

# Modélisation de la production de chaleur chez le porc en croissance logé en groupe et exposé à des températures ambiantes de 12 °C à 29°C

Nathalie QUINIOU (1), J. NOBLET (2), J. VAN MILGEN (2), S. DUBOIS (2)

(1) I.T.P., Pôle Techniques d'Élevage - B.P. 3, 35651 Le Rheu Cedex

(2) I.N.R.A., Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc - 35590 Saint-Gilles

*Cette étude a été réalisée à l'I.N.R.A avec la collaboration technique de F. Le Gouëvec et A. Roger pour l'expérimentation sur les animaux et de Sylviane Daniel pour les analyses de laboratoire*

## **Modélisation de la production de chaleur chez le porc en croissance logé en groupe et exposé à des températures ambiantes de 12 à 29°C**

L'objectif est de quantifier les effets de la température ( $T$ , de 12 à 29°C), du poids vif (PV, de 30 à 90 kg) et de la quantité d'énergie métabolisable ingérée (EM, kJ/j) sur les composantes de la production de chaleur. Sept groupes de mâles castrés Piétrain x Large White sont étudiés en chambre respiratoire. Dans l'expérience 1 (trois groupes), la température varie de 22 à 12°C et de 12 à 22°C par paliers de 3 à 4 jours à 22, 19, 16, 14 et 12°C. Dans l'expérience 2 (trois groupes), la température varie de 19 à 29°C et de 29 à 19°C par paliers de 3 à 4 jours à 19, 22, 25, 27 et 29°C. Dans ces deux expériences, les porcs sont alimentés à volonté. Dans l'expérience 3, un groupe de porcs est étudié dans les mêmes conditions que dans l'expérience 1 mais la ration est ajustée, sur la base du PV, sur l'ingéré spontané mesuré à 19-22°C dans l'expérience 1. Cinq groupes de porcs sont étudiés entre 30 et 60 kg et entre 60 et 90 kg, deux groupes entre 45 et 75 kg. Les concentrations en  $O_2$  et  $CO_2$ , l'activité physique et la prise alimentaire sont mesurées simultanément afin de déterminer la production de chaleur totale ( $HP_{tot}$ ), liée à l'activité physique ( $HP_{act}$ ) et à l'effet de l'aliment (TEF). Des équations de prédiction non linéaires des composantes de HP sont proposées avec  $T$ , PV et EM en prédictrices. Toutes les composantes de HP sont proportionnelles au  $PV^{0.60}$ . La température critique inférieure est estimée à 24°C. Des valeurs du besoin alimentaire de thermorégulation au froid sont proposées selon  $T$  et PV.

## **Modelling heat production in group-housed growing pigs exposed to ambient temperatures ranging between 12 and 29°C**

The effects of ambient temperature ( $T$ , 12 to 29°C), body weight (BW, 30 to 90 kg) and metabolisable energy (ME, kJ/j) intake on components of energy balance were studied in seven groups of Piétrain x Large White barrows kept in a respiratory chamber. In experiment 1 (three groups),  $T$  varied in a cyclic way from 22 to 12°C and 12 to 22°C with three or four consecutive days at 22, 19, 16, 14 or 12°C. Similarly, in experiment 2 (three groups),  $T$  varied from 19 to 29°C and 29 to 19°C with three or four consecutive days at 19, 22, 25, 27 or 29°C. In both experiments, pigs were offered feed ad libitum. In experiment 3, pigs (group 7) were exposed to the thermic conditions of experiment 1 but their feed allowance was adjusted on a BW basis on the ad libitum intake recorded at 19 and 22°C in experiment 1. Five groups were studied successively between 30 and 60 kg and between 60 and 90 kg, two groups between 45 and 75 kg. The  $O_2$  and  $CO_2$  concentrations, physical activity and feed intake were simultaneously measured and used to calculate total heat production ( $HP_{tot}$ ), HP due to physical activity ( $HP_{act}$ ), and thermic effect of feed (TEF). Non linear equations for prediction of  $HP_{tot}$  and its components according to BW,  $T$  and ME intake are proposed and evaluated according to literature values. Results indicate that all components of HP were proportional to  $BW^{0.60}$ . The estimated lower critical temperature was 24°C. Values for the feed cost of thermoregulation in pigs are proposed.

