

Effet de l'élévation de la température ambiante sur la consommation d'aliment, les performances et la production de chaleur chez le porcelet sevré

Anne COLLIN, J. NOBLET, J. VAN MILGEN, S. DUBOIS, J. LE DIVIDICH

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

Effet de l'élévation de la température ambiante sur la consommation d'aliment, les performances et la production de chaleur chez le porcelet sevré

Les effets de températures ambiantes élevées sur les performances et la production de chaleur du porcelet sevré ont été mesurés dans 3 essais. Dans l'essai 1, la consommation d'aliment de porcelets (poids vif initial : 15.5 kg) soumis pendant 17 jours à des températures de 19 à 35°C est stable de 19 à 25°C (environ 1.17 kg/j), puis diminue de 33 g/°C/j. L'élévation de la température de 23 à 33°C chez des porcelets élevés en groupe en chambre respiratoire (essai 2) s'accompagne d'une réduction de la production de chaleur d'environ 20%, dont sont responsables les diminutions de production de chaleur à jeun et de thermogénèse alimentaire. La baisse de 30% de la consommation d'aliment, impliquée dans la réduction de thermogénèse alimentaire, est associée à une diminution de la consommation par repas mais le nombre de repas (14/jour) n'est pas affecté par la température ambiante. Les résultats de l'essai 3, conduit en chambre respiratoire à 23 et 33°C sur porcelets en individuel, montre que les porcelets élevés au chaud sont moins longtemps debout mais, en relation avec l'hyperventilation respiratoire, leur production de chaleur liée à l'activité physique est équivalente à celle de porcelets élevés à la thermoneutralité. Enfin, la rétention protéique du porcelet sevré est, comme chez le porc en croissance, directement liée au niveau des apports d'énergie mais ne semble pas négativement affectée par la chaleur.

Effect of high ambient temperature on feed intake, performance and heat production in piglets

The effect of exposure to high temperatures on feed intake, performance and heat production (HP) were studied in three experiments. In trial 1, feed intake of piglets (initial body weight: 15.5 kg) exposed to temperatures ranging between 19 and 35°C was relatively constant (1.17 kg/d) between 19 and 25°C and decreased by 33 g/d/°C above 25°C. Body weight gain was then decreased by 33 g/d/°C. Increasing ambient temperature from 23 to 33°C in piglets reared in groups in a respiration chamber (trial 2) was associated with a 20% decrease in heat production, which was mainly due to decreased fasting heat production and thermic effect of feed. The 30% decrease in feed intake explaining this reduction in thermic effect of feed was associated to decreased feed intake per meal, but the number of meals (14 /d) was not affected by temperature. Results of trial 3, performed in respiration chamber at 23 and 33°C on individually-reared piglets, showed that pigs exposed to high temperature were standing less time than pigs exposed to thermoneutrality, but that, in relation to their respiratory hyperventilation, their heat production associated to physical activity was similar to that of pigs reared at thermoneutrality. Consistently with studies in growing pigs, protein retention of piglets was positively related to energy supply (trial 3), but did not seem to be negatively affected by high temperature.

INTRODUCTION

Les performances du porc en croissance sont étroitement liées aux conditions d'environnement, notamment à la température ambiante. En effet, pour maintenir sa température corporelle dans d'étroites limites lors de l'exposition au chaud, le porc doit évacuer toute la chaleur produite. Or les capacités de dissipation de la chaleur sont faibles au chaud chez le porc (absence de sudation...). La voie essentielle de lutte contre le chaud est alors de réduire fortement la production de chaleur (NIENABER ET HAHN, 1982; QUINIOU et al, 2000b), par le biais d'une moindre activité physique et surtout d'une réduction de la consommation d'aliment et de la thermogénèse alimentaire associée (RINALDO et LE DIVIDICH, 1991a). Les travaux présentés dans cet article font partie d'un travail plus vaste portant sur l'étude des effets zootecniques, physiologiques, métaboliques et nutritionnels d'une température élevée chez le porcelet sevré. Cet article se focalise sur les approches zootecniques et nutritionnelles à partir des résultats de 3 essais. Le premier a pour objectif de décrire la consommation d'aliment et la croissance sur une large gamme de températures (19 à 35°C) alors que les deux autres sont réalisés à deux températures (23°C considérée comme température thermoneutre et 33°C considérée comme température chaude) avec pour objectifs de quantifier les effets de la température sur les caractéristiques de la prise alimentaire et la production de chaleur.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Essai 1

