

# Effet du niveau de température sur l'acclimatation à court et moyen terme du porc en croissance

David RENAUDEAU (1), Jean Luc GOURDINE (1), Caroline ANAIS (2)

(1) INRA, Unité de Recherches Zootechniques, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe  
(2) INRA, Unité de Production et de Santé Animale, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe  
David.Renaudeau@antilles.inra.fr

avec la collaboration technique de K. Benony (2), B. Bocage (2), M. Bructer (2), M. Giorgi (2), L. Farajje (1), E. Huc (1), M. Kerdoncuff (1), F. Silou (2), B. Racon (2)

## Effet du niveau de température sur l'acclimatation à court et moyen terme du porc en croissance

Les effets de la température ambiante sur l'acclimatation à court et moyen terme ont été mesurés sur un total de 48 porcs mâles castrés Large White repartis en 4 répétitions de 12 porcs. Les animaux ont été placés à 24°C pendant 10 jours (j-10 à j-1) puis à 24, 28, 32, ou 36°C pendant 20 jours (j0-j20) respectivement dans la répétition 1, 2, 3 et 4. Le changement de température entre ces deux périodes a été réalisé à j0 (2°C/h). L'hygrométrie ambiante est maintenue constante à 80 %. Les animaux sont logés individuellement et sont nourris à volonté avec un aliment contenant 17,2 % de MAT et 11,8 MJ/kg d'énergie nette. L'élévation de la température ambiante s'accompagne d'une réduction de la consommation d'aliment (CMJ) et de la vitesse de croissance (GMQ) de 85 et 49 g/j/°C entre j1 et j20. L'effet de la température sur les performances des animaux varie selon la durée d'exposition à la chaleur. Entre j0-j10 et j11-j20, la CMJ diminue en moyenne de 19 g/j/kg<sup>0,60</sup> à 24 et 28°C, augmente de 14 g/j/kg<sup>0,60</sup> à 32°C et reste constante à 36°C. A l'exception de 24°C, le GMQ augmente significativement entre j0-j10 et j11-j20. Cette augmentation est fonction du niveau de température : elle est de 77 g/j à 28°C et de 451 g/j à 36°C. Au dessus de 24°C, l'acclimatation à la chaleur se traduit par une réduction significative de la température rectale entre j0-j10 et j11-j20 ; cette évolution ne dépend pas de la température ambiante (-0,2°C en moyenne). La température cutanée et le rythme respiratoire diminuent également entre j0-j10 et j11-j20 (respectivement -0,23°C et -10 ventilations/min).

## Influence of temperature level on short and long term acclimation to heat stress in growing pig.

The effects of the temperature level on the short and medium term acclimation to heat stress were studied in 4 replicates involving a total of 48 Large White castrated males. Animals were exposed to 24°C for 10 days (d-10 to d-1) and, thereafter to a constant temperature of 24, 28, 32 or 36°C for 20 days (d 0 to d 20) in the replicate 1, 2, 3 and 4, respectively. On d 0 the temperature was changed at a rate of 2°C/h. The relative humidity was maintained constant at 80% throughout the experiment. Pigs were individually housed and given ad libitum access to diet (17.2% CP and 11.8 MJ/d net energy). Between d0 and d20, the elevated temperature induced a linear reduction of the average daily feed intake (CMJ) and average growth rate (GMQ) (-85 and -49 g/j/°C, respectively). Growth performances were influenced by the duration of heat exposure. Between d1-d10 and d11-d20, the CMJ was reduced of about 19 g/j/kg<sup>0.60</sup> at 24 and 28°C, increased of 14 g/j/kg<sup>0.60</sup> at 32°C and remained constant at 36°C. Except at 24°C, the GMQ significantly increased between d1-d10 and d11-d20. This GMQ variation was affected by the temperature level (+77 g/j and + 451 g/j at 28 and 36°C, respectively). Above 24°C, the acclimation to heat stress resulted in a significant reduction of rectal temperature between d1-d10 and d11-d20 (-0.2°C on average). The cutaneous temperature and the respiratory rate were also reduced during this period (-0.23 and -10 breaths/min, respectively).