## INTRODUCTION

En conditions de confort thermique, l'énergie ingérée est utilisée par le porc pour couvrir ses besoins d'entretien, d'activité physique et de croissance. En cas d'exposition à une température ambiante inférieure à la zone de thermoneutralité (froid), la production de chaleur augmente afin de couvrir le besoin supplémentaire de thermorégulation. Dans ces conditions, et lorsque l'animal est alimenté à volonté, la quantité d'énergie ingérée augmente également, ce qui permet un maintien des performances de croissance (LE DIVIDICH et al, 1985 ; MASSABIE et al, 1996). Au contraire, lorsque la température est supérieure à la zone de thermoneutralité (chaud), la quantité d'énergie ingérée et la production de chaleur associée, ainsi que la rétention énergétique, diminuent (RINALDO et LE DIVIDICH, 1991 ; MASSABIE et al, 1996).

Dans un cadre plus large de la modélisation des besoins et des performances du porc dans des conditions de milieu variables, cette étude a pour objectif de quantifier les effets de la température (T), du poids vif (PV) et de la quantité d'énergie ingérée (EM) à la fois sur les composantes de la production de chaleur et sur le comportement alimentaire de porcs logés en groupe et étudiés sur une large gamme de poids (30-90 kg), de température (12-29°C) et de niveaux alimentaires (à volonté ou rationné). Les résultats concernant le comportement alimentaire ont déjà été présentés (QUINIOU et al, 1997 ; 1998).

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

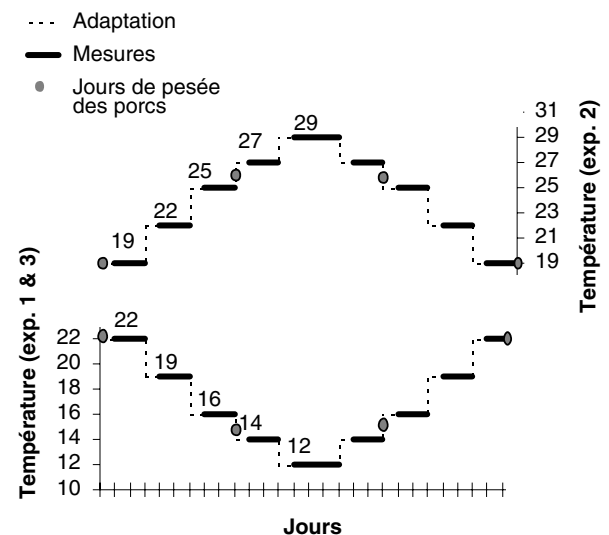
### 1.1. Dispositif expérimental

Sept groupes de mâles castrés Piétrain x Large White sont étudiés. Les groupes 1 à 6 sont alimentés à volonté (tableau 1). Les trois premiers groupes sont exposés à des T variant de 22 à 12°C et de 12 à 22°C (expérience 1 : groupes 1, 2 et 3), tandis que les trois autres sont exposés à des T variant de 19 à 29°C et de 29 à 19°C (expérience 2 : groupes 4, 5 et 6). Lors de l'exposition au froid, la quantité d'énergie ingérée et la production de chaleur augmentent, d'où une forte corrélation entre ces critères et T. Par conséquent, un groupe supplémentaire (expérience 3 : groupe 7) est étudié dans les mêmes conditions que celles de l'expérience 1, mais les porcs sont rationnés quand T est inférieure

à 19°C sur la base de leur PV : ils reçoivent alors une ration correspondant à la consommation moyenne spontanée à 19 et 22°C mesurée dans l'expérience 1. A 19 et 22°C, les animaux sont alimentés à volonté. L'aliment est distribué sous forme de granulés et est formulé à base de blé, d'orge, de maïs et de tourteau de soja (18,2 % de protéines brutes ; 13,2 MJ d'EM/kg et 9,82 MJ d'EN/kg : valeurs mesurées par ailleurs). L'eau est disponible à volonté.

Les principes de variation de T dans les expériences 1 et 3, d'une part, et dans l'expérience 2, d'autre part, sont décrits respectivement par QUINIOU et al (1997 ; 1998) et illustrés par la figure 1. Un cycle expérimental correspond à la succession des différents paliers de T étudiés et dure 28 jours. Pour les groupes 1, 2, 4, 5 et 7, les porcs pèsent en moyenne 30 kg au début de l'expérience et ils sont étudiés sur deux cycles successifs (entre 30 et 60 kg et entre 60 et 90 kg). Pour les groupes 3 et 6, l'expérience commence lorsque les porcs pèsent 45 kg et ils ne sont étudiés que sur un cycle (tableau 1).