Dans la première expérience, 105 porcelets mâles et femelles provenant de 24 portées (Landrace x Large White) x Piétrain sont utilisés. Environ 3 semaines après le sevrage, les porcelets (poids vif moyen : $15,5 \pm 1,9$ kg) sont soumis pendant 17 jours à des températures de 19 à 35°C en trois séries successives de respectivement 36, 36 et 35 animaux et à raison de 3 températures d'étude par série (19, 25 ou 31°C pour la série 1, 21, 27 ou 33°C pour la série 2 et 23, 29 ou 35°C pour la série 3). Les porcs sont élevés individuellement sur caillebotis et nourris à volonté avec un aliment 2^{ème} âge standard fournissant 21,6 % de protéines brutes, 2,8% de lipides, 2,8% de cellulose brute et 10,4 MJ.kg⁻¹ d'énergie nette. Les consommations quotidiennes d'aliment sont mesurées et les porcs sont pesés le matin des jours 2, 7, 11, 15 et 18.

La relation température - consommation d'aliment est le plus souvent exprimée de manière linéaire (MASSABIE et al, 1996) ou curvilinéaire (RINALDO et LE DIVIDICH, 1991a ; QUINIOU et al, 2000a). Cependant, chez le porc en croissance, la température et le poids vif interagissent pour faire varier la consommation d'aliment (QUINIOU et al, 2000a). La portée d'origine joue également sur la consommation d'aliment dans cette expérience. Dans le modèle de base que nous avons adopté, nous supposons que la consommation (C, g/j) varie avec le poids vif (PV, kg) selon une relation du type: $C = a PV^b$ et que seul le paramètre a varie avec la température (T, °C). Dans le modèle 1, on suppose que a varie de manière curvilinéaire avec T :

$$a(T) = d_0 + d_1 (T-19) + d_2 (T-19)^2$$

Dans le modèle 2, on suppose qu'il existe une température « seuil » à partir de laquelle la consommation diminue; a(T) s'exprime alors comme une fonction plateau-linéaire de T :

$$a(T) = d_0 + d_1 r \ln(1 + \exp((T - T_s) / r)),$$

où d_0 est la consommation avant le seuil critique, d_1 est la pente constante de la courbe de consommation après la température seuil (T_s). Le paramètre r utilisé par KOOOPS et GROSSMAN (1993), fixé à 0,5, assure une transition quasi instantanée entre les deux droites autour de T_s . On admet que l'effet portée ne joue que sur le paramètre d_0 dans les deux modèles. Les différents paramètres b , d_0 (24 valeurs), d_1 , d_2 et T_s sont estimés par la procédure NLIN de SAS (1990).

1.2. Essai 2

Dans la seconde expérience, six groupes de 5 porcelets mâles (Landrace x Large White) x Piétrain sont exposés à 23°C (3 groupes) ou 33°C (3 groupes). Ils sont acclimatés à leur température expérimentale pendant une semaine avant d'être mutés en chambre respiratoire pour une durée de deux semaines. La chambre respiratoire (12 m³), identique à celle utilisée par QUINIOU et al (2000b), permet de maîtriser la température ambiante, l'hygrométrie (70%) et la photopériode (éclairage de 8h00 à 20h00). Les concentrations en O₂ et CO₂ de l'air extrait de la chambre, les signaux émis par les capteurs de force situés sous la cage (3,7 m²) en caillebotis fil et les poids de l'auge et du bidon d'eau sont enregistrés en continu. Chaque porcelet est détecté au moment de sa venue à l'auge. Les animaux reçoivent à volonté l'aliment expérimental (composition identique à celle de l'essai 1) et l'eau. Ils sont pesés le matin des jours 1, 6, 13 et 14 ; leur poids moyen à l'arrivée en chambre est de $21,2 \pm 1,4$ kg. Les animaux sont mis à jeun le dernier jour pour mesurer la production de chaleur à jeun. Les visites alimentaires (périodes d'instabilité de l'auge) séparées de plus de 2 minutes sont considérées comme appartenant à deux repas différents. Le nombre de repas, leur taille, la durée d'ingestion et de consommation (ingestion + pauses intra-repas) et la vitesse d'ingestion quotidiens sont calculés selon la méthode décrite par LABROUE et al (1995). Le modèle développé par VAN MILGEN et al (2000) est utilisé pour répartir la production de chaleur chez les porcs nourris entre la production de chaleur liée à l'activité physique, l'effet thermique du repas à court terme (TEFct), la production de chaleur à jeun et l'effet thermique de l'aliment à long terme (TEFlt). La production de chaleur est calculée à partir de la consommation d'O₂ et de la production de CO₂ (BROUWER, 1965).