## INTRODUCTION

Chez le porc, le niveau de performance dépend principalement de la bonne adéquation entre les besoins nutritionnels et les apports alimentaires. Tout facteur susceptible d'influencer l'appétit des animaux a donc des conséquences directes sur les performances de croissance. La température est le principal facteur climatique affectant le niveau d'ingestion des porcs. Une augmentation de la température au dessus de la limite supérieure de la zone de confort thermique (environ 25°C d'après Quiniou et al., 1998) réduit la consommation d'aliment du porc en croissance, et par voie de conséquence leur performance de croissance. Cette chute de l'appétit est souvent décrite comme une adaptation visant à réduire la production de chaleur métabolique pour participer au maintien de l'homéothermie. La plupart des études de la bibliographie portant sur les effets de la température sur les performances de croissance des porcs a été réalisée en utilisant des animaux préalablement acclimatés au traitement thermique à tester (Nienaber et al., 1987). En pratique, il est probable que la façon dont un animal réagit dans les premières heures à un stress thermique conditionne ces performances ultérieures à court ou moyen terme. Face à une brusque élévation de la température de 22 à 31°C ou de 22 à 33°C, la température corporelle augmente très rapidement dans les premières heures puis décroît progressivement dans les jours suivants, même si l'animal est maintenu au chaud (Morrison et Mount, 1971 ; Giles et Black, 1991). A l'inverse, la CMJ chute très brutalement dans les premiers jours d'exposition à la chaleur puis augmente au cours de la durée d'exposition à la température élevée. Ces deux études montrent que les processus d'acclimatation se mettent en place assez rapidement chez le porc. Par ailleurs, ces mécanismes d'acclimatation peuvent varier selon le type génétique (Renaudeau et al., 2007). Les études citées précédemment ont été réalisées en considérant un seul niveau de température élevée. Or il est probable que ces processus d'acclimatation varient avec le niveau de température considéré.

L'objectif de notre expérience est de caractériser les effets du niveau de la température sur les performances (croissance, utilisation digestive et métabolique de l'aliment, composition corporelle), le comportement et les réponses de thermorégulation du porc en fonction de la durée d'exposition au stress thermique. Dans cet article, seules les données sur les performances de croissance, le comportement et les indicateurs de la thermorégulation sont présentées.

## 1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 1.1. Dispositif expérimental et conduite des animaux

Un total de 48 porcs mâles castrés Large White a été utilisé dans cette étude conduite à l'Unité Expérimentale de Production et de Santé Animale du centre INRA Antilles-Guyane (16° Lat. N., 61° Long. O.). Cette expérience s'est déroulée en 4 répétitions successives de 12 animaux chacune. A l'âge de 12 semaines, les porcs sont mutés dans un bâtiment climatisé équipé de 12 cages individuelles (0,85 x 1,50 m) sur caillebotis fils permettant la collecte des excréments

(résultats non présentés ici). Chaque cage est équipée d'un nourrisseur et d'une sucette avec un accès libre à l'eau. Les porcs sont nourris *ad libitum* avec un aliment contenant 17,2 % de protéines brutes et 11,8 MJ/kg d'énergie nette. L'expérience commence après 10 jours d'adaptation au bâtiment et à l'aliment ; pendant cette période, la température ambiante est maintenue à 24°C. Après cette période d'adaptation, la durée de l'expérience est de 30 jours. Les animaux sont d'abord exposés à une température constante de 24°C pendant 10 jours (j-10 à j-1) puis à une température expérimentale de 24, 28, 32 ou 36°C pendant 20 jours (j0 à j20), respectivement pour la répétition 1, 2, 3 et 4 (Figure 1). La transition entre ces 2 périodes est réalisée à j0 à raison d'une augmentation de 2°C/h à partir de 9 heures. L'hygrométrie ambiante est maintenue constante à 80 % pendant toute la durée de l'expérience. La photopériode est fixée à 12:30 h de lumière (entre 06:00 et 18:30 h).

