valeur de difED pour tous les produits des Tables (valeurs variant de 0 à 2,0) et de calculer les différences de teneur en ED, en MOD, en

Figure 3. Relation entre la différence de teneur en ED entre la truie adulte et le porc en croissance (difED) et la quantité de matière organique non digestible chez le porc en croissance (MONDc) selon la nature de l'aliment (J. Noblet, non publié).



MAD et en ResD entre la truie adulte et le porc en croissance à partir de la teneur en MONDc. Il a été supposé que le ratio de 0,195 g de MOD par kcal et que la répartition du surplus de MOD entre les MAD et le ResD sont constants quelle que soit la valeur de difED. Les coefficients de passage de MONDc à difED (colonne « a ») sont donnés en annexe 2. Les teneurs en ED, MOD, MAD et ResD chez la truie adulte sont alors obtenues en ajoutant les différences ainsi calculées aux teneurs en ED, MOD, MAD et ResD estimées chez le porc en croissance. Il est admis que l'utilisation digestive des matières grasses, de l'amidon et des sucres est identique aux deux stades physiologiques.

2.3 / Méthode simplifiée d'estimation de la teneur en ED chez la truie adulte (EDt) à partir de la teneur en ED chez le porc en croissance (EDc)

Les valeurs de EDc et EDt figurant dans les Tables ne sont en principe valables que pour les produits dont la composition chimique est proche des valeurs données dans les Tables et le rapport EDt/EDc ne peut pas, pour une matière première donnée, être considéré comme constant lorsque la composition chimique de la matière première dévie de celle donnée dans les Tables. Dans la démarche exposée ci-dessus, il est proposé de calculer difED à partir de MONDc. Mais, dans la relation $\text{difED} = a \times \text{MONDc}$, le coefficient multiplicatif « a » est spécifique d'un groupe de matières premières (cf annexe 2) et, pour effectuer le calcul, il est nécessaire d'estimer MONDc. Cette estimation est possible à partir de la démarche explicitée ci-dessus. Toutefois, dans un souci de simplification, on peut admettre que pour une matière première donnée, le rapport « b » entre la digestibilité de la matière organique (dMO) et dE est peu affecté par les variations de ses caractéristiques chimiques ; il peut alors être considéré comme constant et, chez le porc en croissance, dMOc est alors égal à $b \times \text{dEc}$. En conséquence, difED est alors égal à : $a \text{ MO} \times 10 (100 - b \times \text{dEc}) / 100$. Dans cette relation, difED est en kcal par kg de matière sèche, MO en % de la matière sèche et dEc en %. Exprimée relativement à la teneur en matières minérales (MM, en % de la matière sèche), cette relation devient : $\text{difED} = a (100 - \text{MM}) (100 - b \times \text{dEc}) / 10$. Il en résulte que le rapport EDt/EDc ($\times 100$), soit $(\text{EDc} + \text{difED}) / \text{EDc}$, est égal à : $100 + a \times 10 (100 - \text{MM}) \times (100 - b \times \text{dEc}) / \text{EDc}$ où EDc est exprimée en kcal/kg de matière sèche. Les valeurs de a et b sont rapportées en annexe 2 ; dEc et EDc sont calculées selon les méthodes décrites précédemment.

3 / Estimation des teneurs en EM

Comme il est indiqué en introduction, les pertes d'énergie dans les urines (Euri) et dans les gaz de fermentation (méthane ; Egaz) ont été prises en compte dans le calcul de la teneur en EM des matières premières.

La digestibilité de l'énergie est plus élevée chez la truie adulte que chez le porc en croissance. Il y a donc deux valeurs ED pour chaque aliment.

L'analyse de données obtenues chez le porc en croissance de 50-70 kg et chez la truie adulte (n = 610 ; J. Noblet, non publié) montre que Euri (kcal par kg de matière sèche ingérée) dépend de la quantité d'azote mesurée dans l'urine (Nuri, en g/kg de matière sèche ingérée) selon les relations suivantes :

Porc en croissance : $Euri = 45,9 + 7,4 \text{ Nuri}$ (ETR = 13)

Truie adulte : $Euri = 51,9 + 7,4 \text{ Nuri}$ (ETR = 13)

La quantité d'azote excrétée dans les urines est directement liée à la différence entre les apports quotidiens et la capacité du porc à fixer ces apports sous forme de protéines. On peut considérer qu'à la plupart des stades de production du porc et lorsque les apports protéiques ont un équilibre en acides aminés satisfaisant et sont raisonnés relativement aux besoins de l'animal, la quantité d'azote fixé est voisine de 50 % de l'azote digestible et la quantité d'azote retrouvée dans les urines représente 50 % de l'azote digestible. Ce raisonnement a été appliqué à chaque matière première et pour la teneur en MAD ($N \times 6,25$) estimée selon les méthodes décrites ci-dessus.

La quantité d'énergie perdue sous forme de gaz (Egaz) est calculée à partir de la quantité de parois végétales fermentées ; celle-ci est considérée comme égale à la valeur de ResD obtenue dans la démarche de digestibilité des nutriments. La compilation de données obtenues en chambres respiratoires (Le Goff 2001) permet d'estimer que Egaz est égal à 0,16 et 0,32 kcal par g de ResD chez, respectivement, le porc en croissance et la truie adulte.