Les données portant sur les caractéristiques de la prise alimentaire, obtenues individuellement, sont analysées par la procédure GLM de SAS (1990) en considérant la température et le groupe intra-température comme effets principaux. Pour ce qui concerne les données de production de chaleur et de bilan d'énergie (données moyennes par groupe et ramenées par porc), le seul facteur considéré est la température.

1.3. Essai 3

Dans la troisième expérience, sept triplets de frères de portée croisés (Landrace x Large White) x Piétrain sont utilisés. Environ 2 semaines après le sevrage et au sein d'un triplet,

deux animaux sont élevés à 23 °C et un à 33°C pendant une période d'adaptation de 2 à 4 semaines. Les animaux sont logés individuellement sur un caillebotis fil. Les porcs élevés à 33°C (33AL) sont nourris à 95% de leur niveau à volonté (i.e. 0,14 kg/kg PV^{0,60}) tandis que ceux élevés à 23°C sont, soit nourris à 95% du niveau à volonté (23AL, i.e. 0,18 kg/kg PV^{0,60}, 1 porc par triplet), soit restreints au niveau alimentaire de leur frère à 33°C (23PF ; 1 porc par triplet).

Les porcs d'un triplet sont successivement mutés pour une semaine dans une chambre respiratoire de 1,5 m³ dont le principe de fonctionnement et les équipements sont identiques à ceux de la chambre utilisée lors de l'expérience 2. L'aliment est distribué en 6 repas de taille comparable à 9h00, 12h00, 15h00, 18h00, 21h00 et 03h00. Les concentrations en O₂ et CO₂ sont mesurées en continu et les fèces et les urines recueillies sur la période expérimentale de 6 jours. Le septième jour, le porc est mis à jeun pour calculer sa production de chaleur à jeun.

La production de chaleur et ses composantes sont calculées comme pour l'essai 2. Un bilan d'azote et d'énergie et la partition de l'énergie fixée entre les protéines et les lipides sont calculés pour chaque porc lors de la période d'alimentation selon la méthode de NOBLET et al (1985). Les données sont soumises à une analyse de variance qui prend en compte les effets traitement (n=3) et portée (n=7).

2. RÉSULTATS

2.1. Essai 1

La consommation d'aliment (tableau 1) est maximale à 19°C (1,36 kg/j) et minimale à 35°C (0,71 kg/j). Les paramètres des deux modèles sont présentés dans le tableau tableau 2, où les valeurs de d₀ présentées sont les moyennes pour les

Figure 1 - Effet de la température ambiante sur la consommation d'aliment selon un modèle quadratique (modèle 1) ou plateau - linéaire (modèle 2) chez un porcelet de 20 kg.

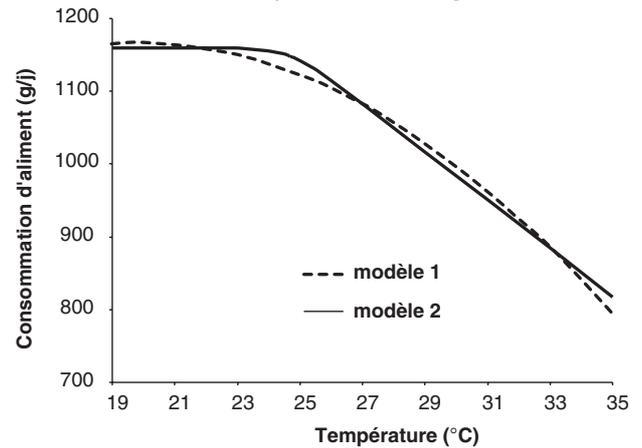


Tableau 1 - Effet de la température ambiante sur les performances du porcelet sevré (essai 1) (moyennes par traitement ; durée d'exposition : 17 jours ; âge initial : 46 jours)