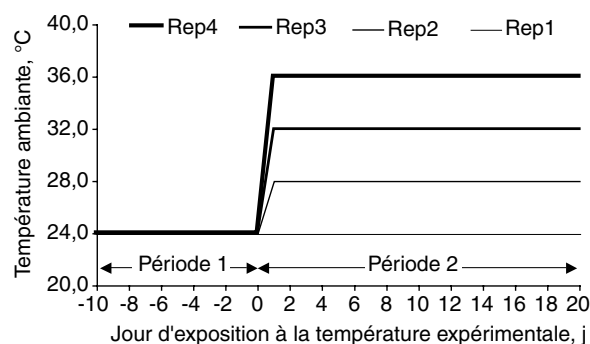


Figure 1 - Dispositif expérimental utilisé dans cette expérience

### 1.2. Mesures réalisées

Les porcs sont pesés individuellement à l'entrée dans le bâtiment climatisé, à j-11, j0, j10 et j20. Des pesées supplémentaires sont effectuées à j-10 et j21 après une mise à jeun de 24 h. La consommation moyenne d'aliment (CMJ) de chaque porc est mesurée par différence entre la quantité d'aliment allouée et refusée le lendemain matin (à 07:00 h). Tous les matins des échantillons d'aliment alloué et refusé sont prélevés pour déterminer leur teneur en matière sèche. A la fin de l'expérience, les échantillons d'aliment alloué sont poolés et broyés pour les analyses de laboratoire. La température rectale et cutanée et le rythme respiratoire sont mesurés trois fois par jour (07:00, 12:00 et 18:00 h) régulièrement au cours de l'expérience (à j-10, -7, -5, -3, -1, 0, +1, +2, +4, +7, +9, +11, +14, +16, +18 et j+20, j0 étant le jour de transition de 24°C à la température expérimentale). Des mesures supplémentaires sont réalisées toutes les heures au moment de la transition de température à j0. Pour chaque série de mesures, le protocole suivant est appliqué : le rythme respiratoire est d'abord mesuré uniquement sur des animaux couchés en comptant le nombre de ventilations pulmonaires sur une durée d'une minute. Ensuite, les mesures de température rectale et de température cutanée sont effectuées. La température cutanée est déterminée au niveau du dos (site P2) et au niveau du flanc. Le comportement des animaux (posture et comportement alimentaire et hydrique) est enregistré toutes les 5 min entre 07:00 et 19:00 h à j-5 et j+8.

### 1.3. Calculs et analyse statistique.

La vitesse de croissance individuelle (GMQ) est déterminée d'une part entre j-10 et j-1 et entre j0 et j20 et d'autre part entre j0 et j10 et j11 et j20 à partir des poids à jeun. La température cutanée a été calculée comme la moyenne des températures mesurées au niveau du dos et du flanc. Les données du comportement sont exprimées pour chaque porc en pourcentage du nombre total d'observations réalisées au cours des 12 h de mesures. Pour chaque porc, les performances moyennes sont calculées en considérant soit 2 ou soit 3 périodes de mesures (j-10 à j-1 et j0 à j20 ou j-10 à j-1, j0 à j10 et j10 à j20). Ces données sont traitées à l'aide d'un modèle mixte (Proc Mixed de SAS, 2000) avec la répétition (R, n=4), la période (P, n=2 ou 3) et l'interaction RxP comme effets fixes. Afin de tenir compte de la dépendance des données obtenues sur un même animal au cours des différentes périodes de mesures, une matrice de variance-covariance de type UN a été choisie pour modéliser les corrélations entre les résidus.

L'évolution de la température rectale (°C), cutanée (°C) ou du rythme respiratoire (ventilations/min ou vpm) au cours de la transition de température entre 24°C et la température expérimentale à j0 (28, 32 ou 36°C) a été analysée en considérant l'existence d'une température seuil Ts (°C) à partir de laquelle les réponses de thermorégulation changent. Pour cela nous avons exprimé les réponses de thermorégulation comme une fonction plateau-linéaire de la température ambiante :

$$Y = y_0 \text{ si } T < T_s \text{ et } Y = Y_0 + v_1 \times (T - T_s) \text{ si } T \geq T_s.$$

Où Y est la réponse de thermorégulation (°C ou vpm), y0 (°C/°C ou vpm/°C), une constante indépendante de T

et v1, la vitesse d'augmentation de la réponse Y lorsque  $T \geq T_s$ . Les paramètres ont été estimés en utilisant la procédure NLIN de SAS (2000). Pour la température cutanée, le modèle précédent n'ayant pas convergé, nous avons utilisé un modèle linéaire ( $Y = y_0 + v_1 \times T$ ). Pour chaque animal, la différence de CMJ (dCMJ) ou de GMQ (dGMQ) entre j0-j20 et j-10-j1 est calculée. Les réponses de la CMJ ou du GMQ mesuré entre j0 et j20 et de dCMJ et dGMQ en fonction de la température de la période 2 (24, 28, 32 ou 36°C) sont déterminées par analyse de covariance avec la température en covariable.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances zootechniques et comportement des animaux

Au cours des répétitions 2 et 3, deux animaux ont été retirés de l'expérience pour des problèmes sanitaires (prolapsus rectal). Un animal est mort d'hyperthermie au cours de la répétition 3 lors de la montée de température entre 24 et 32°C. L'effet de la répétition sur les performances mesurées au cours de la 1<sup>ère</sup> période à 24°C (entre j-10 et j-1), est significatif : la consommation moyenne journalière d'aliment (CMJ) et le gain de poids moyen quotidien (GMQ) sont plus faibles au cours de la répétition 3 comparativement aux autres répétitions (187 vs. 219 g/j/kg<sup>0,60</sup> et 887 vs. 1040 g/j ; P < 0,05) (Tableau 1).