Cette démarche conduit pour les produits ne contenant ni parois végétales, ni matière azotées (huiles, graisses), à une valeur EM peu différente de la teneur en ED, ce qui est le cas lors de mesures réalisées sur animaux. Lorsque la composition en acides aminés de l'aliment est un facteur limitant de la rétention azotée, on ajoute des acides aminés industriels à la ration. On peut estimer que le coefficient de rétention de l'azote apporté par ces acides aminés supplémentaires est plus élevé que pour l'azote total ; nous l'avons estimé à 65 % pour le calcul de leur teneur en EM.

Contrairement à dE qui peut varier fortement avec les caractéristiques chimiques de la matière première, le rapport EM/ED (pour un taux de catabolisme moyen des matières azotées) peut être considéré comme peu variable pour une matière première donnée, tant pour le porc en croissance que pour la truie. Ce résultat permet de simplifier considérablement le calcul des teneurs en EM des matières premières lorsque leur composition chimique diffère de celle donnée dans les Tables. La teneur en EM est alors égale à ED x (EM/ED). Les valeurs de EM/ED de chaque matière première, que l'on peut considérer comme des constantes même lorsque la composition chimique varie, sont rapportées en annexe 2 pour toutes les matières premières des Tables 2002.

4 / Estimation des teneurs en EN

Les teneurs en EN des aliments (kcal/kg de matière sèche) ont été estimées à partir des équations établies par Noblet *et al* (1994a) sur 61 régimes. Trois équations ont été privilégiées :

$EN2 = 2,89 \text{ MAD} + 8,37 \text{ MGD} + 3,42 \text{ Amidon} + 2,85 \text{ Sucres} + 2,06 \text{ ResD}$ (ETR = 60)

$EN4 = 0,703 \text{ ED} + 1,58 \text{ MG} + 0,47 \text{ Amidon} - 0,97 \text{ MAT} - 0,98 \text{ CB}$ (ETR = 43)

$EN7 = 0,730 \text{ EM} + 1,31 \text{ MG} + 0,37 \text{ Amidon} - 0,67 \text{ MAT} - 0,97 \text{ CB}$ (ETR = 40)

L'équation EN2 est en fait une variante de l'équation EN2 proposée par Noblet *et al* (1994a), le fractionnement dit « de Weende » n'ayant pas été retenu ici pour définir les teneurs en éléments digestibles. En pratique, la valeur EN rapportée dans les Tables 2002 est la moyenne des trois valeurs EN obtenues avec les équations ci-dessus et appliquées aux produits dont les caractéristiques chimiques sont données dans les Tables ; les teneurs en nutriments digestibles ou en ED ou en EM sont obtenues à partir des méthodes décrites ci-dessus. Pour les sources de matières grasses (huiles et graisses) et les produits ne contenant presque que de l'amidon (amidon de maïs) ou que des matières azotées (caséine), seule l'équation EN2 a été utilisée. Dans le cas des acides aminés industriels, il a été supposé que le rendement d'utilisation de l'EM est égal à 85 % pour la fraction fixée dans les protéines corporelles (65 % de l'ED) et 60 % pour la fraction qui a été désaminée (35 % de l'ED).

Comme pour le rapport EM/ED, on peut admettre que le rapport EN/EM pour une matière première donnée varie peu avec sa composition chimique. On peut alors considérer que la teneur en EN est égale à EM x (EN/EM). Les valeurs EN/EM de chaque matière première sont rapportées en annexe 2.

5 / Mise en œuvre des données des Tables

5.1 / Pour les matières premières des Tables

Il faut d'abord rappeler que la démarche complète décrite pour le calcul des données rapportées dans les Tables 2002 est la méthode de base. Toutefois, elle est relativement lourde et complexe si l'on souhaite l'appliquer à des matières premières dont la composition chimique diffère de celle donnée dans les Tables. Les éléments complémentaires justifiés ci-dessus et documentés en annexes 1 et 2 permettent de la mettre en œuvre de façon simplifiée et de prendre en compte les inévitables variations de la composition chimique des matières premières, relativement à la composition moyenne rapportée dans les Tables 2002. Cette méthode simplifiée est schématisée dans le tableau 5.

Les rapports EM/ED et EN/EM peuvent être considérés comme constants pour un aliment donné, même si sa composition chimique varie.

Tableau 5. Démarche simplifiée d'estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc.

EB	(kcal/kg MS)	Equation par matière première (annexe 1)
dEc	(%)	Equation par matière première (annexe 1) ⁽¹⁾ ou valeur moyenne (annexe 2)
EDc	(kcal/kg MS)	EB x dEc / 100
EDt/EDc	(%)	100 + a x 10 (100 - MM) (100 - b x dEc) / EDc (valeurs de « a » et « b » par matière première ; annexe 2)
EDt	(kcal/kg MS)	EDc x (EDt/EDc) / 100
EMc/EDc ou EMt/EDt	(%)	Coefficient par matière première (annexe 2)
EMc	(kcal/kg MS)	EDc x (EMc/EDc) / 100
EMt	(kcal/kg MS)	EDt x (EMt/EDt) / 100
ENc/EMc ou ENt/EMt	(%)	Coefficient par matière première (annexe 2)
ENc	(kcal/kg MS)	EMc x (ENc/EMc) / 100
ENt	(kcal/kg MS)	EMt x (ENt/EMt) / 100

⁽¹⁾ Soit l'équation complète, soit l'une des équations selon le(s) prédicteur(s) disponible(s).