**Figure 1** - Variation cyclique de la température pendant les cycles étudiés dans les expériences 1, 2 et 3



### 1.2. Logement des animaux et équipement de mesure

Vers 25 ou 40 kg, quatre porcs par groupe sont rassemblés dans une case (3,7 m<sup>2</sup>) équipée de caillebotis fil sur fosse à

**Tableau 1** - Dispositif expérimental

Expérience	Groupes	Gamme de température, °C	Gamme de poids vif, kg	Taille du groupe	Niveau alimentaire
<b>1</b>	1, 2	12 - 22	30 - 60	4	A volonté
	1, 2	12 - 22	60 - 90	3	A volonté
	3	12 - 22	45 - 75	4	A volonté
<b>2</b>	4,5	19 - 29	30 - 60	4	A volonté
	4,5	19 - 29	60 - 90	3	A volonté
	6	19 - 29	45 - 75	4	A volonté
<b>3</b>	7	12 - 22	30 - 60	4	Pair-fed en dessous de 19°C
	7	12 - 22	60 - 90	3	Pair-fed en dessous de 19°C

lisier. La case est placée dans une chambre respiratoire (12 m<sup>3</sup>) permettant de maîtriser la température ambiante et l'hygrométrie et de mesurer les échanges respiratoires des porcs. Ce dispositif conditionne la taille du groupe de porcs dans la mesure où celle-ci dépend de la capacité maximale de ventilation de l'enceinte et de la plage de mesure des analyseurs de gaz. Pour le cycle débutant au PV moyen de 60 kg, la taille du groupe est réduite à trois porcs. Le photopériodisme est fixé à 12 h d'éclairage (8h00-20h00). L'expérience commence après 7 jours d'adaptation à la case et à l'aliment, la température étant maintenue à 22°C (expériences 1 et 3) ou à 19°C (expérience 2). L'hygrométrie est maintenue à 70 %. La case est équipée d'une station d'alimentation munie d'une auge et d'une trémie d'une capacité de 17 kg d'aliment placées sur un capteur de poids qui permet d'enregistrer le comportement alimentaire des porcs (QUINIOU et al, 1997). De plus, la case est placée sur des capteurs de force (Kistler, type 9104A) dont la réponse est supposée proportionnelle au niveau d'activité des porcs (VAN MILGEN et al, 2000).

### 1.3. Mesures

Toutes les dix secondes, les concentrations moyennes en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> et le signal des capteurs de force sont enregistrés (VAN MILGEN et al, 1997). A chaque visite alimentaire des porcs, les heures de début et de fin ainsi que la quantité d'aliment présente dans la trémie au début et à la fin de la visite sont enregistrées. L'objectif de ces mesures simultanées est de pouvoir relier chaque variation des concentrations en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> au niveau d'activité physique et à la dynamique des quantités d'aliment ingéré en utilisant le modèle décrit par VAN MILGEN et al (2000).

### 1.4. Calculs et analyses statistiques

Le premier jour de chaque palier de T est considéré comme une phase d'adaptation aux nouvelles conditions thermiques et n'est pas pris en compte dans les calculs. Le PV à chaque palier est calculé par intrapolation à partir des pesées de début ou fin de cycle et des deux pesées intermédiaires (figure 1). La production de chaleur totale (HP<sub>tot</sub>) est calculée à partir des consommations de O<sub>2</sub> et production de CO<sub>2</sub> à l'aide de l'équation de BROUWER (1965, l'azote urinaire n'étant pas pris en compte). La quantité d'énergie retenue (ER) est calculée à l'échelle de la journée par différence entre la quantité d'EM ingérée et HP<sub>tot</sub>.

Le modèle proposé par VAN MILGEN et al (1997) s'appuie sur une série d'équations différentielles qui permet d'estimer la production de chaleur associée à l'activité physique (HP<sub>act</sub>) et à l'effet thermique de l'aliment (TEF). L'effet thermique du repas ainsi calculé est en fait un effet court terme de l'aliment (TEF<sub>CT</sub>, VAN MILGEN et al, 2000) qui est dû à l'ingestion et la digestion de l'aliment. La production de chaleur pour une activité physique nulle (HP<sub>0</sub>) est calculée par différence entre HP<sub>tot</sub> et HP<sub>act</sub>. La quantité d'énergie métabolisable ingérée à activité nulle (EM<sub>0</sub>) est calculée par différence entre l'énergie métabolisable ingérée (EM) et HP<sub>act</sub>. L'énergie retenue (ER) est obtenue par différence entre EM et HP<sub>tot</sub>. Pour effectuer des simulations, l'équation suivante de prédiction de EM,

établie à partir des porcs de cette expérience alimentés à volonté, est utilisée (QUINIOU et al, 2000) :

$$ME \text{ (kJ/j)} = -16710 + 1547 \times T - 31,73 \times T^2 + 973 \times PV - 3,44 \times PV^2 - 12,56 \times T \times PV \quad [\text{équation 1}]$$