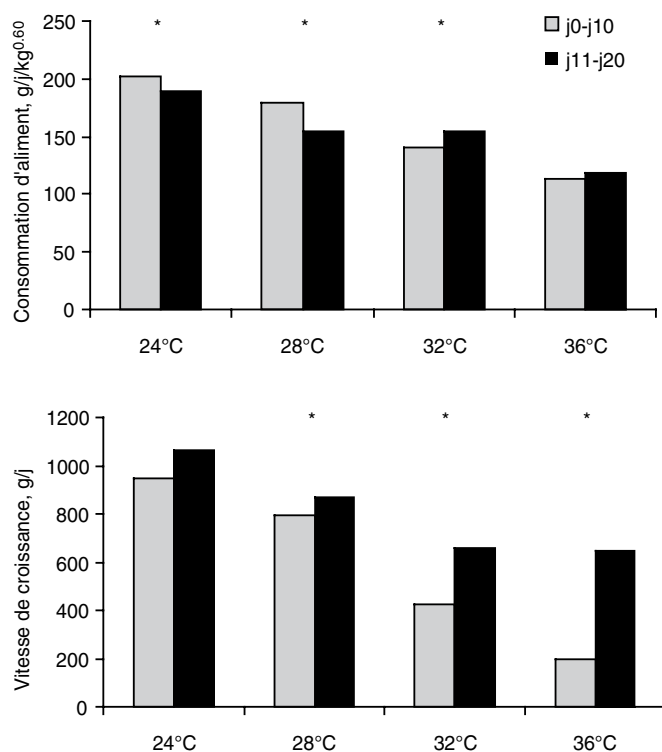
Au cours de la période 2 (j0 à j20), la température ambiante a un effet significatif sur la CMJ, avec une réduction de 1002 g/j ou de 78 g/j/kg<sup>0,60</sup> entre 24 et 36°C (Tableau 1). Une analyse de covariance a été réalisée entre la différence de CMJ entre j-10-j-1 et j0-j20 (dCMJ) et la température appliquée entre j0 et j20 (T, en covariable). Nous obtenons une

**Tableau 1** - Effet du niveau de température sur l'acclimatation à moyen terme des porcs en croissance (moyennes ajustées)

Température	Période1	Période 2				ETR	Statistiques (1)		
	24°C	24°C (rep1)	28°C (rep2)	32°C (rep3)	36°C (rep4)		R	P	RxP
Nb. de porcs	45	12	11	10	12				
<b>Performances zootechniques</b>									
Poids vif, kg									
Initial	41,9	51,2	53,5	53,5	52,9	4,3	NS	**	NS
Final	53,1	72,5 <sup>b</sup>	71,7 <sup>c</sup>	65,7 <sup>d</sup>	61,6 <sup>d</sup>	4,7	**	**	**
Vitesse de croissance, g/j	1001 <sup>a</sup>	1012 <sup>b</sup>	810 <sup>c</sup>	578 <sup>d</sup>	411 <sup>e</sup>	108	**	**	**
Consommation d'aliment									
g/j	2137 <sup>a</sup>	2355 <sup>b</sup>	2025 <sup>c</sup>	1546 <sup>d</sup>	1353 <sup>e</sup>	219	**	**	**
g/j/kg <sup>0,60</sup>	211 <sup>a</sup>	198 <sup>b</sup>	168 <sup>c</sup>	133 <sup>d</sup>	120 <sup>e</sup>	17	**	**	**
Indice de consommation, kg/kg	2,2	2,2 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>	2,6 <sup>b</sup>	3,8 <sup>c</sup>	0,9	*		
<b>Paramètres d'adaptation</b>									
Température rectale, °C	39,4	39,3 <sup>b</sup>	39,5 <sup>c</sup>	40,1 <sup>d</sup>	40,6 <sup>e</sup>	0,2	**	**	**
Température cutanée, °C	37,3	37,4 <sup>b</sup>	37,8 <sup>c</sup>	38,5 <sup>d</sup>	38,9 <sup>e</sup>	0,4	**	**	**
Rythme respiratoire, vpm	44	44 <sup>b</sup>	77 <sup>c</sup>	102 <sup>d</sup>	101 <sup>d</sup>	10	**	**	**