5.2 / Pour les « nouvelles » matières premières

La démarche simplifiée décrite ci-dessus pour les matières premières des Tables 2002 doit être systématiquement préférée, l'objectif étant, face à une nouvelle matière première, d'essayer de la rapprocher, de par son origine botanique ou anatomique, de matières premières décrites dans les Tables. Si le rapprochement est difficile, la valeur énergétique est estimée à l'aide d'équations génériques et l'estimation ne peut représenter qu'une valeur indicative. Tout d'abord, il est impératif de mesurer la teneur en EB ou, à défaut, de l'estimer à partir des caractéristiques chimiques du produit. L'équation suivante (J. Noblet, non publié) est proposée dans ce but :

$$EB = 54,93 \text{ MAT} + 93,01 \text{ MG} + 41,57 \text{ Amidon} + 39,54 \text{ Sucres} + 45,01 \text{ NDF} + 42,36 \text{ Résidu}$$

Le « Résidu » correspond à la différence entre la teneur en matière organique et la somme des autres constituants de l'équation. Des équations plus spécifiques à certains groupes de matières premières ont également été proposées dans les Tables (Tran et Sauvart 2002). Quant à EDc, elle peut être estimée à partir de l'équation suivante (Le Goff et Noblet 2001a et 2001b, et J. Noblet, non publié) :

$$EDc = 53,7 \text{ MAT} + 75,8 \text{ MG} + 41,1 \text{ Amidon} + 7,6 \text{ NDF} + 39,0 \text{ Résidu}$$

Pour le calcul de EDt, la méthode décrite ci-dessus est à utiliser avec, pour le coefficient « a », la valeur moyenne proposée par Noblet

et al (2002), à savoir 1 kcal par g de MONDc. Quant au coefficient b, égal à dMO/dE, il peut être estimé à partir de la relation proposée par Noblet *et al* (2002) : $dMO = 7,9 + 0,915 \times dE + 0,031$ (Amidon + Sucres) ; dEc est égal à EDc/EB (x100). Enfin, les valeurs de ENc et ENt sont calculées à partir de EDc ou EDt et des caractéristiques chimiques du produit selon l'équation EN4 ci-dessus. L'estimation des teneurs en EM n'est pas indispensable dans un objectif de prédiction des teneurs en EN. Toutefois, la prise en compte des pertes d'énergie dans les urines est possible sur la base des relations proposées ci-dessus, d'une digestibilité des matières azotées estimée selon l'équation générique proposée par Noblet et Perez (1993) (voir annexes 1 et 2) et d'un coefficient de rétention de l'azote de 50 %.

5.3 / Pour les aliments complets

Les données des Tables permettent d'abord de caractériser les matières premières tant en termes de composition chimique que de valeur nutritionnelle et notamment de valeur énergétique pour le porc. Ces données peuvent être utilisées pour estimer la valeur énergétique des aliments complets lorsque leur composition centésimale est connue. Mais, pour ce dernier objectif, il est nécessaire d'admettre le principe de l'additivité des apports d'énergie de chaque matière première incluse dans l'aliment. Les données de la bibliographie confirment le bien-fondé du principe de l'additivité (tableau 6). Pour les aliments com-

La démarche utilisée conduit à exprimer la valeur énergétique selon 3 systèmes : ED, EM et EN. Le système EN est à privilégier car il permet d'approcher au plus près la valeur énergétique vraie.

Tableau 6. Principe de l'additivité des valeurs énergétiques chez le porc : validation pour les mélanges de matières premières riches en parois végétales et de sources de matières grasses.

Le coefficient dE calculé correspond à la combinaison des dE des composants du mélange lorsqu'ils sont mesurés isolément alors que dE mesuré résulte de la mesure directe du dE du mélange.

Mélange (% introduction)	Poids vif (kg)	dE mesuré (%)	dE calculé (%)	Réf ⁽²⁾
Huile colza (8 %) + sources de parois végétales ⁽¹⁾ (25 %)	45 - 100 et 150	65	66	1
Graisses animales (3 %) + huile colza (3 %) + son de blé (30 %)	35 à 95	69	68	2
Huile de soja (6 %) + son de blé (30 %) ou drèches de maïs (30 %)	65 245	65 76	65 75	2 2

⁽¹⁾ Mélange de son de blé (25 %), coques de soja (25 %), pulpe de betterave (25 %) et paille de blé (25 %)

⁽²⁾ Source : 1- Noblet et Shi (1994) ; 2- J. Noblet, non publié.

plets dont la composition centésimale est inconnue, seul le recours à des prédicteurs mesurables au laboratoire est possible. Dans ce contexte, des équations de prédiction de la valeur énergétique des aliments complets ont été proposées ; elles font généralement appel à un ensemble de critères chimiques (Noblet et Perez 1993, Le Goff et Noblet 2001a et 2001b) ou, plus récemment, à la combinaison de critères chimiques et de résultats de digestibilité *in vitro* (Jaguelin-Peyraud et Noblet 2003). Ces équations ne seront pas détaillées ici. On doit cependant mentionner que les équations, notamment celles faisant appel aux seuls critères chimiques, ne sont pas applicables aux matières premières. De plus, dans tous les cas, l'estimation obtenue n'est qu'indicative.