Les composantes de la production de chaleur calculées pour les sept groupes de porcs sont utilisées afin d'établir, sur une large gamme de PV (30-90 kg) et de T (12-29°C), des équations de prédiction (proc NLIN, SAS, 1990) de HP<sub>tot</sub> et HP<sub>0</sub> à partir de T, PV et EM<sub>0</sub>. Deux approches sont choisies pour HP<sub>tot</sub> : soit elle est considérée comme la somme de HP<sub>0</sub> et HP<sub>act</sub> (avec T, PV et EM<sub>0</sub> comme prédictrices), soit elle est directement prédite à partir de T, PV et EM. Tant HP<sub>0</sub> que HP<sub>tot</sub> sont supposées dépendre de la somme de deux composantes :

- une fonction proportionnelle au poids métabolique (entretien),
- une fonction proportionnelle à l'énergie ingérée (effet de l'aliment).

Par ailleurs, ces deux composantes sont supposées dépendre de T uniquement lorsque celle-ci est en dessous d'une valeur correspondant à la température critique inférieure (TCi). En effet, d'après MOUNT (1974), au-dessus de la TCi, la production de chaleur nécessaire au maintien de l'homéothermie ne dépend plus de T. En définitive, la structure du modèle de base est présentée ci-dessous :

- si  $T < TCi$  alors
 
$$HP_0 = PV^a \times (b + c \times T + d \times T^2) + (e \times T + f) \times EM_0$$
- sinon
 
$$HP_0 = PV^a \times (b + c \times TCi + d \times TCi^2) + (e \times TCi + f) \times EM_0$$

La signification des paramètres est testée par la méthode de RATKOWSKI (1983, cité par VAN MILGEN et al, 1997) de comparaison des modèles emboîtés. Le terme  $(e \times T + f)$  correspond au TEF total (TEF<sub>tot</sub>). Le besoin d'entretien à activité nulle (EM<sub>0</sub>) est obtenu à partir de l'équation de prédiction de HP<sub>0</sub> en fixant HP<sub>0</sub> égal à EM<sub>0</sub>. La même approche est utilisée pour HP<sub>act</sub> mais en utilisant seulement les données obtenues en conditions d'alimentation à volonté.

## 2. RÉSULTATS

Les valeurs moyennes obtenues chez les porcs alimentés à volonté et étudiés à deux cycles successifs sont présentées dans le tableau 2. Le poids moyen est de 62 kg dans les deux expériences. Dans l'expérience 1, EM augmente de 30,5 à 33,0 MJ/j entre 22 et 16°C et plafonne en dessous de 16°C. Dans l'expérience 2, chaque augmentation de T se traduit par une diminution de EM (de 34,4 à 25,8 MJ/j entre 19 et 29°C). La valeur minimale de HP<sub>tot</sub> est obtenue à 29°C (16,4 MJ/j) ; elle augmente avec la diminution de T pour atteindre sa valeur maximale à 12°C (20,0 MJ/j). La quantité d'énergie retenue est maximale à 19°C dans l'expérience 2. L'activité physique représente 13% de HP<sub>tot</sub> à 19 et 22°C mais sa contribution augmente à la fois quand T diminue ou augmente (17% de HP<sub>tot</sub> à 12 et 29°C). Le TEF<sub>CT</sub> représente en moyenne 10% de HP<sub>tot</sub>, soit 5,3% de EM.

**Tableau 2** - Utilisation moyenne de l'énergie métabolisable (EM) ingérée par les porcs nourris à volonté selon la température (groupes 1 à 6)

Température, °C	Expérience 1					Expérience 2				
	12	14	16	19	22	19	22	25	27	29
Poids vif moyen, kg/porc	62	62	62	62	62	63	63	63	63	62
EM ingérée, MJ/porc/j	33,36	33,30	33,00	32,52	30,49	34,35	32,74	31,65	28,65	25,82
Production de chaleur totale (HP <sub>tot</sub> ), MJ/porc/j	19,99	19,32	18,49	18,22	17,56	18,86	18,16	17,48	17,23	16,38
Énergie retenue, MJ/porc/j	13,38	13,98	14,51	14,30	12,92	15,49	14,58	14,17	11,42	9,44
Composantes de la production de chaleur, MJ/porc/j										
Effet à court terme de l'aliment (TEF <sub>CT</sub> )	1,74	1,75	1,75	1,73	1,57	1,77	1,74	1,73	1,48	1,45
Activité physique (HP <sub>act</sub> )	3,36	2,81	2,53	2,31	2,16	2,50	2,37	2,41	2,66	2,76
Repos (HP <sub>tot</sub> - TEF <sub>CT</sub> - HP <sub>act</sub> )	14,89	14,75	14,21	14,18	13,83	14,58	14,06	13,34	13,09	12,17

