

Estimation de la valeur énergétique des aliments et des matières premières chez le porcelet en post-sevrage

Sabine VAN CAUWENBERGHE, Catherine JONDREVILLE, Marie-France BEAUX, Isabelle WILLIATTE, F. GATEL

Institut Technique des Céréales et des Fourrages - Poulinc, 41100 Villéval

Avec la collaboration technique de P. CALLU, P. BRINET, B. MAUDUIT, J.M. BERTIN, D. BARRAULT et A. POUTREL.

Estimation de la valeur énergétique des aliments et des matières premières chez le porcelet en post-sevrage

Le but de l'étude est 1/ d'établir des modèles de prédiction de la valeur énergétique des aliments à partir de leur composition analytique, 2/ de déterminer la valeur énergétique de ces matières premières en situation de régime complexe, selon la technique de régression multiple. Dans ce but, quatorze régimes complexes formulés à partir de 9 matières premières (blé, orge, maïs, manioc, pois, tourteau de soja, graines de colza, huile de soja, son de blé) ont été distribués à des porcelets en post-sevrage.

Le coefficient d'utilisation digestive de l'énergie d'un aliment destiné au porcelet en post-sevrage peut être prédit à partir de sa teneur en NDF et en matières grasses. Pour des teneurs en NDF comprises entre 106 et 194 g/kg MS, la digestibilité de l'énergie varie avec la teneur en NDF de la même façon chez le porcelet et le porc charcutier. La teneur en énergie digestible d'un tel aliment peut être estimée à partir de ses teneurs en NDF et en énergie brute ou en matières grasses.

Les valeurs énergétiques des matières premières pour le porcelet en situation de régime complexe, sont équivalentes aux valeurs usuelles, pour le blé, l'orge, le maïs, le pois et le tourteau de soja. Pour l'huile de soja, les graines de colza, le son et le manioc, les valeurs obtenues chez le porcelet en post-sevrage sont inférieures à celles des tables. La considération des valeurs énergétiques des matières premières issues des tables entraîne donc une surestimation de la valeur énergétique des aliments destinés au porcelet. Cette surestimation devient nette lorsque les aliments sont riches en matières grasses ou en fibres.

Estimation of the energy values of diets and feedstuffs for post-weaned piglets

The aim of this study is 1/ to propose prediction equations of energy values of the diets from their analytical composition, 2/ to determine the energy value of each raw material mixed in complex diets, thanks to the multiple regression technique. Therefore, fourteen complex diets containing 9 different ingredients (wheat, barley, maize, cassava roots, pea, soyabean meal, rapeseed whole seed, soyabean oil and wheat bran) were fed to post-weaned piglets.

The energy digestibility coefficient of a post-weaned piglet diet can be predicted from the NDF and fat contents of the diet. For NDF values ranging from 106 to 194 g/kg DM, the trend for decrease of energy digestibility coefficient according to the NDF content of the diet is similar for the post-weaned piglet as for the growing pig. The digestible energy content of such a diet can be estimated from the NDF and gross energy or fat content.

The raw materials energy values for the piglet, obtained in this trial, in a situation of complex diets, are equivalent to the ones usually used for growing pigs for wheat, barley, maize, pea, and soyabean. For soyabean oil, rapeseed whole seed, bran and cassava roots, the values obtained with the post-weaned piglets are below the ones from the tables. Therefore taking into account energy values from the tables for the calculation of diets energy values leads to an over estimation of the energy values of the diets for the post-weaned piglets. This over-estimation becomes clear when the diets are rich in fibres or fat.

INTRODUCTION

Chez la truie et le porc charcutier, les variations de la valeur énergétique d'un aliment donné sont plus associées aux variations de l'utilisation digestive qu'à celles de l'utilisation métabolique. En effet, NOBLET et al. (1994) ont montré que pour ces deux types d'animaux, la teneur en énergie digestible (ED) est le principal facteur de variation de la teneur en énergie nette (EN) des aliments. On peut supposer qu'il en est de même chez des animaux plus jeunes, d'où l'intérêt de pouvoir disposer de valeurs ED mesurées chez le porcelet afin de pouvoir calculer les valeurs EN des aliments destinés au porcelet de façon plus juste qu'en utilisant les valeurs issues des tables correspondant à des mesures réalisées sur des porcs charcutiers. En outre, en plus d'être obtenues chez des animaux plus âgés, les valeurs des tables présentent l'inconvénient de résulter de mesures effectuées sur des régimes simples. Or, cette méthodologie conduit à une valeur énergétique potentielle, car elle néglige les interactions digestives survenant avec les matières premières les moins digestibles. C'est pourquoi, un certain nombre de travaux (NOBLET et al. 1989) ont eu pour objet la détermination de valeurs ED des matières premières prenant en compte les phénomènes d'interaction digestive. C'est cette même idée qui a été reprise ici, appliquée au porcelet. Enfin, dans l'attente d'une base de données de valeurs ED porcelet, pour les matières premières susceptibles d'être utilisées par cet animal, il est apparu intéressant de proposer des équations de prédiction de la teneur en énergie digestible des aliments à partir de leur caractéristiques analytiques.

