

Modélisation des composantes de la dépense énergétique chez le porc

J. VAN MILGEN, J. NOBLET, S. DUBOIS

*Institut National de la Recherche Agronomique
Station de Recherches Porcines - 35590 Saint-Gilles*

Modélisation des composantes de la dépense énergétique chez le porc

La production de chaleur représente 50 à 100% de l'EM ingérée chez le porc. Elle est généralement estimée à partir des échanges respiratoires (O_2 , CO_2 et CH_4) de l'animal (calorimétrie indirecte). L'objectif du travail présenté a été de développer un modèle d'analyse de la cinétique de la production de chaleur journalière dans lequel 3 composantes sont considérées: la production de chaleur au jeûne (FHP), l'effet thermique de l'aliment (TEF) et la chaleur liée à l'activité physique (HP_{act}). Le TEF est divisé en une composante court terme (TEF_{ST}) liée essentiellement à l'ingestion et la digestion et une composante long terme (TEF_{LT}) liée au métabolisme des nutriments. FHP est mesurée après une journée de jeûne. HP_{act} est estimée à l'aide de capteurs de force ou de la mesure de la station debout. L'utilisation du modèle est illustrée sur 3 groupes de données obtenues chez des porcelets en groupe (26 kg), des porcs en croissance en individuel (69 kg) et des truies gravides en individuel. FHP est la composante essentielle de la production de chaleur (30 à 60% de l'EM ingérée). TEF_{ST} représente une fraction relativement constante de l'EM ingérée (7%) alors que TEF_{LT} est beaucoup plus variable (2 à 9% de l'EM ingérée). Enfin, HP_{act} est variable lorsqu'on l'exprime par rapport à l'EM ingérée (8% chez les porcelets et les porcs en croissance contre 20% chez la truie) mais plus stable relativement à l'EM utilisée pour l'entretien.

Modelling the components of heat production in swine

In swine, 50 to 100% of the ingested energy is dissipated as heat. Heat production of an animal can be measured using indirect calorimetry, which is based on the concept that heat is produced through oxidation of nutrients. A technique was developed that allows modelling the dynamics of heat production in large, open-circuit respiration chambers. The model assumes the existence of three major components of heat production: the fasting heat production (FHP), the thermal effect of feeding (TEF) and heat production due to physical activity (HP_{act}). The TEF can be further divided in a short-term component (TEF_{ST}), which is due to processes such as ingestion and digestion and a long-term component (TEF_{LT}), which is mainly due to metabolism of nutrients. The FHP corresponds to the asymptotic heat production after at least one full day of fasting. Physical activity is measured through force sensors or through measurement of the duration of standing. Three data sets with heat production measured in group-housed piglets (26 kg), individually-housed growing pigs (69 kg) and gestating sows were used to discuss the variation in heat production. The FHP was the main component of heat production (30 to 60% of ME intake), whereas TEF_{ST} represented a relatively constant fraction of ME intake (approximately 7%). The TEF_{LT} was more variable, and ranged between 2 and 9% of ME intake. The HP_{act} represented between 8 (piglets and growing pigs) and 20% of ME intake (gestating sows); this proportion is affected by the feed intake level above maintenance.

INTRODUCTION

Le coût alimentaire représente la part la plus élevée du coût de production du porc. En conséquence, il est important d'adapter au mieux les apports aux besoins nutritionnels. Traditionnellement, il est admis que le besoin énergétique des animaux comprend deux composantes, l'une correspondant à l'entretien et l'autre à la production. L'entretien est défini comme le niveau d'alimentation auquel les besoins de nutriments sont satisfaits pour assurer la continuité des processus vitaux et qu'il n'y ait aucun gain ou perte de nutriments au niveau de l'animal (ARC, 1981). Bien que sa définition soit claire, ce concept est difficile à mesurer. Par exemple, la croissance peut être considérée comme un processus vital pour un jeune animal. Par conséquent, l'entretien ne représente pas forcément un état physiologique bien défini pour un animal en croissance.