(1) Analyse de variance incluant la répétition (R), la période (P ; période 1 : J-10-J0, période 2 : J0-J20) et l'interaction RxP en effets fixes et l'animal en effet aléatoire. Niveau de signification : \*\* : P < 0,01, \* : P < 0,05, NS : non significatif. ETR : écart type résiduel du modèle. Pour la période 1, la lettre 'a' signifie un effet significatif de la répétition. Pour la seconde période, les moyennes affectées par des lettres différentes (b, c, d, e) sont significativement différentes.

relation linéaire ( $dCMJ = 2212 - 84,6 T$ ,  $R^2=0,79$ ,  $ETR=204$  g/j) où chaque degré d'augmentation de la température entre 24 et 36°C se traduit par une réduction de 85 g/j de la CMJ. L'ajout de la CMJ mesurée entre j-10 et j-1 ( $CMJ_{j-10-j-1}$ ) en covariable dans ce modèle permet d'améliorer sensiblement la relation ( $dCMJ = 3292 - 85,6 T - 0,489 CMJ_{j-10-j-1}$ ,  $R^2 = 0,87$ ,  $ETR = 160$  g/j). Ce résultat suggère que l'effet de la température sur l'appétit est d'autant plus important que la CMJ avant le stress thermique est élevée. La réduction du  $GMQ_{j0-j20}$  de 601 g/j entre 24 et 36°C est liée à la chute de l'appétit au chaud. L'analyse de covariance montre qu'il y a une relation linéaire entre la différence de GMQ entre j-10-j-1 et j0-j20 ( $dGMQ$ ) et la température ambiante ( $dGMQ = 1172 - 49,1 T$ ,  $R^2 = 0,65$ ,  $ETR = 168$  g/j) ; d'après cette relation, le GMQ diminue de 49 g/j/°C entre 24 et 36°C. L'indice de consommation est significativement affecté par le niveau de température, avec une valeur plus élevée à 36°C par rapport autres niveaux de température (3,8 vs. 2,4 kg/kg ;  $P < 0,05$ ).



**Figure 2** - Effet de la durée d'exposition à un stress thermique selon le niveau de température sur la consommation d'aliment et la vitesse de croissance des porcs (j0 = jour de transition entre les deux niveaux de température).

\* = pour chaque niveau de température l'effet de la période (j0 à j10 vs. j11 à j20) est significatif ( $P < 0,05$ ).

La figure 2 présente l'évolution des performances en fonction de la durée d'exposition à la température expérimentale (j0-j10 vs. j11-j20). Exprimée en fonction du poids métabolique, la CMJ diminue de 13 et 24 g/j/kg<sup>0.60</sup> à 24 et 28°C entre j0-j10 et j11-j20, respectivement ( $P < 0,05$ ). Au

contraire, la CMJ augmente de 14 g/j/kg<sup>0.60</sup> entre ces deux périodes à 32°C ( $P < 0,001$ ) mais reste constante à 36°C ( $P = 0,37$ ). A l'exception de la 1<sup>ère</sup> répétition à 24°C, le GMQ est significativement plus élevé entre j11-j20 qu'entre j0-j10 ( $P < 0,01$ ). La différence de GMQ entre ces deux périodes s'accroît avec l'élévation de la température ambiante : elle est de 77 g/j à 28°C et de 451 g/j à 36°C.

A j-5, le comportement des animaux n'est pas affecté par la répétition : entre 07:00 et 19:00, les porcs passent environ 84 % de leur temps en position couchée et le temps dédié à la consommation d'aliment et d'eau représente respectivement 10,3 et 2,3 % du nombre total d'observations (Tableau 2). A j8, la fréquence de la posture debout diminue et celle de la posture assise augmente lorsque la température est supérieure à 24°C (Tableau 2). L'augmentation de la température ambiante de 24 à 36°C induit une diminution linéaire de la fréquence de l'activité alimentaire (9,1 vs. 4,3 % ;  $P < 0,05$ ) et une augmentation de la fréquence de l'activité hydrique (3,2 vs. 8,9 % ;  $P < 0,05$ ).