Conclusion

La démarche proposée pour le calcul de la valeur énergétique des matières premières utilisables par le porc conduit à proposer des valeurs énergétiques adaptées à la situation de l'animal en croissance et à la truie adulte et

selon trois systèmes différents (ED, EM et EN), soit six valeurs énergétiques au total. Le système EN est à utiliser préférentiellement puisqu'il conduit à l'estimation de la valeur énergétique la plus proche de la valeur « vraie » et permet alors de discriminer avec précision les matières premières pour les besoins de la formulation. Il faut remarquer que la valeur EN est très étroitement dépendante des valeurs ED ou EM qui sont elles-mêmes dépendantes à la fois des caractéristiques chimiques du produit, de l'animal qui les consomme et de la technologie appliquée lors de la préparation des aliments (broyage, granulation...). Toutefois, les valeurs proposées dans les Tables se réfèrent d'abord à des produits présentés sous forme de farine ; l'exception est la graine de colza dont la digestibilité est très faible lorsque le produit n'est pas granulé et la valeur rapportée se réfère au produit qui a subi une granulation. Les données rapportées en annexes 1 et 2 et le texte ci-dessus permettent enfin de calculer la valeur énergétique de produits dont la composition chimique diffère de celle rapportée dans les Tables.

Références

- Etienne M., Noblet J., Dourmad J.Y., Castaing J., 1997. Digestive utilization of feeds in lactating sows: comparison with growing pigs. In : J.P. Laplace, C. Février and A. Barbeau (eds), *Digestive Physiology in Pigs*, 583-586. Ed., EAAP n° 88, INRA, Paris.
- Jaguelin-Peyraud Y., Noblet J., 2003. Prédiction de la digestibilité de la matière organique et de l'énergie chez le porc en croissance à l'aide d'une méthode *in vitro*. *Journées Rech. Porcine en France*, 35, 75-82.
- Jorgensen H., Fernandez J., 2000. Chemical composition and energy value of different fat sources for growing pigs. *Acta Agric. Scand., Section A*, 50, 129-136.
- Le Goff G., 2001. Etude des mécanismes impliqués dans l'évolution de la digestion et de l'utilisation métabolique des fibres alimentaires au cours de la vie du porc ; conséquences sur l'estimation de la valeur énergétique des aliments. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- Le Goff G., Noblet J., 2001a. Comparative digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.*, 79, 2418-2427.
- Le Goff G., Noblet J., 2001b. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journées Rech. Porcine en France*, 33, 211-220.
- Noblet J., 2001. Digestive and metabolic utilization of dietary energy in pig feeds: comparison of energy systems. In : P.C. Garnsworthy and J. Wiseman (eds), *Recent Developments in Pig Nutrition 3*, chapter 8, 161-184. Nottingham University Press, Nottingham.
- Noblet J., Champion M., 2003. Effect of pelleting and body weight on digestibility of energy and fat of two corns in pigs. *J. Anim. Sci.*, 81 (Suppl 1), 40.
- Noblet J., Le Goff G., 2000. Utilisation digestive et valeurs énergétiques du blé, du maïs et leurs co-produits chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journées Rech. Porcine en France*, 32, 177-184.
- 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. Effect of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 37, 323-338.
- Noblet J., Fortune H., Shi X.S., Dubois S., 1994a. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 72, 344-354.
- Noblet J., Shi X.S., Fortune H., Dubois S., Lechevestrier Y., Corniaux C., Sauvant D., Henry Y., 1994b. Teneur en énergie nette des aliments chez le porc : mesure, prédiction et validation aux différents stades de sa vie. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 235-250.
- Noblet J., Sève B., Jondreville C., 2002. Valeurs nutritives pour les porcs. In : D. Sauvant, J.M. Perez et 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 et AFZ, Paris.
- Sauvant D., Tran G., 2002. Principes de construction. In : D. Sauvant, J.M. Perez et 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*, 11-15. INRA Editions et AFZ, Paris.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2002. 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 et AFZ, Paris.
- 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.
- Tran G., Sauvant D., 2002. Données chimiques et valeurs nutritives. In : D. Sauvant, J.M. Perez et 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*, 17-24. INRA Editions et AFZ, Paris.

Abstract

Estimation of the energy value of compound feeds for pigs.

Energy supply represents the main cost in pig production (>50 %). Therefore, it is quite important to evaluate precisely both the energy requirements of pigs and the energy value of compound feeds or ingredients. This review presents the concepts and the information used for calculating the energy value for pigs of the ingredients (n = 120) listed in the Feeding Tables published by INRA and AFZ in 2002. Simplified methods for estimating the energy value of ingredients whose chemical composition differs from the values given in the Feeding Tables are also proposed. The results are based on a compilation of available litera-

ture information and according to the most recent concepts. Six energy values resulting from the combination of three modes of expression (digestible energy, metabolizable energy and net energy) and two stages of pig production (growing pigs and adult sows) have been proposed. The effects of other factors such as technology (pelleting, grinding ...) or feeding level on energy value are also presented. However, the available literature information was insufficient for taking them into account in the estimation of energy value.

NOBLET J., BONTEMS V., TRAN G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. INRA Prod. Anim., 16, 197-210.

Annexe 1. Equations de prédiction des teneurs en énergie brute et de la digestibilité de l'énergie (dE) et de l'azote (dN) chez le porc en croissance. Le fichier correspondant est disponible à : http://www.inapg.inra.fr/dsa/aifz/tables/energie_porc.htm