L'énergie ingérée est soit excrétée, soit déposée, soit dissipée sous forme de chaleur. Cette dernière fraction, qui représente plus de 50% de l'énergie ingérée, correspond à la somme des productions de chaleur liées à l'entretien, à l'activité physique et aux pertes d'énergie pour les productions (dépôts de tissus, lait, ...). L'importance de la production de chaleur souligne l'intérêt de bien quantifier ses composantes. Dans ce but, nous avons développé une technique de modélisation (VAN MILGEN et al, 1997) qui permet d'avoir une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans la production de chaleur de l'animal. L'objectif de ce texte est la description des hypothèses réalisées dans le modèle et d'illustrer celles-ci par des résultats issus d'expériences récentes.

1. LA CALORIMÉTRIE

La production de chaleur d'un animal peut être mesurée par calorimétrie indirecte et est généralement utilisée pour le calcul de la quantité d'énergie fixée. Cette méthode est basée sur le concept que la chaleur peut être produite uniquement par l'oxydation des nutriments (glucides, protéines et lipides). La chaleur produite par l'oxydation de chaque nutriment est accompagnée par un profil spécifique de consommation d'oxygène (O_2) et de production de gaz carbonique (CO_2), qui sert à calculer la production de chaleur (BROUWER, 1965).

Nous avons développé un modèle d'analyse des données qui permet d'étudier les cinétiques d'échanges des gaz dans une chambre respiratoire (VAN MILGEN et al, 1997). Le modèle considère la chambre respiratoire comme un compartiment de volume physique fixe dans lequel des gaz sont extraits. L'objectif du modèle est la prédiction de la consommation d' O_2 et de la production de CO_2 par l'animal afin que les observations et les prédictions de $[O_2]$ et $[CO_2]$ dans la chambre respiratoire soient les plus proches possible. Le modèle prend en compte des aspects physiques d'échanges des gaz (changements de température et de pression atmosphérique, débit d'extraction) aussi bien que la consommation d' O_2 et la production de CO_2 par l'animal. Les aspects physiques d'échange des gaz sont pilotés par des mesures continues de la pression atmosphérique, de la température, et le taux d'extraction du gaz.

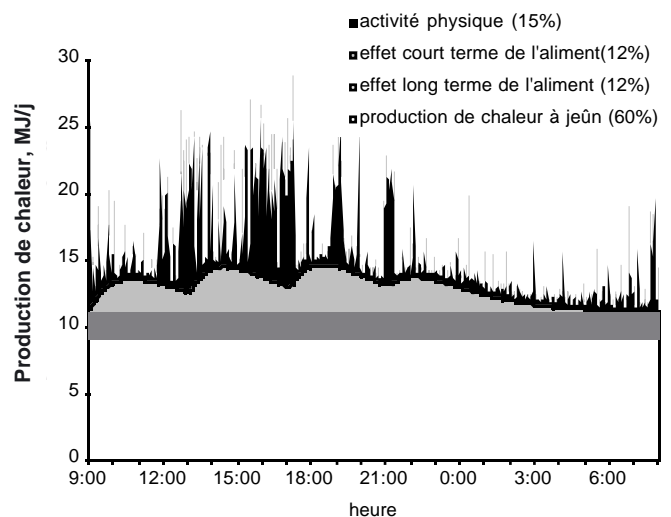
2. CONSOMMATION D'OXYGÈNE ET PRODUCTION DE GAZ CARBONIQUE PAR L'ANIMAL

Pour expliquer la variation de consommation d' O_2 et de production de CO_2 par l'animal, nous avons proposé quatre composants majeurs de la production de chaleur, à savoir la production de chaleur au jeûne (FHP; fasting heat production), l'effet long terme de l'aliment (TEF_{LT}; long-term thermic effect of feeding), l'effet court terme de l'aliment (TEF_{ST}; short-term thermic effect of feeding) et l'activité physique (HP_{act}). La figure 1 illustre les composantes de la production de chaleur d'un porc en croissance (60 kg) qui a reçu 4 repas par jour (9h00, 13h00, 17h00, et 21h00). La production de chaleur moyenne est 15 MJ/j mais il existe une variabilité importante dans la journée. La production de chaleur est plus élevée pendant la période diurne que pendant la période nocturne, principalement en raison du TEF_{ST} et du niveau plus élevé de l'activité physique de l'animal pendant le jour.