## 2.2. Paramètres d'adaptation.

Les effets à court terme de l'élévation de la température ambiante à j0 (i.e. au cours de la transition de température entre les deux périodes expérimentales) sur les paramètres d'adaptation sont décrits dans la Figure 3. La température cutanée augmente de 0,20°C par degré d'augmentation de la température ambiante. Le rythme respiratoire est égal en moyenne à 38 ventilations/min (vpm) pour une température ambiante inférieure à 25,6°C. Au-delà de cette température seuil, RR augmente à la vitesse de 9,5 vpm/°C. La valeur moyenne de la température rectale est de 39,3°C pour une température inférieure à 26,8°C puis elle augmente de 0,17°C/°C.

Au cours de la période 1, la température rectale, cutanée et le rythme respiratoire ne sont pas affectés par la répétition (Tableau 1). Entre j0 et j20, l'augmentation de la température ambiante se traduit par une forte élévation de la température rectale et de la température cutanée (de +1,3 et +1,5°C entre 24 et 36°C, respectivement). L'évolution de rythme respiratoire montre une augmentation entre 24 et 32°C (+7,2 vpm/°C) puis une stagnation à 102 vpm entre 32 et 36°C.

La durée d'exposition à la température expérimentale a un effet sur les paramètres physiologiques (Figure 4). La température rectale et la température cutanée sont plus faibles entre j11 et j20 qu'entre j0 et j10 ; cet effet n'est significatif qu'à partir de 28°C et ne varie pas selon le niveau de température (-0,18°C et -0,23°C en moyenne). De façon similaire le rythme respiratoire est réduit entre j11 et j20 dès lors que la température dépasse 28°C (-10 vpm en moyenne).

## 3. DISCUSSION

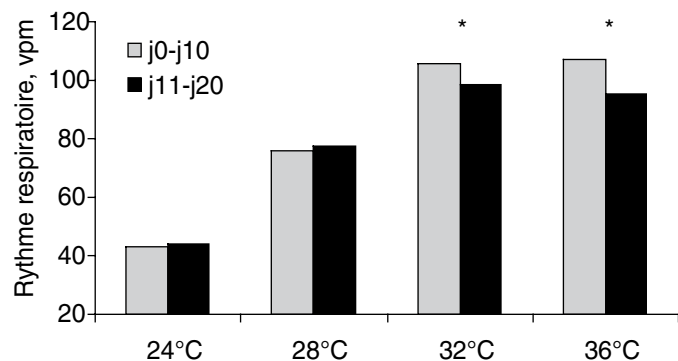
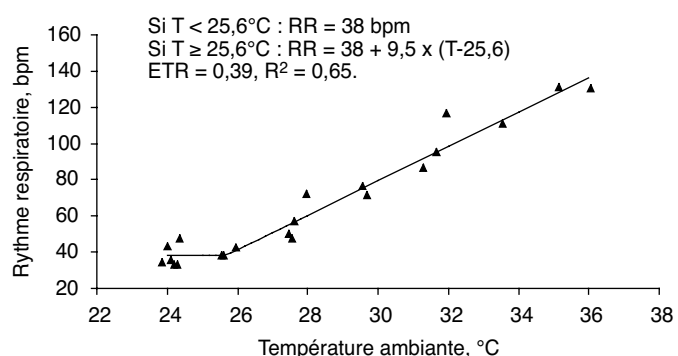
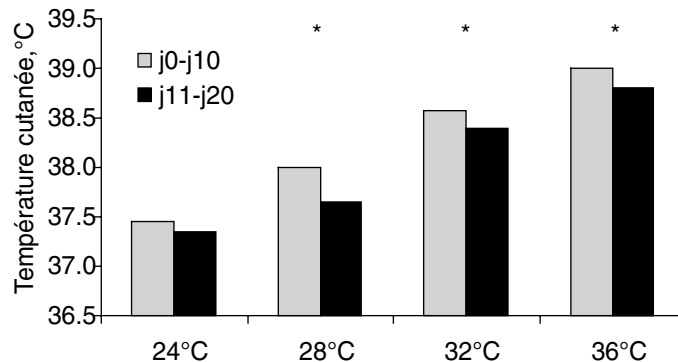
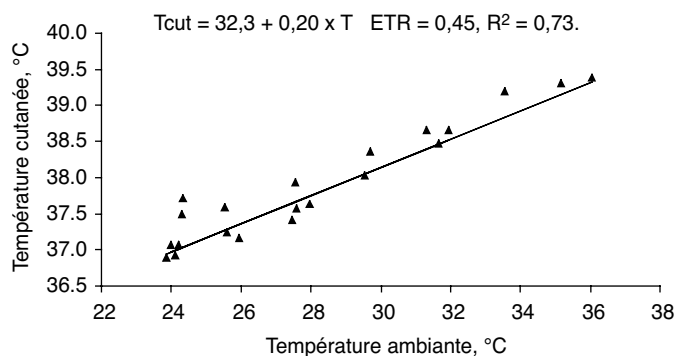
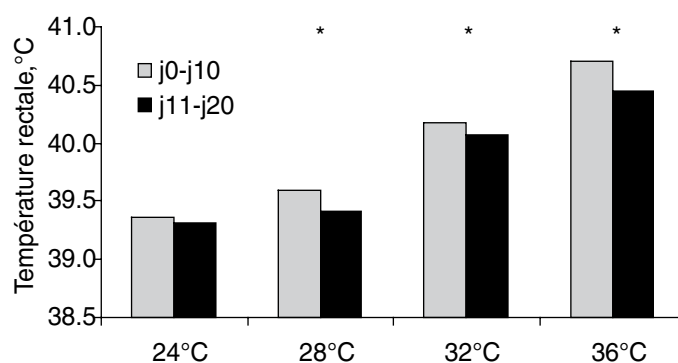
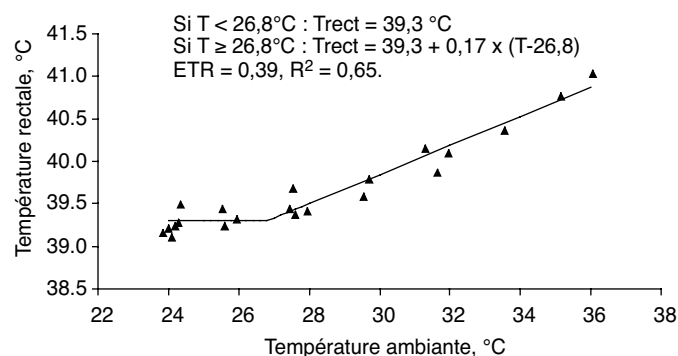
### 3.1. Adaptation à court terme