	Température (°C)								
	19	21	23	25	27	29	31	33	35
Nombre d'observations	12	12	11	12	12	11	12	12	11
Poids vif moyen (kg)	22,9 ± 2,7	23,1 ± 2,5	21,4 ± 1,4	23,2 ± 2,6	22,6 ± 2,2	20,7 ± 1,7	21,5 ± 2,3	21,4 ± 2,2	18,5 ± 1,9
Consommation d'aliment (kg/j)	1,36 ± 0,16	1,31 ± 0,16	1,15 ± 0,15	1,30 ± 0,18	1,19 ± 0,16	1,02 ± 0,20	1,06 ± 0,14	0,95 ± 0,18	0,71 ± 0,16
Gain moyen quotidien (kg/j)	0,88 ± 0,10	0,82 ± 0,13	0,78 ± 0,11	0,86 ± 0,09	0,76 ± 0,10	0,67 ± 0,09	0,69 ± 0,11	0,63 ± 0,14	0,43 ± 0,13
Indice de consommation	1,56 ± 0,09	1,61 ± 0,14	1,47 ± 0,12	1,52 ± 0,13	1,56 ± 0,08	1,51 ± 0,19	1,55 ± 0,05	1,52 ± 0,17	1,70 ± 0,30

Tableau 2 - Effet de la température (T, °C) et du poids vif (PV, kg) sur la consommation d'aliment (C, g/j) chez le porcelet élevé individuellement (essai 1)

	Paramètres du modèle (1)					ETR ⁽²⁾
	d ₀	d ₁	d ₂	T _s	b	
Modèle 1 (curvilinéaire) : C = (d₀ + d₁(T - 19) + d₂(T² - 19²))PV^b	97 (± 6)	5,24 (± 1,30)	-0,132 (± 0,026)	-	0,83 (± 0,03)	153
Modèle 2 (plateau-linéaire) : C = (d₀ + 0.5 d₁ ln(1 + exp((T - T_s)/0.5)))PV^b	96 (± 7)	-2,75 (± 0,37)	-	24,7 (± 0,6)	0,83 (± 0,03)	154

(1) Les modèles estiment des valeurs d₀ des 24 portées utilisées, dont seule la moyenne est présentée

d₀: consommation moyenne des portées ((g/j)/(kg PV)^b) à 19°C (modèle 1) ou avant la température seuil (modèle 2);
d₁: variation linéaire de la consommation ((g/j)/((kg PV)^b·°C)); d₂: variation quadratique de la consommation ((g/j)/((kg PV)^b·°C²)); T_s: température seuil après laquelle la consommation diminue (°C); b: exposant affecté au poids vif
(2) ETR : écart type résiduel (g/j)

24 portées. L'analyse par les modèles 1 et 2 indique que la consommation d'aliment est en fait approximativement constante entre 19 et 25°C (1,17 kg/j), puis décroît de manière quadratique (modèle 1) ou linéaire (modèle 2 ; figure 1) au dessus de 25°C. La diminution de la consommation semble toutefois s'accélérer au delà de 33°C. Le gain moyen quotidien atteint également ses valeurs maximales de 19°C à 25°C (respectivement 0,88 et 0,86 kg/j), puis décroît pour être minimal à 35°C (0,43 kg/j). L'indice de consommation est minimal à 23°C (1,47) et maximal à 35°C (1,70).

2.2. Essai 2

Comme pour l'essai 1, l'augmentation de la température de 23 à 33°C se traduit par une diminution de la consommation d'aliment (30%), du gain moyen quotidien (37%), et une augmentation de l'indice de consommation (12%). La diminution de l'ingéré à 33°C est associée à de moindres durées d'ingestion (-28%) et de consommation

(-334%) (tableau 3). Les nombres de repas et les vitesses d'ingestion sont identiques à 23 et 33°C, mais la taille des repas est diminuée au chaud. La différence entre les durées de consommation et d'ingestion est inférieure à 33°C, ce qui indique que les porcs ont des pauses plus prolongées en cours de repas à 23°C.

La production de chaleur, exprimée par kg de poids métabolique, des porcs exposés à 33°C est de 18% inférieure à celle des animaux à 23°C (tableau 4). Les contributions respectives de la production de chaleur associée à l'activité physique, de la thermogénèse alimentaire (TEF) et de la production de chaleur à jeun à cette baisse sont de 7, 48 et 45%. Le TEF exprimé par kJ d'EM ingéré n'est pas différent entre les deux traitements (0,14 kJ / kJ EM). En accord avec la consommation moindre d'EM (et donc la plus faible lipogénèse), le quotient respiratoire des animaux à 33°C est inférieur à celui des porcs élevés à 23°C. De même, en accord avec la moindre vitesse de croissance à 33°C, la quantité d'énergie retenue par les animaux est de 36% plus faible à cette température.