Il est évident que la production de chaleur au jeûne ne peut pas être mesurée chez un animal nourri. Aussi, suite aux mesures à l'état nourri, l'aliment est enlevé pendant au moins 24 h et la production de chaleur est mesurée. Bien que la production de chaleur au jeûne puisse varier selon la durée de la période du jeûne, la production de chaleur atteint généralement une valeur minimale et stable à la fin de la période nocturne. Il est alors supposé que cette valeur minimale reflète la FHP d'un animal dans un état catabolique, celle-ci étant en rapport avec l'état anabolique (nourri). En d'autres termes, cette estimation de FHP peut être affectée par l'état nutritionnel antérieur.

De même qu'au jeûne, les animaux nourris approchent aussi un niveau constant de production de chaleur à la fin de la période nocturne (figure 1). Cette production de chaleur basale (BHP; basal heat production) est plus facile à observer dans une situation de nombre de repas limité que lorsque les animaux sont nourris à volonté (qui peut inclure une consommation nocturne). La différence entre BHP et FHP

Figure 1 - Composantes de la production de chaleur d'un porc en croissance (60 kg) recevant 2,4 MJ EM ($kg PV^{0,60}$)/j en quatre repas à 9h00, 13h00, 17h00, et 21h00



est que le premier reflète un état post-absorptif et anabolique alors que le deuxième représente un état catabolique. La production de chaleur associée à des processus métaboliques à long terme tels que le dépôt de protéines et de lipides est incluse dans BHP. Le TEF_{LT} a été défini comme la différence entre BHP et FHP et est indicatif de la production de chaleur due aux processus d'anabolisme à long terme, relativement au coût de catabolisme. Bien que BHP soit mesuré chez les animaux nourris, sa décomposition entre FHP et TEF_{LT} dépend des conditions de la mesure de FHP. Par exemple, si FHP est mesurée après une période de jeûne de 48 h (et non 24 h), son estimation sera probablement inférieure et une plus grande fraction de BHP sera attribuée à TEF_{LT} .

La consommation d'aliment (la quantité ingérée ainsi que l'heure d'ingestion) est mesurée de façon continue. La durée de la production de chaleur associée avec un repas dépasse largement le temps de consommation de l'aliment et est probablement due à la production de chaleur liée à l'ingestion, à la digestion et à l'absorption des nutriments. Le TEF_{ST} a été modélisé comme une distribution gamma du temps depuis la prise alimentaire (MATIS et al, 1989). La production de chaleur due au TEF_{ST} peut se cumuler pour des repas successifs (figure 1).

L'activité physique des animaux a été mesurée par l'interruption d'une barre infrarouge (indicative pour la station debout ou assis) et, plus récemment, au moyen de capteurs de force sur lesquels la cage métabolique est montée. Tout mouvement vertical provoqué par les animaux résulte en un signal électrique qui est utilisé comme entrée du modèle et auquel une consommation d' O_2 et une production de CO_2 sont attribuées. Cette méthode paraît extrêmement sensible et détecte également des mouvements quand les animaux sont couchés.

3. L'ESTIMATION DES PARAMÈTRES

Le modèle est décrit par une série d'équations différentielles qui prennent en compte la consommation d' O_2 et la production de CO_2 par l'animal aussi bien que des aspects physiques d'échange des gaz dans la chambre respiratoire. Le modèle prédit les $[O_2]$ et $[CO_2]$ dans la chambre respiratoire à partir des entrées mesurées en relation avec les échanges de gaz (la température, la pression atmosphérique et l'humidité dans la chambre respiratoire et le renouvellement de l'air dans la chambre respiratoire) et avec l'animal (activité physique, quantités et heures des prises alimentaires). Ces entrées du modèle sont saisies à raison de 50 mesures par seconde mais seules les moyennes d'intervalles de 10 secondes sont utilisées dans les calculs. L'ensemble des données d'une journée de mesure contient donc approximativement 8640 lignes. Les paramètres du modèle sont ensuite estimés de façon à minimiser les écarts entre les données observées et les valeurs prédites en utilisant le logiciel ACSL/Optimize (MGA SOFTWARE, 1997).