En accord avec les objectifs du dispositif expérimental, les corrélations de Pearson sont faibles entre T et PV ( $r = -0,05$ ), d'une part, et entre T et ME ( $r = -0,24$ ), d'autre part. L'exposant de PV dans les équations de prédiction de HP et HP<sub>0</sub> n'est pas significativement différent de 0,60. En ce qui concerne HP<sub>act</sub>, elle est proportionnelle au PV élevé à la puissance 0,68 ( $\pm 0,06$ ), exposant qui n'est significativement différent ni de 0,60 ni de 0,75. Dans les calculs suivants, 0,60 est donc l'exposant du PV retenu dans toutes les équations.

D'après l'équation 2 (tableau 3), HP<sub>act</sub> n'est pas influencée par EM<sub>0</sub> mais dépend uniquement du PV et de T : sa valeur minimale est obtenue à 21,8°C, soit 191 kJ/i/kg<sup>0,60</sup> et elle augmente à la fois lors de l'exposition au froid (274 kJ/i/kg<sup>0,60</sup> à 12°C) et au chaud (234 kJ/i/kg<sup>0,60</sup> à 29°C).

Pour la prédiction de HP<sub>0</sub> et HP<sub>tot</sub> (kJ/i), il apparaît que la valeur de TCi est indépendante du PV et qu'elle n'est pas significativement différente de 24°C pour les composantes d'entretien et de TEF<sub>tot</sub>. Par conséquent, une valeur commune de 24°C est retenue et notée T<sub>≤24</sub> dans les équations 3 et 4 (tableau 3).

En ce qui concerne HP<sub>0</sub>, la composante d'entretien varie linéairement avec T quand T est inférieure à TCi, tandis que TEF<sub>tot</sub> est directement proportionnel à T (équation 3). En ce

qui concerne HP<sub>tot</sub>, l'effet quadratique de T sur la composante d'entretien est cohérent avec l'effet quadratique sur HP<sub>act</sub> et l'effet linéaire sur HP<sub>0</sub>. Quel que soit le modèle considéré, TEF<sub>tot</sub> augmente de 16 à 31 % de EM<sub>0</sub> quand T augmente de 12 à 24°C.

### 3. DISCUSSION

Les résultats obtenus antérieurement dans la même équipe (NOBLET et ÉTIENNE, 1987ab ; NOBLET et al, 1999 ; VAN MILGEN et al, 1998 ; 2000) et ceux de la présente étude s'accordent pour conclure que le poids métabolique d'un porc en croissance correspond au PV<sup>0,60</sup> ; le PV<sup>0,75</sup> n'étant adéquat que pour les animaux adultes. Le besoin d'entretien EMm calculé à 24°C à partir de l'équation 4 (tableau 3) (970 kJ/i/kg<sup>0,60</sup>) est proche de celui calculé par NOBLET et al (1991 ; 1999) dans des conditions expérimentales similaires (environ 1 MJ/i/kg<sup>0,60</sup>).

Si l'on suppose que EM<sub>0</sub> = 0, l'équation 3 (tableau 3) de prédiction de HP<sub>0</sub> permet alors de calculer la production de chaleur à jeun (FHP). Dans ce cas, sa valeur minimale serait obtenue à 24°C. Or, BERNIER et al (1996) ont mesuré la FHP sur une gamme de poids identique à celle de notre étude et ils ont obtenu une valeur constante quand T était supérieure ou égale à 24°C, ce qui est en accord avec la TCi calculée de notre modèle.

**Tableau 3** - Équations de prédiction de la production de chaleur (kJ/i) liée à l'activité physique (HP<sub>act</sub>), la production de chaleur à activité physique nulle (HP<sub>0</sub>) ou la production de chaleur totale (HP<sub>tot</sub>) à partir du poids vif (PV, kg), de la température (T, °C) et de l'énergie métabolisable ingérée totale (EM, kJ/i) ou à activité physique nulle (EM<sub>0</sub>, kJ/i).