Tableau 3 - Effets de la température sur les performances et les caractéristiques de la prise alimentaire de porcelets sevrés élevés en groupe (essai 2)
(durée des mesures : 10 jours)

Température, °C	23	33	ETR (1)	Analyse statistique (2)
Nombre d'observations (3)	15	15		
Performances de croissance				
Poids vif moyen (kg)	27,3	25,0	1,8	T*
Gain moyen quotidien (g/j)	987	621	49	T**
Indice de consommation	1,50	1,68	0,07	T*
Caractéristiques de la prise alimentaire (/j)				
Nombre de repas (4)	14	15	4	
Consommation d'aliment (g)	1502	1054	235	T**
Consommation (g/kg BW ^{0,60})	206	153	31	T**
Durée d'ingestion (min) (5)	58	42	10	T*
Durée de consommation (min) (6)	80	53	17	T*
Vitesse d'ingestion (g/min)	27	26	5	
Caractéristiques du repas				
Taille du repas (g)	112	76	29	T*
Durée d'ingestion (min)	4,3	3,1	1,3	
Durée de consommation (min)	5,9	3,8	1,4	G(T)**

(1) Écart type résiduel

(2) Le modèle inclut les effets de la température (T) et du groupe intra-température (G(T)) ; niveaux de signification :

** P < 0,01, * P < 0,05.

Les jours de pesée des animaux ne sont pas pris en compte dans les moyennes

(3) Trois groupes de cinq porcs par température

(4) Un repas correspond à un groupe de visites (instabilité de l'auge) successives séparées par moins de deux minutes (i.e. critère de repas)

(5) Durée cumulée des visites

(6) Durée cumulée des durées d'ingestion et des pauses dans un repas

Tableau 4 - Effet de la température sur la production de chaleur et le bilan d'énergie chez le porcelet sevré en groupe (essai 2)
(durée des mesures : 10 jours + 1 jour à jeun)

	Température, °C		ETR (1)	Analyse statistique (2)
	23	33		
Nombre d'observations (3)	3	3		
Poids vif, kg	27,3	24,9	0,8	T*
Énergie métabolisable ingérée (EM), MJ/j kg PV^{0,60}	2,99	2,20	0,11	T**
Production de chaleur (PC), MJ/j/kg PV^{0,60}				
À jeun (4)	0,85	0,73	0,05	T*
Activité physique	0,28	0,26	0,02	
Effet thermique de l'aliment	0,42	0,29	0,05	T*
Total	1,55	1,28	0,04	T**
Énergie retenue, MJ/j/kg PV^{0,60}	1,44	0,92	0,07	T**
Quotient respiratoire	1,12	1,08	0,01	T*
Effet thermique de l'aliment, kJ / kJ EM	0,14	0,13	0,02	

(1) Écart type résiduel

(2) T : Effet de la température ; niveaux de signification : ** P < 0,01, * P < 0,05.

Les jours 1 et 6 ne sont pas pris en compte (pesées)

(3) Chaque observation correspond à la moyenne de 10 journées (séparées par une journée de pesée) mesurées sur un groupe de 5 porcelets et rapportées par porcelet

(4) À partir de la mesure réalisée le 13^{ème} jour d'expérience et supposée constante par kg de poids métabolique (PV^{0,60} ; PV du matin du jour de mise à jeun comme référence)

Tableau 5 - Effets de la température et du niveau alimentaire sur le bilan d'énergie et la durée de station debout du porcelet élevé individuellement (essai 3)
(durée des mesures : 5 jours + 1 jour à jeun)