La procédure de l'analyse des données décrite ci-dessus est utilisée depuis 4 années pour analyser les composants de la production de chaleur chez des porcelets, des porcs en croissance et des truies gravides, avec des animaux en loges individuelles ou en groupe. L'objectif du modèle est d'expli-

quer la cinétique de la production de chaleur avec un nombre limité d'entrées; mais l'analyse devient difficile quand il y a un chevauchement entre variables d'entrées. Par exemple, chez des porcelets en groupe qui effectuent un grand nombre de repas, il est difficile de dissocier clairement la production de chaleur due à l'activité physique et le TEF_{ST} . Les résultats de quelques études conduites récemment à la Station de Recherches Porcines ont été utilisés pour illustrer quelques applications du modèle.

4. LES DONNÉES

La première étude (A) concerne l'effet de la température ambiante sur les performances et la production de chaleur de porcelets élevés en groupes de cinq et exposés à une température ambiante de 23 ou 33°C (3 groupes par température). Les porcelets disposaient d'eau et d'aliment à volonté; la consommation d'aliment était enregistrée pour chaque animal individuellement. Les échanges respiratoires sont mesurés à partir de 22 kg de poids vif (PV) et pendant 12 jours à l'état nourri suivis d'une journée à jeun.

Les effets de la teneur en protéines de l'aliment et de la fréquence de distribution des repas sur la production de chaleur chez des porcs en croissance (60-65 kg de PV) ont été étudiés dans la deuxième étude (B). Cette expérience est décrite en détail par LE BELLEGO et al. (2000).

La troisième étude (C) se focalisait sur l'effet du niveau de fibres sur les composantes de la production de chaleur chez des truies en gestation. Pendant quatre stades successifs de la gestation (40 à 110 jours de gestation), les truies recevaient un régime, soit pauvre en fibres (14 % NDF), soit riche en fibres (40 % NDF). L'aliment était distribué en un seul repas et apportait 37,2 MJ d'énergie digestible (ED) par jour pour les deux régimes. Cette expérience est décrite plus en détail par RAMONET et al. (2000).

5. LA PRODUCTION DE CHALEUR AU JEÛNE (FHP)

Le tableau 1 (p 238) liste les PV, l'énergie métabolisable (EM) ingérée, la FHP et la HP_{act} ainsi que les quotients respiratoires pour les trois études. Il est évident que le PV est le facteur principal qui distingue les FHP observées dans les trois études. Pour les animaux matures, la FHP est généralement exprimée en fonction de $PV^{0,75}$ alors que l'exposant le plus approprié pour le PV est voisin de 0,60 chez les porcs en croissance (VAN MILGEN et al, 1998). Une régression non-linéaire de FHP sur le PV ($\ln(FHP) = \ln(a PV^b)$) sur les données des trois expériences indique un exposant encore plus faible ($b = 0,54$) où $a = 1005 \text{ kJ}/(\text{kg PV})^{0,54}/j$ ($ETR = 8,8 \%$ de FHP). Cependant, il est démontré que le niveau alimentaire qui précède la période de jeûne influence la valeur de FHP, en relation notamment avec la variation de dépense énergétique des viscères (KOONG et al, 1983; VAN MILGEN et al, 1998). Pour mieux prendre en compte cet effet du niveau alimentaire, le modèle $\ln(FHP) = \ln[(a_1 + a_2 EM/PV^{b_2})PV^{b_1}]$ a été utilisé. Il inclut un composant indépendant du niveau d'alimentation (a_1 ; kJ/j) ainsi qu'un composant qui est lié à l'EM ingérée (a_2). Les exposants b_1 et b_2 n'étaient pas différents l'un de l'autre, ni de 0,60. Par conséquent, la FHP peut

Tableau 1 - Composantes de la production de chaleur au jeûne (moyenne et écart type) (1)

Expérience	A	B	C
Nb observations	6	69	19
Logement	groupes de 5	Individuel	Individuel
PV après le jeûne (kg)	28,9 (2,3)	63,8 (4,0)	263,5 (24,4)
EM à l'état nourri (MJ/j)	22,70 (4,89)	31,02 (1,64)	34,64 (1,59)
FHP (MJ/j)	6,17 (0,94)	9,54 (0,76)	20,45 (2,44)
HP_{act} (MJ/j)	1,68 (0,51)	2,05 (0,46)	5,66 (1,88)
QR_{FHP}	0,82 (0,03)	0,80 (0,05)	0,78 (0,07)
QR_{activité}	0,72 (0,10)	0,78 (0,17)	0,82 (0,09)

(1) PV = poids vif, EM = énergie métabolisable, FHP = production de chaleur au jeûne (fasting heat production), HP_{act} = production de chaleur due à l'activité physique, QR = quotient respiratoire

être exprimée comme

$$FHP = (645 + 0,056 EM/PV^{0,60}) PV^{0,60},$$

avec un ETR de 8,3 %.