Équation	Modèle	ETR (1)	CV (2)
2	HP <sub>act</sub> = PV <sup>0,60</sup> × [598 (±46) - 37,2 (±4,7) × T + 0,85 (±0,11) × T <sup>2</sup> ]	354	13,4
3	HP <sub>0</sub> = PV <sup>0,60</sup> × [1482 (±22) - 39,7 (±1,7) × T <sub>≤24</sub> ] + 0,013 (±0,001) × T <sub>≤24</sub> × EM <sub>0</sub>	594	3,8
4	HP <sub>tot</sub> = PV <sup>0,60</sup> × [2317 (±126) - 108,1 (±15,2) × T <sub>≤24</sub> + 1,64 (±0,39) × T <sub>≤24</sub> <sup>2</sup> ] + 0,013 (±0,001) × T <sub>≤24</sub> × EM	668	3,7

(1) ETR : Écart Type Résiduel

(2) CV : Coefficient de Variation

D'après nos calculs,  $HP_{act}$  représente en moyenne 8% de EM (14% de  $HP_{tot}$ ) à la thermoneutralité, ce qui confirme le coût élevé de l'activité physique déjà souligné antérieurement par d'autres auteurs (NOBLET et al, 1993 ; VAN MILGEN et al, 1998). En utilisant le même système de mesure que dans notre expérience, COLLIN et al (non publié) obtiennent des valeurs similaires chez des porcs de 25 kg logés en groupe (9% de EM, 18% de  $HP_{tot}$ ). Au contraire, chez la truie gestante, RAMONET et al (2000) rapportent des valeurs supérieures (respectivement 19 et 22%). Cette dépense énergétique augmente lors de l'exposition à des T extrêmes, ce qui s'explique respectivement par une augmentation de la thermogénèse par frisson et locomotion au froid et une augmentation de la thermolyse par polyphnie au chaud.

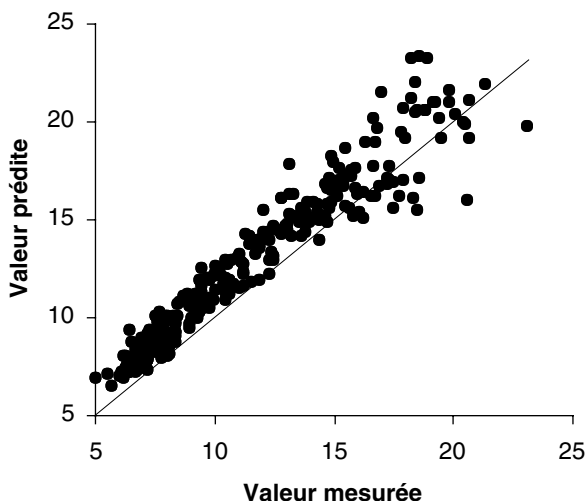
Le  $TEF_{CT}$  estimé suivant le modèle de VAN MILGEN et al (1997) représente une proportion constante de  $EM_0$  (5,1%), ce qui signifie qu'il ne participe pas à la thermorégulation sur la gamme de T étudiée. Au contraire, le  $TEF_{tot}$  diminue linéairement de 31 à 16% de EM entre 24 et 12°C. De façon concomitante, l'efficacité d'utilisation de EM pour la croissance augmente de 69 à 84%. Cet effet de T sur le TEF a déjà été rapporté antérieurement (VERSTEGEN et al, 1973 ; NOBLET et al, 1985). Nos résultats indiquent une utilisation partielle du  $TET_{tot}$ , en particulier sa composante à long terme liée au métabolisme des nutriments, pour couvrir le besoin de thermoregulation.

La construction d'un modèle de prédiction nécessite de tester les équations obtenues sur des jeux de données indépendants de ceux ayant servi à les établir. Compte tenu de la rareté des données disponibles sur  $HP_{act}$  dans la bibliographie, cette étape d'évaluation ne peut être réalisée que pour  $HP_{tot}$ . Les données obtenues par VERSTEGEN (1971) en conditions variables de niveaux alimentaires et d'ambiance ont été utilisées à cette fin, ainsi que des données obtenues sur des porcs logés individuellement et exposés à des condi-