	Energie brute (kcal/kg MS) ⁽¹⁾	dE porc croissance (%) ⁽²⁾	dN porc croissance (%) ⁽³⁾
Avoine	4215 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	93,6 - 2,13 CB	
Avoine décortiquée			
Blé dur	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(96,7 - 3,79 CB + 2 x (98,2 - 4,01 CB)) / 3	89,7 - 2,38 CB
Blé tendre			
Mais	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(97,3 - 3,83 CB + 97,4 - 3,11 ADF + 88,0) / 3	(90,7 - 3,39 CB + 88,9 - 0,78 NDF) / 2
Orge	4176 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(2 x (94,2 - 2,53 CB) + 90,9 - 1,72 ADF) / 3	
Riz cargo	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	84,7 - 2,34 MM - 1,31 CB + 0,92 MAT
Seigle	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Sorgho	4215 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Triticale	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(2 x (94,7 - 3,33 CB) + 87,3) / 3	96,2 - 4,51 CB
Remoulage de blé dur			
Son de blé dur			
Farine basse de blé tendre	4215 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Remoulage blanc de blé tendre			
Remoulage demi-blanc de blé tendre		(96,7 - 3,79 CB + 99,4 - 0,92 NDF + 98,2 - 4,01 CB) / 3	89,7 - 2,38 CB
Son de blé tendre			
Drêches de distillerie de blé, amidon < 7 %	4278 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Drêches de distillerie de blé, amidon > 7 %			
Gluten feed de blé, amidon 25 %			
Gluten feed de blé, amidon 28 %			
Corn gluten feed	4215 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Corn gluten meal	4448 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Drêches et solubles de distillerie de maïs	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MGH - 44,6 MM	(97,3 - 3,83 CB + 97,4 - 3,11 ADF + 100,0 - 4,04 CB) / 3	(90,7 - 3,39 CB + 88,9 - 0,78 NDF) / 2
Farine fourragère de maïs	4215 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Son de maïs	4278 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Tourteau de germes de maïs déshuilé	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(97,3 - 3,83 CB + 97,4 - 3,11 ADF + 100 - 4,04 CB) / 3	
Tourteau de germes de maïs expeller			
Tourteau de maïs de semoulerie		(94,2 - 2,53 CB + 90,9 - 1,72 ADF) / 2	dNg
Drêches d'orge de brasserie déshydratées	EBg		
Radicelles d'orge de brasserie déshydratées	4097 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Brisures de riz	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	dNg
Son de riz déshuilé	4278 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Son de riz gras	4278 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		

Graine de colza	4256 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM			
Graine de coton	4256 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	dNg	
Féverole à fleurs blanches	4053 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM			
Féverole à fleurs colorées	4256 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	dNg	
Graine de lin				
Lupin blanc	4053 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM			
Lupin bleu	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM			
Pois				
Pois chiche	4094 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM			
Graine de soja extrudée				
Graine de soja toastée				
Graine de tournesol				
Tourteau d'arachide, cellulose < 9 %	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB		
Tourteau d'arachide, cellulose > 9 %	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	dNg	
Tourteau de cacao	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM			
Tourteau de colza	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(97,2 - 1,34 ADF + 106,0 - 1,21 NDF) / 2		(110,0 - 1,53 ADF + 116,0 - 1,31 NDF) / 2
Tourteau de coprah expeller	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB		
Tourteau de coton déshuilé, cellulose 7-14 %	4256 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB		
Tourteau de coton déshuilé, cellulose 14-20 %				
Tourteau de lin déshuilé	4094 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	dNg	
Tourteau de lin expeller				
Tourteau de palmiste expeller				
Tourteau de pépins de raisin déshuilé	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB		
Tourteau de sésame expeller				
Tourteau de soja 46				
Tourteau de soja 48	4094 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(92,2 - 1,01 CB + 94,8 - 0,71 NDF + 95,0 - 0,71 NDF) / 3		(95,4 - 1,39 CB + 101,0 - 0,96 NDF) /
Tourteau de soja 50				
Tourteau de tournesol non décortiqué	4094 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(90,8 - 1,27 CB + 94,9 - 1,32 ADF + 98,9 - 1,04 NDF) / 3		(96,2 - 0,87 CB + 100,0 - 0,67 NDF) / 2
Tourteau de tournesol part, décortiqué				
Amidon de maïs	EBg			
Manioc, amidon 67 %	4085 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(99,8 - 1,52 CB - 0,88 MM + 102,2 - 1,79 CB - 1,10 MM) / 2		
Manioc, amidon 72 %				
Patate douce déshydratée	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB		
Pomme de terre entière déshydratée				
Concentré protéique de luzerne	4388 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	102,6 - 1,06 MM - 0,79 NDF		
Concentré protéique de pomme de terre				
Coques de cacao	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM			

(Suite du tableau page suivante)

	Energie brute (kcal/kg MS) ⁽¹⁾	dE porc croissance (%) ⁽²⁾	dN porc croissance (%) ⁽²⁾
Coques de soja	3909 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	(92,2 - 1,01 CB + 94,8 - 0,71 NDF + 95,0 - 0,71 NDF) / 3	(95,4 - 1,39 CB + 101,0 - 0,96 NDF) / 2
Cosses de sarrasin	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	dNg
Farine de gousse de caroube	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	100,5 - 0,79 MM - 0,88 NDF - 1,18 LIGN	dNg
Levure de brasserie déshydratée	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Marc de raisin			
Mélasses de betterave	4037 + 14,73 MAT + 52,4 MG - 44,6 MM		
Mélasses de canne			
Pépins de raisin	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	
Pulpe d'agrumes déshydratée	4085 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Pulpe de betterave déshydratée	4037 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Pulpe de betterave déshydratée mélassée	4037 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		dNg
Pulpe de betterave surpressée	4037 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Pulpe de pomme de terre déshydratée	EBg		
Purée-pelures de pomme de terre	4037 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	EDg / EB	
Vinasse d'acide glutamique			
Vinasse de levurenie	4037 + 14,73 MAT + 52,4 MG - 44,6 MM		
Vinasse déminéralisée (mélange)			
Herbe déshydratée	4186 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		dNg
Luzerne déshydratée, protéines < 16 %			
Luzerne déshydratée, protéines 17-18 %			
Luzerne déshydratée, protéines 18-19 %	4140 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM	40,0 - 0,9 (NDF - 50,3)	dNg
Luzerne déshydratée, protéines 22-25 %			
Paille de blé	4186 + 14,73 MAT + 9,25 CB + 52,4 MG - 44,6 MM		
Lactosérum acide déshydraté			
Lactosérum doux écrémé déshydraté	3963 + 14,73 MAT + 52,4 MGH - 44,6 MM		
Poudre de lait écrémé			
Poudre de lait entier			
Concentré de protéines solubles de poisson, gras			
Concentré de protéines solubles de poisson, maigre	4140 + 14,73 MAT + 52,4 MGH - 44,6 MM		
Farine de poisson type 62			
Farine de poisson type 65			
Farine de poisson type 70			