En d'autres termes, des porcs en croissance qui consomment 2500 à 3000 kJ EM/(kg PV)^{0,60}/j auront une FHP voisine de 800 kJ/(kg PV)^{0,60}/j. Les truies gestantes sont nourries de façon restreinte (1200 kJ EM/(kg PV)^{0,60}/j), ce qui résulte en une FHP plus faible (710 kJ/(kg PV)^{0,60}/j). Récemment, nous avons rapporté que la FHP des porcs en croissance se situe entre 900 et 1000 kJ/(kg PV)^{0,60}/j (VAN MILGEN et al., 1998). Toutefois, dans cette étude, la FHP a été corrigée uniquement pour le coût de l'activité pendant la station debout. Or les études qui utilisent simultanément des capteurs de force et des barrières infrarouges montrent que seulement 40 à 50 % de l'activité physique sont détectés pendant la station debout. Dans la mesure où le coût de l'activité physique représente environ 200 kJ/(kg PV)^{0,60}/j, la différence entre les estimations de FHP des deux études s'explique essentiellement par la différence associée aux méthodologies employées.

Une analyse plus détaillée peut être obtenue en analysant la FHP pour chaque expérience. L'effet de la température ambiante sur les composantes de la production de chaleur de porcs élevés en groupe était étudié dans l'expérience A. La FHP à 23°C était 16 % plus élevée qu'à 33°C (890 contre 750 kJ/(kg PV)^{0,60}/j). Une part importante de la baisse observée à 33°C peut être attribuée à la diminution de l'ingestion (26 % en moins à 33°C). Ni la composition alimentaire (niveaux différents de matières azotées), ni la fréquence d'alimentation influençaient la FHP des porcs en croissance (expérience B). De la même façon, il n'y avait pas de différence de FHP entre des truies gestantes qui recevaient des régimes riches ou pauvres en fibres. Enfin, indépendamment de l'augmentation du PV, la FHP a augmenté régulièrement avec l'avancement de la gestation, probablement en relation avec la redistribution d'énergie des tissus maternels vers les tissus fœtaux lors de la mise à jeun.

Pour les trois expériences, le quotient respiratoire pendant la phase de jeûne est en moyenne de 0,80. Ceci indique que, bien que le glucose puisse contribuer à la production de chaleur pendant la phase de jeûne, l'oxydation d'acides gras et d'acides aminés paraît prépondérante. On peut en particulier penser que des tissus comme le tractus digestif et

le foie, dont l'activité métabolique et la masse protéique diminuent lors de la mise à jeun, vont fournir des nutriments pour la couverture de la dépense énergétique d'entretien.

6. L'ACTIVITÉ PHYSIQUE (HP_{act})

Les porcs en croissance logés individuellement sont debout 2 à 4 h/j dont environ 1 h pour la prise alimentaire. Pendant la station debout, la production de chaleur augmente d'environ 60%. Cette augmentation est élevée chez le porc par rapport à d'autres espèces domestiques (NOBLET et al., 1993).

Comme pour la FHP, la variation de PV est probablement le critère le plus important qui affecte la variation de HP_{act}. Cependant, le mode de logement (interactions sociales, espace disponible, ...) peut également affecter HP_{act}. L'analyse de l'HP_{act} (kJ/j) pour les animaux en logement individuel (expériences B et C) indique que

$$\ln(HP_{act}) = \ln(130 PV^{0,70}).$$

Néanmoins, une variation considérable existe entre animaux (ETR = 19 % de HP_{act}). Cette variabilité était encore plus importante pour les données obtenues sur les animaux à jeun (ETR = 31 % de HP_{act}). Les animaux de l'expérience A (logés en groupes) ont produit plus de chaleur liée à l'activité physique (190 kJ/kg PV^{0,70} en moyenne) que les animaux en logement individuel. Le niveau d'activité physique représente donc une source de variation importante de la dépense d'énergie du porc qu'il est important de considérer pour corriger ou ajuster les mesures de production de chaleur.