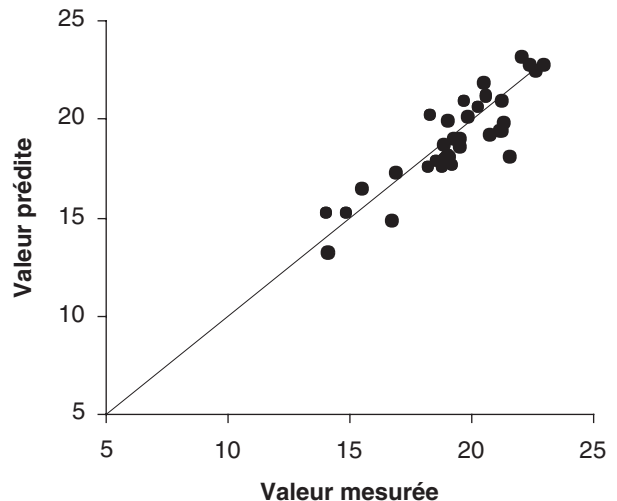
tions thermiques identiques à celles de l'expérience 1 (QUINIQU et al, non publié). Les données de VERSTEGEN (1971) mettent en évidence que l'équation 4 (tableau 3) ne peut être utilisée pour des T inférieures à 12°C mais les écarts entre valeurs prédites et valeurs mesurées (ou résidus) sont élevés. Quand ces T ne sont pas prises en compte pour l'évaluation des équations, les valeurs prédites et mesurées ( $n = 282$ ) sont fortement corrélées ( $r = 0,96$ ). Mais la figure 2 indique que les valeurs prédites sont systématiquement supérieures à celles mesurées ; cet écart systématique peut être attribué en partie à l'évolution des caractéristiques génétiques des porcs au cours de ces 30 dernières années. En effet, les porcs élevés à la fin des années 60 étaient beaucoup plus gras qu'actuellement et produisaient probablement moins de chaleur en relation avec un besoin d'entretien plus faible et une meilleure efficacité d'utilisation de EM pour le dépôt de tissu gras (NOBLET et al, 1999). A partir des données obtenues sur les porcs logés en individuel (QUINIQU et al, non publié), les valeurs prédites et mesurées sont également très corrélées ( $r = 0,87$ , figure 3) mais le modèle sous-estime  $HP_{tot}$ . Dans ce cas, l'écart peut s'expliquer par les différences de conditions de logement, les porcs isolés produisant plus de chaleur au froid en raison de leur impossibilité à réduire leur surface d'échange entre la peau et l'air ambiant par la recherche de contacts avec leur congénères.

D'un point de vue pratique, il est important de quantifier le coût énergétique de la thermoregulation quand les porcs sont exposés à des T inférieures à la  $TCi$ . Ce besoin correspond à la quantité d'aliment nécessaire pour maintenir la rétention énergétique identique à celle observée à 24°C. Ce besoin peut être calculé à partir de l'équation de prédiction 3 (tableau 3) de  $HP_0$  et est illustré par la figure 4. Il apparaît alors que plus T est faible, plus le besoin induit par une baisse supplémentaire de T est important. En moyenne entre 30 et 90 kg, le besoin alimentaire de thermoregulation est de 19 g/j/°C entre 12 et 24°C et de 27 g/j/°C entre 12 et

**Figure 2** - Comparaison de  $HP_{tot}$  ( MJ/j) prédite à partir de l'équation 4 (tableau 3) aux valeurs mesurées par Verstegen (1971;  $n = 282$ )  
Le trait fin représente la bissectrice

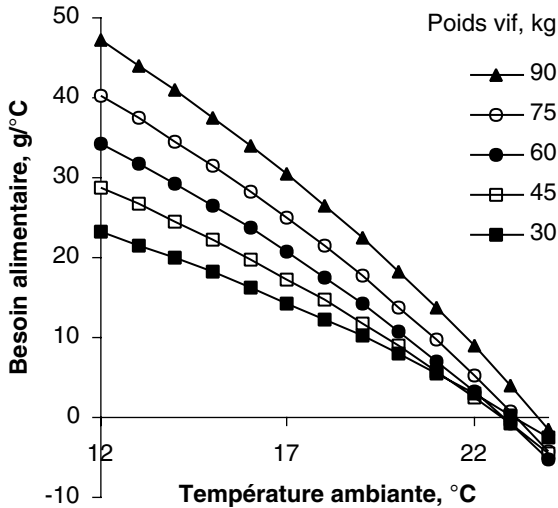


**Figure 3** - Comparaison de  $HP_{tot}$  prédite à partir de l'équation 4 (tableau 3) et mesurée chez des porcs logés en individuel (Quiniou et al, non publié)  
Le trait fin représente la bissectrice



18°C ; cette dernière valeur est inférieure à celle obtenue à partir d'essais réalisés en ajustant les apports pour maintenir

**Figure 4** - Estimation du besoin alimentaire de thermorégulation selon la température (entre 12 et 24°C) et le poids vif (entre 30 et 90 kg)



la vitesse de croissance constante : 32 g/j/°C d'après VERSTEGEN et al (1982, porcs en groupe entre 25 et 100 kg) et 33 g/j/°C d'après LE DIVIDICH et al (1987, porcs en individuel entre 30 et 97 kg). Il faut toutefois remarquer que, dans notre expérience, l'augmentation de la consommation alimentaire au froid n'est pas suffisante pour couvrir le besoin de thermorégulation comme l'indique la diminution de la rétention d'énergie entre 12 et 16°C.