L'objectif de l'essai est donc double. Il s'agit :

1/ d'établir des équations de prédiction de la teneur en énergie digestible des aliments, pour le porcelet en post-sevrage, à partir des caractéristiques analytiques des aliments,

2/ de déterminer, dans un contexte de régime complexe, la valeur énergétique de neuf matières premières, pour le porcelet en post-sevrage.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODE

1.1. Matières premières et aliments expérimentaux

Neuf lots de matières premières sont utilisées pour constituer 14 régimes complexes, leur composition est indiquée au tableau 1. Certaines matières premières ont été retenues pour être une source simple d'énergie ; ainsi, l'huile de soja, le son de blé, le maïs et le blé apportent l'énergie sous forme de matières grasses, de fibres et d'amidon, tandis que d'autres, telles les graines de colza, l'orge à six rangs, le tourteau de soja et le pois, ont été retenues pour apporter l'énergie sous plusieurs formes biochimiques (respectivement fibres et matières grasses, amidon et fibres, protéines et fibres et protéines et amidon). Grâce à ces choix, il a été possible de formuler les aliments de telle sorte que les caractéristiques analytiques des régimes ainsi que leur composition centésimale soient aussi indépendantes que possible (tableau 2) et de telle façon que les caractéristiques nutritionnelles des régimes soient compatibles avec l'âge des animaux. Afin de satisfaire à cette seconde contrainte, les aliments présentent une teneur en matières azotées totales comprise entre 175 et 257 g/kg de matière sèche (MS) tandis que les teneurs en matières grasses et en cellulose brute n'excèdent pas respectivement 102 et 64 g/kg de MS ; quant à leur teneur prévisionnelle en énergie nette (ENg4, NOBLET et al. 1994) elle s'échelonne de 2600 à 3320 kcal/kg de MS. La composition centésimale des régimes ainsi que leurs caractéristiques analytiques sont indiquées dans le tableau 3. Les matières premières sont broyées au moyen d'un broyeur à marteau muni d'une grille de 2 mm.

Tableau 1 - Caractéristiques analytiques des matières premières (g/kg MS ou kcal/kg MS)

| | MS | MAT | MG | Amidon | CB | NDF | ADF | ADL | MM | EB |
|-------------------------|------|-----|------|--------|-----|-----|-----|-----|----|------|
| Blé | 869 | 153 | 18 | 682 | 27 | 116 | 30 | 9 | 18 | 4420 |
| Orge 6 rangs | 874 | 111 | 19 | 598 | 62 | 188 | 72 | 10 | 28 | 4405 |
| Maïs | 868 | 102 | 43 | 729 | 22 | 109 | 27 | 3 | 14 | 4514 |
| Manioc 70 | 868 | 31 | 2 | 836 | 22 | 47 | 27 | 4 | 20 | 4060 |
| Pois | 869 | 231 | 11 | 535 | 54 | 104 | 68 | 3 | 32 | 4413 |
| Tourteau de soja | 881 | 511 | 20 | 52 | 70 | 148 | 84 | 6 | 64 | 4738 |
| Graines de colza | 911 | 210 | 434 | 34 | 102 | 231 | 137 | 68 | 40 | 6905 |
| Huile de Soja | 1000 | 0 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9494 |
| Son de blé | 846 | 177 | 42 | 235 | 96 | 429 | 132 | 39 | 53 | 4643 |

MS : Matière Sèche, MAT : Matières Azotées Totales, MG : Matières Grasses, CB : Cellulose Brute, NDF, ADF, ADL : résidus de Van Soest, MM : Matières Minérales, EB : Energie Brute.