⁽¹⁾ A partir de Tran et Sauvant (2002) ou équation générique EBg (kcal) = 54,93 MAT + 93,01 MG + 41,57 Amidon + 39,54 Sucres + 45,01 NDF + 42,36 (100 - MM - MAT - MG - Amidon - Sucres-NDF) (données de composition chimique en % ; J. Noblet, non publié) ; si pas d'équation, une valeur moyenne a été proposée (voir annexe 2)

⁽²⁾ A partir de compilation de données de la bibliographie ou des équations génériques : EDg (kcal) = 53,78 MAT + 75,76 MG + 41,11 Amidon + 7,65 NDF + 38,96 (100 - (MAT + MM + Amidon + NDF + MG)) (données de composition chimique en % ; J. Noblet, non publié) et dNg (%) = 84,7 - 2,34 MM - 1,31 CB + 0,92 MAT (Noblet et Perez 1993) ; si pas d'équation, une valeur moyenne issue de la bibliographie a été proposée (voir annexe 2)

Annexe 2. Teneurs moyennes en énergie brute (kcal/kg MS) et coefficients moyens d'utilisation de l'azote et de l'énergie (%) chez le porc en croissance et la truie adulte(1). Le fichier correspondant est disponible à : http://www.inapg.inra.fr/dsa/afz/tables/energie_porc.htm