## CONCLUSION

Les équations de prédiction de la production de chaleur et de ses composantes sont validées sur une large gamme de températures, poids vifs et niveaux alimentaires. D'après ces résultats, la température critique inférieure est environ de 24°C entre 30 et 90 kg, avec une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie ingérée pour la croissance sous les températures les plus basses. Par ailleurs, il apparaît que la contribution de l'activité physique est importante. Enfin, ce jeu d'équations constitue une étape supplémentaire vers une meilleure estimation de l'utilisation de l'énergie ingérée par le porc dans des conditions de logement très différentes.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERNIER J.-F., DUBOIS S., NOBLET J., 1996. *J. Anim. Sci.*, 74 (suppl. 1), 180.
- BROUWER E., 1965. Report of sub-committee on constants and factors. In : *Energy metabolism. Proceedings of the 3rd Symposium held at Troon, Scotland. EAAP 11*, 441-443 [K.L. Blaxter, editor]. London: Academic Press.
- LE DIVIDICH J., DESMOULIN B., DOURMAD J.-Y., 1985. *Journées Rech. Porcine en France*, 17, 275-282.
- LE DIVIDICH J., NOBLET J., BIKAWA T., 1987. *Livest. Prod. Sci.*, 17, 235-246.
- MASSABIE P., GRANIER R., LE DIVIDICH J., 1996. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 189-94.
- MOUNT L.E., 1974. The concept of thermal neutrality. In : *Heat loss from animals and man: assessment and control, Proceedings of the 20th Easter School in Agricultural Science, University of Nottingham*. pp 425-439 [J.L. Monteith & L.E. Mount, editors], Butterworths, London.
- NOBLET J., LE DIVIDICH J., BIKAWA T., 1985. *J. Anim. Sci.*, 61, 452-459.
- NOBLET J., ÉTIENNE M., 1987a. *Livest. Prod. Sci.*, 16, 243-257.
- NOBLET J., ÉTIENNE M., 1987b. *J. Anim. Sci.*, 64, 774-781.
- NOBLET J., KAREGE C., DUBOIS S., 1991. Influence of growth potential on energy requirements for maintenance in growing pigs. In: *Energy Metabolism. Proceedings of the 12th Symposium held at Zurich, Switzerland. EAAP 58*, 107-110 [C. Wenk & M. Boessinger, editors]. Zurich: Juris Druck + Verlag.
- NOBLET J., SHI X.S., DUBOIS S., 1993. *Livest. Prod. Sci.*, 34, 127-136.
- NOBLET J., KAREGE C., DUBOIS S., VAN MILGEN J., 1999. *J. Anim. Sci.*, 77, 1208-1216.
- QUINIOU N., NOBLET J., et al., 1997. *Journées Rech. Porcine en France*, 29, 135-140.
- QUINIOU N., NOBLET J., et al., 1998. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 3319-324.
- QUINIOU N., NOBLET J., DUBOIS S., 2000. *Livest. Prod. Sci.*, 63, 245-253.
- RAMONET Y., VAN MILGEN J., DOURMAD J.-Y., et al., 2000. *Brit. J. Nutr.*, 84, 85-94.
- RINALDO D., LE DIVIDICH J., 1991. *Livest. Prod. Sci.*, 29, 61-75.
- SAS, 1990. *SAS/STAT User's Guide: statistics, Release 6.07*. Cary, NY: SAS Institute Inc.
- VAN MILGEN J., NOBLET J., DUBOIS S., BERNIER J.-F., 1997. *Brit. J. Nutr.*, 78, 397-410.
- VAN MILGEN J., BERNIER J.-F., LE COLZER Y. et al, 1998. *Brit. J. Nutr.*, 79, 509-517.
- VAN MILGEN J., NOBLET J., DUBOIS S., 2000. *Journées Rech. Porcine en France*, 32, 235-240.
- VERSTEGEN M.W.A., 1971. Influence of environmental temperature on energy metabolism of growing pigs housed individually and in groups. [H. Veenman & N.V. Zonen, editors], *Mededelingen Lanbouwhogeschool Wageningen*, Wageningen, 71-2, 115 p.
- VERSTEGEN M.W.A., CLOSE W.H., START I.B., MOUNT L.E., 1973. *Brit. J. Nutr.*, 30, 21-35.
- VERSTEGEN M.W.A., BRANDSMA H.A., MATELAN G., 1982. *J. Anim. Sci.*, 55, 88-94.