Nos résultats montrent également que la production de chaleur liée à l'activité physique représente entre 8 et 20% de l'EM ingérée (tableau 2). La contribution la plus élevée est observée chez la truie gravide dont le niveau alimentaire se situe juste au-dessus de la dépense d'entretien et qui peut manifester des niveaux d'activité physique très variables (stéréotypie) (RAMONET et al., 2000). Chez le porcelet en groupe ou le porc en croissance élevé individuellement, de 8 à 13% de l'EM sont utilisés pour l'activité physique. Ces valeurs plus faibles sont en partie dues au niveau d'alimentation plus élevé puisque si l'on exprime HP_{act} relativement à la FHP, les valeurs deviennent très comparables (34, 26 et 33% pour expériences A, B et C). En d'autres termes, bien

Tableau 2 - Effet de l'état physiologique et du régime sur l'utilisation de l'EM (1)

Expérience	A		B		C	
	23 °C	33 °C	Haute teneur en protéine	Basse teneur en protéine	Basse teneur en fibres	Haute teneur en fibres
PV (kg)	33,2	28,2	69,8	69,4	266	264
EM ingérée (MJ/j)	22,6	15,1	32,8	32,4	35,4	34,9
Utilisation de l'EM, %						
Énergie retenue	46,1	39,0	42,8	46,9	15,2	8,3
Production de chaleur	53,9	61,0	57,2	53,1	84,8	91,7
FHP	31,0	35,8	30,9	30,8	56,9	59,8
TEF total	12,9	12,3	18,3	14,6	7,6	12,0
TEF _{LT}			9,0	7,0	1,3	4,3
TEF _{ST}			9,3	7,6	6,3	7,7
HP_{act}	10,0	12,9	7,9	7,7	18,6	20,2

(1) PV = poids vif, EM = énergie métabolisable, FHP = production de chaleur au jeûne (fasting heat production), TEF = l'extra chaleur (thermic effect of feeding), TEF_{LT} = l'extra chaleur à long terme, TEF_{ST} = l'extra chaleur à court terme, HP_{act} = production de chaleur due à l'activité physique, QR = quotient respiratoire

que très variable entre animaux d'un même stade physiologique, HP_{act} représente une fraction relativement stable de la dépense énergétique d'entretien.

7. L'EXTRA CHALEUR (TEF)

Comme indiqué ci-dessus, la répartition du TEF entre une composante à court terme (TEF_{ST}) et une composante à long terme (TEF_{LT}) est proposée. Le TEF_{ST} est dû à l'ingestion et la digestion de l'aliment, alors que le TEF_{LT} est associé avec le métabolisme des nutriments. Evidemment, cette séparation est arbitraire parce que les processus d'ingestion, d'absorption et de métabolisme se produisent de façon continue et une distinction claire de la production de chaleur associée à chaque processus ne peut pas être faite avec les variables d'entrée considérées dans notre modèle.

Dans les expériences avec les porcs en croissance (B) et les truies (C), les deux composantes de TEF ont été estimées (le chevauchement entre l'activité physique et les prises alimentaires rend cette distinction difficile pour l'expérience A). Le TEF_{ST} équivaut à approximativement 8 % de l'EM ingérée dans les deux expériences alors que TEF_{LT} représente une fraction plus variable de l'EM (tableau 2). Cela suggère que le coût énergétique lié à l'ingestion et à la digestion est relativement indépendant de l'utilisation finale des nutriments et, par conséquent, correspond à une fraction relativement constante de l'EM. Une fois que les nutriments sont absorbés, le rendement d'utilisation dépend d'abord du niveau d'alimentation au-dessus de l'entretien mais également de l'utilisation finale de l'énergie. Ainsi, la faible valeur du TEF_{LT} mesurée chez les truies est liée au fait que leur niveau d'alimentation est proche de l'entretien alors que les porcs en croissance recevaient 2,2 à 2,4 fois leur niveau d'entretien. La nature du nutriment peut également affecter son utilisation.