Tableau 2 - matrices de corrélation des caractéristiques analytiques des 14 régimes (triangle inférieur) et des différents taux d'incorporation des matières premières (triangle supérieur)

| | | Son | Huile | Graines colza | Tourteau soja | Pois | Manioc | Maïs | Orge | Blé | |
|---------------|------------|-----------|------------|---------------|---------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------------------------|
| MAT | 1,00 | 1,00 | -0,39 | -0,01 | -0,22 | 0,23 | 0,07 | -0,18 | 0,27 | -0,43 | Son de blé |
| CB | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -0,36 | -0,09 | 0,31 | 0,65 | -0,04 | -0,16 | -0,05 | Huile de soja |
| NDF | -0,26 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -0,14 | -0,23 | -0,21 | -0,07 | -0,01 | 0,21 | Graines de colza |
| ADF | -0,22 | 0,87 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -0,63 | -0,20 | 0,43 | -0,42 | 0,17 | Tourteau de soja |
| ADL | -0,23 | 0,98 | 0,91 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,53 | -0,24 | 0,03 | -0,41 | Pois |
| Amidon | -0,15 | 0,63 | 0,77 | 0,74 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,08 | -0,34 | -0,29 | Manioc 70 |
| MG | -0,48 | -0,55 | -0,52 | -0,57 | -0,55 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -0,71 | -0,30 | Maïs |
| MM | -0,23 | -0,29 | -0,43 | -0,32 | -0,08 | -0,03 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -0,18 | Orge 6 rangs |
| EB | 0,56 | 0,61 | 0,58 | 0,63 | 0,35 | -0,82 | -0,48 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | Blé |
| | -0,01 | -0,36 | -0,43 | -0,37 | -0,03 | -0,16 | 0,97 | -0,37 | 1,00 | | |
| | MAT | CB | NDF | ADF | ADL | Amid. | MG | MM | EB | | |

Tableau 3 - Composition centésimale et caractéristiques analytiques et énergétiques mesurées sur les 14 régimes

| Régimes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Composition centésimale (% produit brut) | | | | | | | | | | | | | | |
| Blé | | 21,5 | | | | | | 39,5 | | 19,0 | 55,5 | 8,0 | | 9,0 |
| Orge 6 rangs | | 30,0 | 53,5 | | 45,0 | | | | 18,0 | 27,5 | 11,0 | 30,0 | 43,0 | 64,0 |
| Maïs | 19,5 | | | 30,0 | | 52,5 | 59,0 | 24,0 | 45,0 | 8,0 | | | | |
| Manioc 70 | 7,5 | | | 8,5 | | 4,0 | | | | | | 11,0 | | |
| Pois | 31,5 | | 3,0 | 31,0 | 25,5 | | | | 9,5 | 25,0 | | 27,5 | 33,0 | |
| Tourteau de soja | 15,0 | 30,0 | 28,0 | 22,0 | 21,0 | 32,0 | 34,0 | 33,0 | 12,0 | 12,0 | 21,0 | 12,0 | 9,5 | 12,0 |
| Graines de colza | 8,0 | 13,0 | | | 3,0 | 4,0 | | | 10,0 | 5,0 | 7,0 | | | 5,5 |
| Huile de Soja | | 2,0 | | 5,0 | | | 3,5 | | | | 2,0 | 8,0 | 2,0 | |
| Son de blé | 15,0 | | 12,0 | | 2,0 | 4,0 | | | 2,0 | | | | 9,0 | 6,0 |
| Composition analytique (g/kg MS ou kcal/kg MS) | | | | | | | | | | | | | | |
| MAT | 218 | 248 | 236 | 218 | 228 | 235 | 233 | 257 | 178 | 201 | 221 | 177 | 188 | 175 |
| MG | 61 | 102 | 21 | 77 | 33 | 47 | 67 | 21 | 76 | 41 | 71 | 101 | 41 | 45 |
| AMIDON | 391 | 339 | 366 | 468 | 413 | 440 | 438 | 452 | 480 | 477 | 442 | 453 | 439 | 430 |
| CB | 57 | 55 | 63 | 42 | 59 | 41 | 37 | 38 | 45 | 49 | 40 | 47 | 64 | 60 |
| NDF | 157 | 151 | 194 | 106 | 154 | 135 | 121 | 121 | 144 | 138 | 128 | 120 | 170 | 194 |
| ADF | 70 | 64 | 75 | 49 | 69 | 53 | 47 | 46 | 56 | 61 | 53 | 54 | 71 | 72 |
| ADL | 13 | 13 | 11 | 4 | 9 | 8 | 6 | 6 | 10 | 10 | 11 | 6 | 9 | 13 |
| MM | 67 | 68 | 73 | 63 | 69 | 65 | 63 | 65 | 58 | 63 | 61 | 60 | 64 | 64 |
| EB | 3938 | 4166 | 3780 | 3985 | 3797 | 3889 | 3990 | 3809 | 3987 | 3821 | 4000 | 4055 | 3820 | 3852 |
| Valeur énergétique mesurée (% ou kcal/kg MS) (1) | | | | | | | | | | | | | | |
| CUD E (2) | 78,8 | 79,8 | 78,1 | 86,5 | 81,2 | 82,9 | 85,4 | 86,6 | 80,6 | 83,3 | 82,8 | 84,3 | 80,7 | 77,6 |
| | 3,7 | 1,8 | 2,7 | 2,0 | 2,6 | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,0 | 3,6 | 1,4 | 2,2 |
| ED (2) | 3568 | 3821 | 3395 | 3961 | 3545 | 3706 | 3918 | 3793 | 3694 | 3657 | 3809 | 3931 | 3545 | 3437 |
| | 166 | 85 | 116 | 91 | 112 | 103 | 101 | 90 | 108 | 106 | 93 | 169 | 63 | 97 |