L'augmentation linéaire de la température cutanée (0,20°C/°C) avec l'élévation de la température ambiante est en accord avec les résultats obtenus sur des porcs logés

**Tableau 2** - Effet du niveau de température sur le comportement des porcs en croissance (valeurs exprimées en % du nombre total d'observations ; moyennes ajustées)

Température	Période 1	Période 2				ETR	Statistiques (1)		
	24°C	24°C (rep1)	28°C (rep2)	32°C (rep3)	36°C (rep4)		R	P	RxP
Nb. de porcs	45	12	11	10	12				
% du temps									
Debout	9,6	9,3 <sup>a</sup>	6,2 <sup>b</sup>	6,2 <sup>b</sup>	4,7 <sup>b</sup>	1,4	NS	NS	**
Assis	6,7	3,3 <sup>a</sup>	8,1 <sup>b</sup>	8,9 <sup>b</sup>	9,8 <sup>b</sup>	1,3	**	NS	NS
Couché	83,7	87,4	85,7	84,9	85,5	14,4	NS	**	NS
Activité alimentaire	10,3	9,1 <sup>a</sup>	7,2 <sup>b</sup>	5,4 <sup>c</sup>	4,3 <sup>d</sup>	1,3	*	**	**
Activité hydrique	2,8	3,2 <sup>a</sup>	4,3 <sup>b</sup>	5,4 <sup>c</sup>	8,9 <sup>d</sup>	1,0	*	**	**

(1) Analyse de variance incluant la répétition (R), la période (P ; période 1 : J-10-J0, période 2 : J0-J20) et l'interaction RxP en effets fixes et l'animal en effet aléatoire. Niveau de signification : \*\* :  $P < 0,01$ , \* :  $P < 0,05$ , NS : non significatif. ETR : écart type résiduel du modèle. Pour la seconde période, les moyennes affectées par des lettres différentes (a, b, c, d) sont significativement différentes.



**Figure 3** - Effet de la température sur la température rectale ( $T_{\text{rect}}$ ), la température cutanée ( $T_{\text{cut}}$ ) et sur le rythme respiratoire (RR) mesurés à j0 lors de la transition de la température. En trait plein, les effets de la température sont modélisés selon un modèle plateau linéaire pour la température rectale et le rythme respiratoire et un modèle linéaire pour la température cutanée.