Nom	EB	dEc	EDt/EDc	EMc/EDc	ENc/EMc	EMt/EDt	ENt/EMt	a ⁽²⁾	b ⁽²⁾	dN
Avoine	4656	64,1	106,3	96,2	74,9	95,2	74,5	0,60	1,057	75,0
Avoine décortiquée	4484	83,7	102,1	96,8	76,5	96,1	76,7	0,60	1,032	80,0
Blé dur	4425	85,4	102,2	96,5	76,8	96,0	76,7	0,72	1,029	82,3
Blé tendre	4351	87,6	101,8	97,0	78,3	96,5	78,2	0,72	1,029	83,6
Maïs	4463	87,9	104,0	97,6	80,1	97,1	79,6	1,67	1,030	80,9
Orge	4390	80,6	102,7	96,8	76,7	96,1	76,8	0,60	1,036	75,0
Riz cargo	4299	97,5	100,3	97,8	80,0	97,6	80,0	0,72	1,005	89,8
Seigle	4294	83,9	102,6	97,0	77,3	96,2	77,5	0,72	1,034	70,9
Sorgho	4502	87,3	101,8	97,5	78,9	97,1	78,9	0,72	1,030	75,0
Triticale	4311	86,3	101,7	97,1	78,4	96,6	78,3	0,60	1,031	84,1
Remoulage de blé dur	4606	65,6	107,0	95,5	73,6	94,7	73,3	0,72	1,051	70,2
Son de blé dur	4585	52,4	112,3	94,9	72,5	93,8	71,5	0,72	1,078	62,0
Farine basse de blé tendre	4515	90,1	101,3	96,9	77,0	96,5	77,2	0,72	1,025	85,6
Remoulage blanc de blé tendre	4553	75,5	104,3	95,9	74,0	95,1	74,2	0,72	1,038	76,4
Remoulage demi-blanc de blé tendre	4542	66,4	106,8	95,3	72,2	94,3	72,3	0,72	1,049	70,7
Son de blé tendre	4511	56,8	110,4	94,8	70,8	93,6	70,6	0,72	1,068	64,7
Drèches de distillerie de blé, amidon < 7 %	5125	58,6	108,8	92,3	63,9	90,9	64,8	0,72	1,051	65,5
Drèches de distillerie de blé, amidon > 7 %	4864	73,7	104,5	93,6	65,8	92,2	67,3	0,72	1,033	75,1
Gluten feed de blé, amidon 25 %	4439	72,5	105,0	95,1	70,3	93,7	71,6	0,72	1,042	75,0
Gluten feed de blé, amidon 28 %	4546	70,2	105,7	95,4	70,9	94,2	71,7	0,72	1,046	73,3
Corn gluten feed	4468	65,7	116,4	94,2	67,0	92,5	68,1	1,67	1,051	60,4
Corn gluten meal	5510	94,1	102,0	92,2	64,3	91,9	65,2	1,67	0,996	86,8
Drèches et solubles de distillerie de maïs	4628	65,9	115,9	93,6	66,6	91,9	67,7	1,67	1,047	61,8
Farine fourragère de maïs	4632	72,6	111,7	97,0	77,9	96,0	76,9	1,67	1,045	67,1
Son de maïs	4506	45,2	138,4	96,0	75,8	94,5	72,3	1,67	1,104	41,8
Tourteau de germes de maïs déshuilé	4658	73,5	104,8	93,4	63,9	91,6	65,7	0,72	1,036	70,5
Tourteau de germes de maïs expeller	4964	75,0	104,0	96,2	76,8	95,2	77,0	0,72	1,036	70,5
Tourteau de maïs de semoulerie	4540	74,2	110,7	96,1	75,4	94,9	75,1	1,67	1,041	67,7
Drèches d'orge de brasserie déshydratées	4900	52,4	109,8	92,3	67,9	91,0	67,5	0,60	1,067	77,0
Radicelles d'orge de brasserie déshydratées	4415	60,0	107,7	93,0	64,6	91,6	65,1	0,60	1,057	73,8
Brisures de riz	4311	93,8	100,4	97,7	81,7	97,6	81,2	0,72	1,041	88,9
Son de riz déshuilé	4220	58,0	111,4	95,5	73,5	94,5	72,5	0,84	1,067	56,5
Son de riz gras	5133	64,5	107,4	96,8	80,6	96,1	79,2	0,84	1,051	56,5
Graine de colza	6836	83,0	102,3	97,0	78,3	96,3	78,9	0,72	0,976	80,0
Graine de coton	5753	61,3	107,2	95,0	71,0	93,6	70,8	0,72	1,025	62,2
Féverole à fleurs blanches	4475	86,0	102,2	94,4	70,4	93,8	70,4	0,72	1,021	83,0
Féverole à fleurs colorées	4479	83,0	102,8	94,6	71,0	93,9	70,9	0,72	1,025	81,0
Graine de lin	6402	72,6	103,8	95,8	77,9	94,9	78,0	0,72	1,025	83,2
Lupin blanc	5060	81,0	105,9	92,9	64,4	91,6	65,7	1,43	1,019	84,0
Lupin bleu	4849	77,0	110,4	92,6	62,2	91,0	63,9	1,91	1,026	84,0
Pois	4366	88,0	103,6	95,3	73,2	94,6	73,1	1,43	1,023	84,0
Pois chiche	4708	87,0	103,7	96,0	75,1	95,5	75,1	1,43	1,024	80,0
Graine de soja extrudée	5530	78,0	108,6	93,8	71,9	93,0	71,8	1,91	1,017	85,0
Graine de soja toastée	5614	78,0	108,5	93,9	72,4	93,2	72,2	1,91	1,016	85,0
Graine de tournesol	6849	71,0	104,4	97,1	83,7	96,5	82,4	0,72	0,976	80,0
Tourteau d'arachide détoxifié, cellulose < 9 %	4917	83,1	102,7	91,2	61,3	90,4	62,1	0,72	1,009	90,0
Tourteau d'arachide détoxifié, cellulose > 9 %	4834	78,3	103,7	90,4	58,6	89,7	59,3	0,72	1,012	90,0
Tourteau de cacao	4295	61,3	108,7	92,3	61,1	90,6	62,0	0,72	1,054	65,8
Tourteau de colza	4611	67,5	107,4	91,7	59,7	90,4	61,0	0,84	1,037	75,4
Tourteau de coprah expeller	4767	54,2	110,9	93,3	68,0	91,8	67,9	0,72	1,066	71,1
Tourteau de coton déshuilé, cellulose 7-14 %	4900	72,7	104,8	90,8	60,1	90,0	61,0	0,72	1,020	93,4
Tourteau de coton déshuilé, cellulose 14-20 %	4858	66,2	106,5	91,3	57,9	89,9	59,3	0,72	1,036	80,3
Tourteau de lin déshuilé	4610	75,8	104,3	91,8	61,5	90,2	63,1	0,72	1,026	87,9