(1) en italique écart type de l'échantillonnage

(2) CUD E : Coefficient d'Utilisation Digestive de l'Énergie, ED : Énergie Digestible.

1.2. Animaux et conduite expérimentale

Quatre vingt quatre porcelets mâles castrés, croisés (Large White Landrace x Large White Piétrain) sont utilisés. Ils sont âgés d'environ 50 jours et pèsent en moyenne 12 kg en

cours d'essai. L'essai s'est déroulé en 6 séries de 14 animaux, au cours desquelles chacun des porcelets a reçu l'un des 14 aliments. Le jour de leur sevrage (réalisé à 28 jours), les porcelets sont placés en loges collectives pendant 6 jours, et consomment à volonté un aliment commercial adapté à

leur âge. Ils sont ensuite placés en cage à bilan individuelle et s'y adaptent durant 5 jours, ils reçoivent alors un aliment standard composé de 70 % de blé, 22 % de tourteau de soja, 5 % d'orge et 3,5 % d'aliment minéral et vitaminique. A la période d'adaptation à l'aliment expérimental (9 jours) fait suite la période de collecte qui dure trois jours. La collecte intégrale des fèces est réalisée grâce à des sachets fixés à l'arrière de l'animal. Par animal, la totalité des fèces est collectée deux fois par jour, et immédiatement placée à -18°C. A la fin de la période de collecte, les excréta d'un même animal sont homogénéisés puis déshydratés au lyophilisateur.

Chaque régime est distribué à raison de deux repas par jour et se présente sous forme de farine humidifiée (1 volume de farine pour 1,7 volume d'eau). Le niveau alimentaire pendant la période d'essai est de 400g d'aliment par jour, soit 3,5 % du poids vif des animaux. Les animaux disposent par ailleurs d'eau à volonté.

1.3. Analyses chimiques

Sur les matières premières et les aliments sont déterminées les teneurs en matière sèche (selon les normes BIPEA pour le pois et AFNOR pour les autres échantillons), en matières azotées totales (MAT, N-Kjeldhal x 6,25 - Kjeld foss, Foss electric), en cellulose brute (Weende), en résidus de Van Soest (protocole BIPEA), en amidon (polarimétrie, Ewers), en matières grasses (après hydrolyse préalable à l'éther de pétrole), en matières minérales (550 °C - 8 h) et en énergie brute. Une partie des fèces lyophilisées est prélevée pour déterminer de la teneur en matière sèche (étuve Chopin 4h à 102 °C), tandis qu'une autre est envoyée au laboratoire de l'ITCF à Boigneville pour déterminer la teneur en énergie brute des fèces.