Ainsi, dans l'expérience B, la teneur en protéines a été réduite, parallèlement à une supplémentation en acides aminés industriels. Les acides aminés qui ne peuvent pas être déposés sont désaminés. La désamination des acides aminés implique une perte d'énergie sous forme d'urée ainsi qu'une utilisation d'ATP pour la synthèse de l'urée. Cela est confirmé par le fait que le TEF total était plus faible pour le régime à basse teneur en protéines (tableau 2 ; LE BELLEGO et al, 2000).

Une différence similaire a été trouvée entre des régimes à basse ou à haute teneur en fibres pour les truies gestantes. Le TEF total (exprimé en fraction de l'EM ingérée) est plus élevé pour les truies nourries avec le régime riche en fibres (tableau 2). Bien que le TEF_{LT} représente une fraction faible de l'EM ingérée chez la truie, cette fraction est (numériquement) plus élevée pour les truies nourries avec un régime riche en fibres. La fermentation dans le gros intestin et la synthèse des acides gras volatiles conduit à une production de chaleur plus continue qui sera plutôt incluse dans le TEF_{LT} que dans le TEF_{ST}. Cette hypothèse est supportée par le fait que l'apparition du TEF_{ST} après l'ingestion d'un repas est retardée pour le régime riche en fibres puisque les truies recevant le régime à basse teneur en fibres dissipent 50 % de TEF_{ST} dans les 6,4 h après l'ingestion du repas, alors qu'avec le régime à haute teneur en fibres, cette durée est de 7,5 h. D'un point de vue énergétique, cela confirme l'hypothèse que l'EM des fibres est utilisée moins efficacement que celle des autres sources d'énergie.

CONCLUSIONS

Le modèle que nous avons développé permet de rendre compte d'un autre mode de répartition de la dépense d'énergie du porc et de ses besoins énergétiques qui diffère

notamment de l'approche qui identifie les dépenses (ou besoins) d'entretien et les dépenses (ou besoins) de production. Des travaux sont poursuivis avec cet outil afin de préciser, par exemple, la contribution des différents nutriments énergétiques à la production de chaleur de l'animal ou les effets de l'environnement climatique sur les composantes (dont la thermorégulation) de la dépense énergétique. Le modèle met également en évidence que la production de chaleur d'un animal est un phénomène dont la dynamique est en grande partie expliquée par le comportement (alimen-

taire et activité physique) de l'animal. De façon plus générale, ce modèle contribuera à la mise au point de modèles plus globaux de prédiction des performances et d'évaluation des besoins des porcs placés dans des situations complexes.

REMERCIEMENTS

Anne COLLIN, Laurent LE BELLEGO, Nathalie QUINIOU et Yannick RAMONET sont remerciés pour leur contribution à la réalisation des expériences utilisées dans cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A.R.C., 1981. The nutrient requirements of pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, England, 307 p.
- BROUWER, E., 1965. In "Energy Metabolism. Proceedings of the 3rd Symposium". 441-443 Academic Press, London, U.K.
- KOONG L.J., NIENABER J.A., MERSMANN H.J., 1983. J. Nutr., 113, 1626-1631.
- LE BELLEGO L., NOBLET J., VAN MILGEN J., DUBOIS S., 2000. Journées Rech. Porcine en France, 32, 217-225.
- MATIS J.H., WEHRLY T.E., ELLIS W.C., 1989. Biometrics, 45, 703-720.
- MGA SOFTWARE, 1997. ACSL Optimize. MGA Software, Concord, MA, U.S.A.
- NOBLET J., SHI X.S., DUBOIS S., 1993. Livest. Prod. Sci., 34, 127-136.
- RAMONET Y., VAN MILGEN J., DOURMAD J.Y. et al, 2000 Br. J. Nutr. (sous presse).
- VAN MILGEN J., NOBLET J., DUBOIS S., BERNIER J.F., 1997. Br. J. Nutr., 78, 397-410.
- VAN MILGEN J., BERNIER J.F., LECOZLER Y., DUBOIS S., NOBLET J., 1998. Br. J. Nutr., 79, 509-517.