Nom	EB	dEc	EDt/EDc	EMc/EDc	ENc/EMc	EMt/EDt	ENt/EMt	a ⁽¹⁾	b ⁽²⁾	dN
Tourteau de lin expeller	4882	75,2	104,2	92,6	65,0	91,1	66,3	0,72	1,026	86,2
Tourteau de palmiste expeller	4803	42,3	118,0	92,6	68,6	90,6	68,0	0,72	1,105	63,2
Tourteau de pépins de raisin déshuilé	4636	31,9	119,5	92,2	45,5	89,0	46,7	0,48	1,171	23,1
Tourteau de sésame expeller	4956	78,9	103,2	91,9	66,5	91,1	67,1	0,72	1,014	90,6
Tourteau de soja 46	4659	85,0	106,3	91,4	60,5	90,3	62,0	1,91	1,012	86,6
Tourteau de soja 48	4703	85,2	106,2	91,3	60,5	90,3	61,9	1,91	1,010	86,8
Tourteau de soja 50	4697	87,7	105,0	91,1	60,8	90,2	62,1	1,91	1,007	90,2
Tourteau de tourmesol non décortiqué	4626	52,1	114,3	91,2	55,9	89,7	56,7	0,84	1,068	70,0
Tourteau de tourmesol part, décortiqué	4628	58,9	110,8	91,0	56,8	89,7	57,6	0,84	1,050	74,3
Amidon de maïs	4185	98,0	100,0	98,8	81,7	98,5	81,9	0,00	1,000	0,0
Manioc, amidon 67 %	3937	86,6	102,2	98,3	81,4	97,8	80,9	0,72	1,028	30,0
Manioc, amidon 72 %	4073	92,9	101,3	98,4	80,5	98,0	80,4	0,72	1,001	30,0
Patate douce déshydratée	4145	90,4	101,5	98,1	79,3	97,7	79,3	0,72	1,017	60,0
Pomme de terre entière déshydratée	4080	91,2	101,4	97,6	78,5	97,1	78,5	0,72	1,014	60,0
Concentré protéique de luzerne	5149	83,3	102,0	91,8	63,7	90,9	64,9	0,72	1,035	85,0
Concentré protéique de pomme de terre	5313	94,5	100,7	89,4	59,0	89,0	59,8	0,72	1,002	95,0
Coques de cacao	4477	20,0	136,7	93,0	68,6	91,0	63,3	0,48	1,201	0,0
Coques de soja	4355	51,4	136,8	93,2	53,4	90,5	57,6	1,91	1,059	41,5
Cosses de sarrasin	4575	24,7	128,5	91,2	46,3	88,3	47,2	0,48	1,235	27,0
Farine de gousse de caroube	4164	51,3	109,5	96,7	70,5	95,9	69,3	0,48	1,088	69,9
Levure de brasserie déshydratée	4776	85,0	102,3	91,4	62,4	90,1	64,0	0,72	1,011	85,0
Marc de raisin	4505									
Mélasses de betterave	3685	85,0	103,0	97,2	68,5	97,0	68,6	0,72	1,000	50,0
Mélasses de canne	3573	85,0	103,0	98,1	69,9	97,8	70,3	0,72	1,000	40,0
Pépins de raisin	5185	39,0	112,8	94,4	66,2	91,9	64,6	0,48	1,125	29,9
Pulpe d'agrumes déshydratée	4186	74,0	111,3	95,6	64,6	93,2	66,9	1,67	1,047	57,1
Pulpe de betterave déshydratée	4060	72,0	112,9	94,3	60,2	91,2	63,4	1,67	1,049	49,8
Pulpe de betterave déshydratée mélassée	4077	73,0	112,3	94,4	60,4	91,4	63,4	1,67	1,048	51,7
Pulpe de betterave surpressée	4086	72,0	113,0	94,1	59,7	90,9	63,0	1,67	1,049	49,9
Pulpe de pomme de terre déshydratée	4210	71,6	107,8	96,6	72,1	95,0	72,2	0,96	1,039	57,2
Purée-pelures de pomme de terre	4019	89,4	102,4	96,0	73,2	94,7	74,3	0,96	1,008	73,6
Vinasse d'acide glutamique	4838	75,0	100,0	90,4	59,4	90,2	59,2	0,00	1,000	75,0
Vinasse de levurerie	4554	75,0	100,0	90,2	59,9	90,0	59,5	0,00	1,000	75,0
Vinasse déminéralisée (mélange)	4732	75,0	100,0	90,8	59,9	90,6	59,8	0,00	1,000	75,0
Herbe déshydratée	4465	38,0	122,1	92,7	58,6	90,8	59,1	0,72	1,114	45,7
Luzerne déshydratée, protéines < 16 %	4302	40,0	120,5	92,7	53,0	90,0	55,1	0,72	1,113	31,3
Luzerne déshydratée, protéines 17-18 %	4301	42,6	118,3	92,8	54,5	90,2	56,3	0,72	1,102	35,3
Luzerne déshydratée, protéines 18-19 %	4299	43,8	117,4	92,8	55,2	90,3	56,9	0,72	1,097	37,2
Luzerne déshydratée, protéines 22-25 %	4279	51,2	112,8	92,7	58,7	90,7	59,9	0,72	1,070	48,2
Paille de blé	4420	12,0	155,7	88,6	54,2	87,5	54,1	0,36	1,000	0,0
Lactosérum acide déshydraté	3686	95,0	100,0	97,1	81,7	96,9	80,9	0,00	1,041	95,0
Lactosérum doux écrémé déshydraté	3868	95,0	100,0	96,8	83,4	96,6	82,3	0,00	1,041	95,0
Poudre de lait écrémé	4375	95,0	100,0	94,1	73,3	93,9	73,1	0,00	1,028	95,0
Poudre de lait entier	5619	93,0	100,0	96,5	78,9	96,4	79,2	0,00	1,011	95,0
Concentré de protéines de poisson, gras	6105	85,0	100,0	91,9	69,4	91,8	69,1	0,00	1,000	85,0
Concentré de protéines de poisson, maigre	5281	85,0	100,0	89,6	60,9	89,4	60,7	0,00	1,000	85,0
Farine de poisson type 62	4644	85,0	100,0	90,5	65,0	90,3	64,8	0,00	1,000	85,0
Farine de poisson type 65	4948	85,0	100,0	90,5	64,8	90,3	64,6	0,00	1,000	85,0
Farine de poisson type 70	5210	85,0	100,0	90,4	64,5	90,3	64,2	0,00	1,000	85,0
Corps gras	9380	85,0	100,0	99,4	89,7	99,3	89,8	0,00	1,000	
L-Lysine HCL	4807	100,0	100,0	90,9	77,9	90,8	77,9	0,00	1,000	100,0
L-thréonine	4140	100,0	100,0	91,6	77,7	91,5	77,8	0,00	1,000	100,0
L-tryptophane	6600	100,0	100,0	94,0	77,3	93,9	77,3	0,00	1,000	100,0
DL-méthionine	5668	100,0	100,0	94,9	77,1	94,8	77,1	0,00	1,000	100,0

⁽¹⁾ Valeurs estimées à partir des équations de l'annexe 1 et relativement à la composition chimique donnée dans les Tables INRA & AFZ ou à partir de moyennes de données de la bibliographie.

⁽²⁾ a = (EDt-EDc) / MONDc ; b = 100 x dMOC/dEc (voir texte pour méthode simplifiée de calcul de EDt/EDc).