1.4. Traitement des données

Les résultats des mesures de digestibilité de l'énergie ont été soumis à une analyse de variance selon un dispositif en randomisation totale avec six répétitions. En l'absence d'effet série, seul le facteur aliment est étudié. Dans le but de proposer des modèles de prédiction de la valeur énergétique des aliments, les coefficients d'utilisation digestive de l'énergie, ainsi que les teneurs en énergie digestible de chacun des régimes, ont été soumis à une régression linéaire multiple, les variables explicatives étant les caractéristiques analytiques des régimes et l'indépendance des caractéristiques analytiques des régimes étant assurée. D'autre part, l'indépendance des taux d'incorporation des matières premières autorise l'application de la méthode de la régression multiple pour la détermination de la valeur énergétique des différentes matières premières, la variable expliquée étant la teneur en énergie digestible de l'aliment et les variables explicatives, les taux d'incorporation des matières premières dans l'aliment (selon Perez et al. 1984 et NOBLET et al. 1990). Les coefficients affectés à chaque matière première correspondent alors à la valeur énergétique des matières premières et l'écart-type du coefficient angulaire correspond à l'écart-type de la valeur énergétique obtenue. Tous les résultats présentés sont significatifs au seuil de 5%.

2. RÉSULTATS - DISCUSSION

Afin de mettre en évidence les différences éventuelles entre l'utilisation digestive de l'énergie chez le porcelet et le porc en croissance, les travaux ont porté sur des animaux particulièrement jeunes. Le tube digestif du porcelet est alors en pleine croissance toutefois, il semble que ce développement soit sans effet sur l'utilisation digestive de l'énergie des aliments. En effet, des mesures de digestibilité fécale de l'énergie réalisée à deux semaines d'intervalle, sur des régimes à base de blé et de pois ont montré que, pour des animaux de poids vifs compris entre 8 et 12 kg, la valeur énergétique de l'aliment est inchangée (Jondreville, résultats non publiés). Par ailleurs, le coefficient de variation résiduel est de 2,9 ce qui montre que la variabilité observée ne provient que de l'aliment.

2.1. Valeur énergétique des aliments

2.1.1. Caractéristiques des aliments expérimentaux

La teneur en NDF des régimes varie de 106 (régime 4) à 194 g/kg MS (régimes 3 et 14, pour lesquels l'orge et le son constituent plus de 65 % de l'aliment) tandis que la teneur en amidon varie de 339 (régime 2) à 480 g/kg MS (régime 9, riche en maïs). Conformément au protocole, ces deux variables ne sont que faiblement corrélées ($r = -0,52$). L'aliment le plus gras est l'aliment 2 (riche en graines de colza) alors que l'aliment 3 est presque totalement dépourvu de matières grasses, les teneurs en matières grasses des régimes s'échelonnent de 21 à 102 g/kg MS. La teneur en MAT des régimes est principalement déterminée par le taux d'incorporation du tourteau de soja. Les teneurs en MAT sont comprises entre 175 et 257 g/kg MS (pour les régimes 14 et 8 respectivement). La teneur en matières minérales varie peu, en raison du choix des matières premières, les valeurs sont comprises entre 58 et 73 g/kg MS.

2.1.2. Digestibilité des aliments

L'utilisation digestive et la valeur énergétique des régimes sont présentées au tableau 3. Les aliments dont l'énergie est la plus digestible sont les aliments 8 et 4 (CUD E de 86,6 % et 86,5 % respectivement). Inversement, ceux dont l'énergie est moins digestible sont les aliments 3 et 14 (CUD E de 78,1 % et 77,6 % respectivement). Plusieurs critères analytiques peuvent expliquer cet écart de 8,7 points dans la digestibilité de l'énergie, en effet, les aliments 4 et 8 apparaissent simultanément pauvres en fibres (NDF), et relativement riches en amidon, en matières grasses et MAT, tandis que les aliments 3 et 14 sont riches en fibres (NDF).

2.2. Prédiction de la valeur énergétique des aliments chez le porcelet en post sevrage

2.2.1. Prédiction de l'utilisation digestive de l'énergie

Le modèle de prédiction de l'utilisation digestive de l'énergie qui minimise l'écart-type résiduel et qui est donc le plus précis est celui qui prend en compte les teneurs en résidu NDF et en matières grasses (tableau 4). L'équation correspondant