Traitement (1)	23AL	23PF	33AL	ETR (2)	Analyse statistique (3)
Nombre d'animaux	6	7	6		
Performances de croissance					
Poids vif moyen (kg) (4)	26,1	24,9	25,2	2,1	
Gain moyen quotidien (g/j)	914 ^a	682 ^b	751 ^b	91	Tr**
Indice de consommation	1,39	1,40	1,27	0,12	Tr [†]
Bilan énergétique, MJ/j/kg PV^{0,60}					
Énergie métabolisable	2,52 ^a	1,95 ^b	1,95 ^b	0,02	Tr**, P*
Production de chaleur					
À jeun (5)	0,81 ^a	0,76 ^a	0,64 ^b	0,05	Tr**, P*
Activité physique	0,21	0,26	0,26	0,04	
Effet thermique du repas	0,43 ^a	0,26 ^b	0,26 ^b	0,03	Tr**
Total	1,45 ^a	1,28 ^b	1,16 ^c	0,06	Tr**
Énergie retenue					
Protéines (ERP)	0,56 ^a	0,41 ^c	0,44 ^b	0,01	Tr**
Lipides (ERL)	0,51 ^a	0,26 ^c	0,34 ^b	0,06	Tr**
Total (ER)	1,07 ^a	0,68 ^c	0,78 ^b	0,06	Tr**
Quotient respiratoire	1,06 ^a	1,02 ^b	1,04 ^{ab}	0,02	Tr*
TEF, % EM	17,1 ^a	13,3 ^b	13,5 ^b	1,4	Tr**
Durée de la station debout (h/j) (6)					
Pendant jour	1,1 ^b	1,5 ^a	0,5 ^c	0,1	Tr**
Pendant nuit	2,6 ^b	3,4 ^a	1,6 ^c	0,2	Tr**
Total	3,7 ^b	4,9 ^a	2,1 ^c	0,1	Tr**, P*

(1) 23AL : porcelets exposés à 23°C à 95% de l'ad libitum, 33AL : porcelets exposés à 33°C à 95% de l'ad libitum,

23PF : porcelets exposés à 23°C et restreints au niveau des 33AL

(2) Écart type résiduel

(3) Analyse de variance avec le traitement (Tr) et la portée (P) comme effets principaux ; niveaux de signification : [†] : P < 0,10, * : P < 0,05, ** : P < 0,01. Les lettres minuscules différentes indiquent des différences significatives entre moyennes (P < 0,05)

(4) Poids vif moyen des jours 2 à 6 de mesure de la production de chaleur

(5) Estimée à partir de la production de chaleur à jeun du jour 7

(6) Trois porcelets par traitement

2.3. Essai 3

Dans l'expérience 3, les données de deux animaux ne sont pas considérées pour des raisons techniques. En accord avec le schéma expérimental, les porcs 23PF et 33AL reçoivent 25% d'aliment de moins que les porcs 23AL, et leurs gains moyens quotidiens sont logiquement réduits (en moyenne 751 contre 914 g/j). L'indice de consommation tend à être inférieur à 33°C. La production de chaleur des animaux 33AL est de 20% inférieure à celle des 23AL, mais elle est également inférieure à celle des 23PF (tableau 5 p 13). La différence entre les deux groupes à faible niveau alimentaire ne tient pas à un changement du TEF (0,26 MJ/kg PV^{0,60}; 0,43 MJ/kg PV^{0,60} pour les 23AL) mais à une production de chaleur à jeun inférieure chez les 33AL. La production de chaleur associée à l'activité physique n'est pas modifiée, même si elle tend à être plus faible chez les 23AL ($P < 0,07$). Le quotient respiratoire des porcs 33AL (1,04) est intermédiaire entre celui des 23AL (1,06) et des 23PF (1,02). L'énergie retenue chez les porcs à faible niveau alimentaire est de 25% inférieure en moyenne à celle des 23AL. A même niveau alimentaire, les porcs à 23°C retiennent 5% de protéines et 24% de lipides de moins que les porcs à 33°C. Bien que les productions de chaleur associées à l'activité physique soient identiques pour les trois traitements, la durée de la station debout chez les porcs 23PF et 23AL est supérieure, de jour comme de nuit, à celle des porcs 33AL.

3. DISCUSSION

Les résultats des essais 1 et 2 sont conformes aux données de la bibliographie et confirment que l'exposition chronique du porcelet à des températures élevées a pour conséquence principale de diminuer sa consommation d'aliment. L'expérience 1 indique que la consommation d'aliment est relativement constante entre 19 et 25°C puis décroît de façon linéaire au-dessus de 25°C. Les diminutions estimées à 33 et 40 g/j/°C au-dessus de 25°C pour des porcs de respectivement 20 et 26 kg (essai 1) et celle de 45 g/j/°C entre 23 et 33°C mesurée pour des porcelets d'environ 26 kg (essai 2) sont intermédiaires entre les valeurs obtenues par RINALDO et LE DIVIDICH (1991a) entre 25 et 31,5°C (28 g/j/°C) et celles relevées par SUGAHARA et al (1970) entre 23 et 33°C (42 g/j/°C) pour des porcs d'environ 20 kg. La faible variation de la consommation entre 19 et 25°C (essai 1), conforme aux études de FULLER (1965) et RINALDO et LE DIVIDICH (1991a) qui rapportent de faibles hausses de consommation entre 25 et 10°C, suggère que les porcelets ont une capacité d'ingestion limitée pour consommer davantage d'aliment et couvrir ainsi leur besoin de thermorégulation. La température seuil de 24,7°C obtenue dans l'essai 1 suggère que, au sein même de la zone de thermoneutralité (19 à 30°C selon HOLMES et CLOSE (1977) pour des porcs de 15 à 30 kg), existent des ajustements graduels (comportement social, alimentaire) pour maintenir l'homéothermie.