te (CUD E 2, tableau 4) conduit à un écart-type résiduel de 0,9 point de digestibilité de l'énergie. Les teneurs en résidu NDF et ADF des régimes expliquent respectivement 84 % et 80 % de la variabilité de l'utilisation digestive de l'énergie des aliments (CUD E 1, CUD E 3), tandis que la teneur en cellulose brute (CUD E 4) n'en explique que 67 %. Par ailleurs, d'après ces résultats, il apparaît que la présence de fibres insolubles (NDF) dans les aliments limite autant l'utilisation digestive de l'énergie chez le porcelet en post-sevrage que chez le porc charcutier, dans la plage de variation testée. En effet, l'équation CUD E 1 est très similaire à celle obtenue par NOBLET et PÉREZ (1993) qui proposent pour le porc charcutier la relation suivante $CUD\ E = 96,4 - 0,108\ NDF$ ($etr = 1,9$; $r^2 = 0,86$). Cette analogie doit toutefois être nuancée par le fait que la plage de variation de la teneur en NDF du présent essai est plus restreinte que celle des travaux de ces derniers auteurs (106-194 vs 44-261 g/kg MS). La

crainte de formuler des régimes particulièrement inappétent pour le porcelet en post-sevrage est en partie responsable de cette restriction. Par ailleurs, le fait que les matières grasses figurent négativement dans les équations de prédiction de la digestibilité de l'énergie, peut s'expliquer par le fait qu'elles représentent un composant organique peu digestible, particulièrement pour le porcelet. Il a en effet été montré que la digestibilité des matières grasses est moindre chez le porcelet en post-sevrage que chez le porc charcutier. Ainsi, BERSCHAUER (1986) avance que le porcelet accroît son aptitude à digérer les matières grasses à partir du sevrage et jusqu'à l'âge d'environ deux mois. CERA et al. (1989) ont également montré que la digestibilité des matières grasses était une fonction croissante de l'âge durant les quatre semaines qui suivent le sevrage. Pour de l'huile végétale (maïs et noix de coco), cet accroissement de la digestibilité des matières grasses est de l'ordre de 4 % par semaine écoulée.

Tableau 4 - Équations de prédiction de la valeur énergétique des aliments pour le porcelet en post-sevrage (nutriments, coefficient d'utilisation digestive et valeur énergétique exprimés respectivement en g/kg MS, % et kcal/kg MS)

| | | | | | |
|-----------|--------------|------------|---------|------------------|------------|
| CUD E 1 = | - 0,100 NDF | | + 96,6 | ($r^2 = 0,84$) | etr = 1,2) |
| CUD E 2 = | - 0,115 NDF | -0,355 MG | + 100,8 | ($r^2 = 0,92$) | etr = 0,9) |
| CUD E 3 = | - 0,259 ADF | | + 97,6 | ($r^2 = 0,80$) | etr = 1,4) |
| CUD E 4 = | - 0,251 CB | | + 94,5 | ($r^2 = 0,67$) | etr = 1,8) |
| ED 1 = | - 5,172 NDF | + 0,498 EB | + 2206 | ($r^2 = 0,95$) | etr = 42) |
| ED 2 = | - 12,623 ADF | + 0,597 EB | + 1767 | ($r^2 = 0,91$) | etr = 58) |
| ED 3 = | - 12,108 CB | + 0,640 EB | + 1417 | ($r^2 = 0,84$) | etr = 79) |
| ED 4 = | - 5,241 NDF | + 2,332 MG | + 4325 | ($r^2 = 0,94$) | etr = 48) |

r^2 : Coefficient de détermination

etr : Écart type résiduel

2.2.2. Prédiction de la teneur en énergie digestible

La prédiction de la teneur en énergie digestible sur la base de la teneur en énergie brute et en résidu NDF présente le plus faible écart-type résiduel. La considération de ces deux facteurs autorise la prédiction de la teneur en énergie digestible à 42 kcal/kg MS près (ED 1, tableau 4). L'équation ED 4 permet de déterminer la teneur en énergie digestible d'un aliment à partir de ses teneurs en matières grasses et en NDF avec une précision similaire à ED 1. De même que pour le coefficient de digestibilité de l'énergie, la prise en compte de la teneur en matières minérales de l'aliment ne permet pas d'améliorer la précision de la prédiction, contrairement aux modèles établis par NOBLET et PÉREZ (1993). Ceci peut s'expliquer par une moindre variabilité de la teneur en matières minérales dans le présent essai que dans celui de NOBLET et PÉREZ (1993 ; 58-73 g/kg MS vs 49-108 g/kg MS). Par ailleurs, la détermination de la valeur énergétique des régimes à partir des équations proposées par NOBLET et PÉREZ (1993), prenant en compte les fibres (NDF), permet d'estimer correctement la teneur en énergie digestible et le coefficient d'utilisation digestive de l'énergie pour le porcelet en post-sevrage.