Les caractéristiques de la prise alimentaire des porcs nourris à volonté (expérience 2) indiquent une diminution de la taille et de la durée des repas, sans variation de la vitesse d'ingestion ni du nombre de repas au chaud, en accord avec QUINIOU et al (2000a) chez le porc en croissance. Il faut également noter

que au chaud, le porcelet réduit au minimum les temps de pause au cours d'un repas, ce qui contribue à diminuer la production de chaleur liée à l'activité physique qui est, comme le suggèrent les résultats de l'essai 3, coûteuse en énergie.

La réduction de la consommation d'aliment s'accompagne d'une baisse des performances de croissance : dans le premier essai, le gain de poids vif décroît de la même manière que la consommation et la température n'a pas d'effet sur l'indice de consommation. Les résultats des expériences 2 et 3, s'ils indiquent des diminutions de gain moyen quotidien à 33°C (en lien avec la baisse du niveau alimentaire), sont contradictoires en ce qui concerne l'indice de consommation : celui-ci est significativement supérieur à 33°C dans l'essai 2, mais tend à être inférieur chez les animaux 33AL dans l'essai 3. Cette divergence pourrait venir des niveaux alimentaires légèrement inférieurs au niveau à volonté dans l'essai 3.

La diminution de la production de chaleur observée à 33°C chez des animaux nourris à volonté se traduit principalement par une diminution du TEF et de la production de chaleur à jeun. D'après les expériences 2 et 3, la diminution du TEF participe pour 45-50% à la baisse de la production de chaleur au chaud, via un effet du niveau alimentaire. La réduction de la production de chaleur à jeun, dans les expériences 2 et 3, participe également pour moitié à la diminution de production de chaleur. Elle pourrait être liée à un effet indirect du niveau alimentaire via la diminution de la masse des viscères (RINALDO et LE DIVIDICH, 1991a) et de la production de chaleur associée (KOONG et al, 1983 ; VAN MILGEN et al, 2000). Cependant, l'expérience 3 indique que la production de chaleur à jeun des animaux 23PF est supérieure à celle des porcs 33AL, ce qui suggère un effet propre de la température sur la production de chaleur à jeun. La température de 23°C est supérieure à la température critique inférieure (TCi) du porc de 20 à 35 kg nourri au dessus de l'entretien, mais elle serait inférieure à la TCi de porcelets de 25 à 40 kg à jeun (CLOSE et MOUNT ; 1975 ; 1978); ces observations de la bibliographie expliqueraient également la production de chaleur à jeun plus élevée chez les porcelets 23PF.

Malgré l'absence de différence de production de chaleur associée à l'activité physique entre les traitements thermiques, tant dans l'expérience 2 que 3, les porcs au chaud sont moins actifs en se tenant moins longtemps debout que les animaux à 23°C. La baisse d'activité volontaire est donc compensée par une activité d'hyperventilation, développée pour augmenter les pertes de chaleur du porc par voie évaporative.

Enfin, en accord avec NIENABER et HAHN (1983) et RINALDO et LE DIVIDICH (1991a), l'énergie retenue sous forme de protéines et de lipides est réduite au chaud chez les porcs nourris à volonté. Ce résultat est à associer à la disponibilité moindre d'énergie liée à la diminution marquée de l'ingestion d'aliment. En revanche, à même niveau alimentaire, les accrétions lipidique et protéique sont plus importantes au chaud. Ce résultat est en contradiction avec RINALDO et LE DIVIDICH (1991a), qui calculent des énergies retenues sous forme de protéines et de lipides similaires à 25 et 31,5°C (à même EM ingérée) et avec LE DIVIDICH et al

(1985) qui n'ont pas obtenu de différence marquée de composition corporelle entre des porcs élevés à 20 et 28°C à même ingéré alimentaire. Quoi qu'il en soit, l'augmentation du dépôt lipidique au chaud est en accord avec un quotient respiratoire légèrement plus élevé chez les porcs 33AL que chez les porcs 23PF. Contrairement au porc en croissance dont la rétention protéique est directement affectée par l'exposition à des températures élevées (HOLMES, 1973 ; Le BELLEGO et al, non publié), le porcelet sevré présente une augmentation légère (7 %) de rétention protéique au chaud à même niveau alimentaire. Chez cet animal, la chaleur n'aurait donc pas d'effet négatif propre sur le dépôt de protéines. On peut enfin affirmer que, comme chez le porc en croissance, la restriction énergétique (23PF vs 23AL) affecte le dépôt protéique.

CONCLUSION

L'acclimatation du jeune porc au chaud se traduit d'abord par une diminution de la consommation d'aliment à partir

d'environ 25°C, ce qui implique que la zone optimale de température d'élevage est peut-être plus limitée qu'on ne le suppose habituellement. La diminution de la consommation est en grande partie responsable de la diminution de la production de chaleur au chaud (via une réduction de la thermogénèse alimentaire), mais un éventuel effet propre de la température sur la production de chaleur à jeun reste à déterminer. Quoi qu'il en soit, à même niveau alimentaire, l'énergie retenue sous forme de protéines et donc la croissance ne semblent pas être négativement affectées par la chaleur, chez le jeune porc en croissance.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient H. RENOULT, J. GAUTHIER, Françoise THOMAS, Marie-Thérèse GAUTHIER, A. ROGER pour leur assistance technique et L. DELABY, Nathalie QUINIOU et D. RENAUDEAU pour leur aide dans le traitement des données.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BROUWER E., 1965. In: "Energy metabolism". 441-443. Blaxter K.L. éd., Academic Press., London. EAAP-Publication. N° 11
- CLOSE W.H., MOUNT L.E., 1975. Br. J. Nutr., 34, 279-290.
- CLOSE W.H., MOUNT L.E., 1978. Br. J. Nutr., 40, 413-421.
- FULLER M.F., 1965. Br. J. Nutr., 19, 531-546.
- HOLMES C.W., 1973. Anim. Prod., 16, 117-133.
- HOLMES C.W., CLOSE W.H., 1977. In : "Nutrition and the climatic environment". 51-74. Haresign W., Swan H., Lewis D. édés., Butterworths, London.
- KOONG L.J., NIENABER J.A., MERSMANN A.J., 1983. J. Nutr., 113, 1626 - 1631.
- KOOPS W.J., GROSSMAN M., 1993. Growth Develop. Age., 57, 183-192.
- LABROUE F., GUÉBLEZ R., MARION M., SELLIER P., 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 175-181.
- LE DIVIDICH J., DESMOULIN B., DOURMAD J.Y., 1985. Journées Rech. Porcine en France, 17, 275-282.
- MASSABIE P., GRANIER R., LE DIVIDICH J., 1996. Journées Rech. Porcine en France, 28, 189-194.
- NIENABER J.A., HAHN G.L., 1982. ASAE Paper N°82-4065. St Joseph, Michigan.
- NIENABER J.A., HAHN G.L., 1983. ASAE Paper N°83-137. St Joseph, Michigan.
- NOBLET J., LE DIVIDICH J., BIKAWA T., 1985. J. Anim. Sci., 61, 452-459.
- QUINIOU N., DUBOIS S., NOBLET J., 2000a. Livestock Production Science (sous presse).
- QUINIOU N., NOBLET J., VAN MILGEN J., DUBOIS S., 2000b. Br. J. Nutr. (sous presse).
- RINALDO D., LE DIVIDICH J., 1991a. Livest. Prod. Sci., 29, 61-75.
- RINALDO D., LE DIVIDICH J., 1991b. Comp. Biochem. Physiol., 100 (A), 995-1002.
- S.A.S. (Statistical Analysis Systems), 1990. SAS/STAT User's Guide: statistics, Release 6.07. Cary, NY : SAS Institute Inc.
- SUGAHARA M., BAKER D.H., HARMON B.G., JENSEN A.H., 1970. J. Anim. Sci., 31, 59-62.
- VAN MILGEN J., NOBLET J., DUBOIS S., 2000. Journées Rech. Porcine en France, 32, 235-240.