2.3. Détermination de la valeur énergétique des 9 matières premières

Les résultats obtenus (tableau 5) ont été comparés à ceux édités annuellement dans la table ITP-ITCF-AGPM (1994) et, pour certaines matières premières, à ceux obtenus par NOBLET et al. (1990), par une méthode de calcul similaire. A cet égard il convient de remarquer que d'une part, dans le présent essai comme dans celui de NOBLET et al. (1990), la représentativité des matières premières n'est assurée que par un unique lot et que d'autre part les valeurs nutritionnelles figurant dans les tables sont généralement obtenues avec des régimes simples (digestibilité calculée par différence). La comparaison est alors double : il s'agit de comparer des valeurs obtenues sur porcelet dans un contexte de régime complexe à des valeurs obtenues sur porc charcutier dans un contexte de régime simple.

La valeur énergétique des matières premières riches en matières grasses (huile de soja, graines de colza) et en fibres (son, graines de colza) présentent des écarts-types élevés, ceci peut s'expliquer par le fait que la précision de la détermination de la valeur énergétique des matières

premières (écart-type du coefficient angulaire) est fonction de la plage de variation des taux d'incorporation pratiqués (plus cette plage est restreinte, plus l'écart-type est élevé). Or, les contraintes de formulation des aliments limi-

tent particulièrement les taux d'introduction de ces matières premières, ce qui par la même entraîne un défaut de précision dans la détermination de leur valeur énergétique.

Tableau 5 - Valeur énergétique des 9 matières premières incorporées dans les 14 aliments (ED en g/kg MS et CUD E en %)

| | Essai | | | Tables ITP ITCF AGPM 94 | Noblet et al. (1990) |
|-------------------------|-------|------------|-------|----------------------------|-------------------------|
| | ED | Écart-type | CUD E | ED | ED |
| Blé | 3860 | 50 | 87,3 | 3830 | 3866 |
| Orge 6 rangs | 3460 | 40 | 78,5 | 3387 | 3609 |
| Maïs | 3850 | 40 | 85,3 | 3950 | 3777 |
| Manioc 70 | 3440 | 290 | 84,7 | 4071 | 3788 |
| Pois | 3880 | 50 | 87,9 | 3950 | 3878 |
| Tourteau de soja | 4040 | 70 | 85,3 | 3980 | 3907 |
| Graines de colza | 4400 | 140 | 63,7 | 5410 | - |
| Huile de soja | 7810 | 390 | 82,3 | 8585 | - |
| Son de blé | 2570 | 170 | 55,4 | 3028 | - |

Les plus importants écarts de valeurs entre les données de la littérature et celles de l'essai se manifestent avec les matières premières riches en matières grasses et en fibres. Ainsi, les différences entre les teneurs en énergie digestible issues des tables et celles obtenues dans l'essai atteignent 1010 kcal/kg MS pour les graines de colza et 775 kcal/kg MS pour l'huile de soja. L'énergie du son de blé apparaît également nettement moins bien digérée (-458 kcal/kg MS) par le porcelet en situation de régime complexe que par le porc charcutier en situation de régime simple. La valeur énergétique du manioc apparaît également beaucoup plus faible dans le présent essai que dans les tables (-631 kcal/kg MS). Concernant les teneurs en énergie digestible du blé, de l'orge, du maïs, du tourteau de soja et, dans une moindre mesure, du pois, les valeurs obtenues sur porcelets avec des régimes complexes sont équivalentes à celles obtenues sur porc de 45 kg (régimes simples ou complexes).

Les écarts de valeurs observés pour les matières premières faiblement digestibles peuvent provenir d'une surestimation des valeurs tables. En effet, la méthode par différence est généralement appliquée avec des régimes de base particulièrement digestibles, pour lesquels les interactions digestives avec la matière première testée sont limitées. La détermination de la valeur nutritionnelle d'une matière première par différence maximise donc l'estimation de sa digestibilité. Il semble que les écarts observés entre les valeurs tables et les valeurs obtenues sur porcelet dans le présent essai s'expliquent en majeure partie par ce phénomène déjà observé par NOBLET et al. (1993). En effet, puisque pour une teneur en NDF comprise entre 106 et 194 g/kg MS, la teneur en

fibres de l'aliment a le même impact sur l'utilisation digestive de l'énergie par le porcelet que par le porc de 45 kg, les écarts constatés pour le son de blé et les graines de colza ne semblent pas pouvoir être attribués uniquement à une physiologie digestive particulière du porcelet.

De manière plus générale, le calcul de la teneur en ED des régimes à partir de données des tables (ITP-ITCF-AGPM, 1994) pondérées des taux d'incorporation dans les régimes, aboutit à une surestimation de la teneur en ED de l'ordre de 76 kcal/kg MS en moyenne (soit 2%). Ces écarts sont particulièrement élevés pour le régime 1 (228 kcal/kg MS) et les régimes 4, 6, 9 et 12 (129 kcal/kg MS en moyenne). Cette surestimation apparaît liée principalement aux taux de matières grasses présents dans le régime et peut être caractérisée par la relation suivante :

$$\text{Écart 1 (kcal/kg MS)} = 1,4 \text{ MG (g/kg MS)} \\ (r^2 = 0,74 ; \text{etr} = 53 \text{ kcal/kg MS})$$

Cette équation peut être affinée par l'élimination du régime 1, dont la surestimation de la teneur en énergie digestible réside sans doute dans sa richesse en fibre. La relation est alors la suivante :

$$\text{Écart 2 (kcal/kg MS)} = 1,2 \text{ MG (g/kg MS)} \\ (r^2 = 0,84 ; \text{etr} = 35 \text{ kcal/kg MS})$$

Ces observations semblent donc confirmer que l'utilisation digestive de l'énergie contenue dans les matières grasses est légèrement inférieure chez le porcelet en post sevrage que chez le porc charcutier.

CONCLUSION

L'utilisation digestive de l'énergie contenue dans les aliments peut être prédite pour le porcelet en post-sevrage sur la base de deux critères analytiques : la teneur en résidu NDF et la teneur en matières grasses, tandis que la teneur en énergie digestible peut être estimée à partir de la teneur en NDF et en énergie brute ou en matières grasses de l'aliment. La digestibilité de l'énergie d'un aliment peut être prédite de la même façon chez le porc charcutier et le porcelet en post-sevrage à partir de la teneur en NDF (pour des teneurs en NDF comprises entre 106 et 194 g/kg MS). Il semble par ailleurs que le porcelet présente une aptitude moindre à digérer l'énergie contenue dans les matières grasses végétales que le porc charcutier.

La prise en compte des valeurs énergétiques des matières premières issues des tables pour la détermination de la valeur énergétique d'un aliment entraîne une légère suresti-

mation de la valeur énergétique des aliments destinés au porcelet en post-sevrage. Cette surestimation devient nette lorsque les aliments sont riches en matières grasses ou en fibres. Outre par la méthodologie (régime simple vs régime complexe) l'écart observé dans cet essai peut s'expliquer par des différences de physiologie digestive entre le porcelet sevré et le porc charcutier, notamment pour les matières grasses et peut-être pour les fibres insolubles (NDF). Un essai similaire conduit à partir des mêmes aliments sur des animaux plus âgés permettrait de discerner quelle est l'importance relative de ces deux phénomènes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'association ÉLITE pour sa participation financière à la réalisation de cette étude. Leurs remerciements vont également à M. Jean NOBLET pour la relecture critique qu'il a apporté à cet article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERSCHAUER F., 1986. *Pig News and Information.*, 7, 2, 153-158.
- CERA K.R., MAHAN D.C., REINHART G.A., 1989. *J. Anim. Sci.*, 68, 384-391.
- ITP-ITCF-AGPM., 1994. *Tables d'alimentation pour les porcs*, ITP éd., Paris, 31 p
- 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 éd., Paris, 106 p.
- NOBLET J., FORTUNE H., DUPIRÉ C., DUBOIS S., 1990. *Journées Rech. Porcine en France*, 22, 175-184.
- NOBLET J., PÉREZ J.M., 1993. *J. Anim. Sci.*, 71, 3389-3398.
- NOBLET J., SHI X.S., KAREGE C., DUBOIS S., 1993. *Journées Rech. Porcine en France*, 25, 97-112.
- NOBLET J., SHI X.S., FORTUNE H., DUBOIS S., LECHEVESTRIER Y., CORNIAUX C., SAUVANT D., HENRY Y., 1994. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 235-250.
- PÉREZ J.M., RAMIHOINE R., HENRY Y. 1984. *Prédictions de la valeur énergétique des aliments composés destinés au porc : étude expérimentale*. INRA, Paris.