**Figure 4** - Effet de la durée d'exposition à un stress thermique selon le niveau de température sur la température rectale, cutanée et le rythme respiratoire (j0 = jour de transition entre les 2 deux niveaux de température). \* = pour chaque niveau de température l'effet de la période (j0 à j10 vs. j11 à j20) est significatif ( $P < 0,05$ ).

individuellement (Giles et Black, 1991; Renaudeau, 2005) (i.e.,  $0,23^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ ) et sur des porcs en groupe (Huynh et al., 2005) (i.e.,  $0,25^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ ). Cette augmentation de la température cutanée traduit une augmentation du débit sanguin sous cutané pour augmenter les pertes de chaleur par la voie sensible (conduction et radiation). L'efficacité des pertes de chaleur par cette voie est fortement réduite au fur et à mesure que le gradient entre la température cutanée et la température ambiante diminue. Dans ces conditions, le maintien de l'homéothermie passe par une augmentation des pertes de chaleur par évaporation. Chez le porc, la densité dermique des glandes sudoripares actives est faible (Renaudeau et al., 2006) et, par conséquent, les pertes par évaporation sont essentiellement réalisées par la voie respiratoire via un accroissement du rythme respiratoire. La température seuil à partir de laquelle le rythme respiratoire commence à augmenter peut donc être assimilée à la température critique d'évaporation (TCe). Dans notre étude, la TCe est estimée à  $25,6^{\circ}\text{C}$  et elle est proche de la valeur rapportée par Brown-Brandl et al. (2000) (entre  $24$  et  $28^{\circ}\text{C}$ ) mais supérieure à celle calculée par Huynh et al. (2005) ( $22,4^{\circ}\text{C}$ ). Dans cette dernière étude, les porcs étaient logés en groupe ce qui limitait la possibilité de pertes de la chaleur par radiation ou convection. Au-delà de  $26,8^{\circ}\text{C}$ , la température rectale augmente, ce qui signifie que les mécanismes utilisés pour maintenir l'homéothermie sont insuffisants pour prévenir une augmentation de la température interne. Cette température seuil peut être assimilée à la température critique supérieure (TCs). La valeur de la TCs obtenue dans notre étude est en accord avec celle obtenue par Renaudeau et al. (2007) ( $27,5^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.2. Adaptation à moyen terme

A moyen terme, la chute de la CMJ est la principale manifestation des effets de la chaleur chez le porc. Dans notre étude, la réduction de la CMJ atteint  $85\text{ g}/\text{j}/^{\circ}\text{C}$  entre j0 et j20. Dans une revue des données de la bibliographie, Le Dividich et al. (1998) rapportent qu'entre  $20$  et  $30^{\circ}\text{C}$ , la diminution de la CMJ varie de  $40$  à  $80\text{ g}/\text{j}/^{\circ}\text{C}$  en fonction du poids vif des porcs. Notre valeur légèrement supérieure s'explique principalement par la plus large gamme de températures étudiées (i.e.,  $24$  à  $36^{\circ}\text{C}$ ). La réduction de l'appétit avec l'élévation de la température ambiante est souvent décrite comme une adaptation de l'animal, qui lui permet de réduire sa production de chaleur et ainsi d'aider au maintien de l'homéothermie. La CMJ est peu affectée par la durée d'exposition (j0-j10 vs. j11-j20). En fait, la chute brutale de la CMJ entre j0 et j1 est en grande partie compensée par une augmentation progressive de la CMJ entre j2 et j10 (résultats non présentés).

La réduction de la CMJ s'accompagne d'une baisse des performances de croissance chiffrée à environ  $50\text{ g}/\text{j}/^{\circ}\text{C}$  entre  $24$  et  $36^{\circ}\text{C}$ . Compte tenu de l'absence d'effet de la température sur l'indice de consommation entre  $24$  et  $32^{\circ}\text{C}$ , la diminution des performances de croissance est directement liée à la chute de la CMJ (Nienaber et al., 1987). L'augmentation significative de l'indice de consommation à  $36^{\circ}\text{C}$  est en accord avec des résultats obtenus chez le porcelet (Collin et al., 2001). Ce résultat traduit le fait qu'à cette température

une grande partie de l'énergie ingérée est utilisée pour les besoins d'entretien.

La réduction de la CMJ avec l'augmentation de la température ambiante se traduit par une diminution du temps consacré à la prise alimentaire. Ce résultat est en accord avec les données obtenues sur la truie en lactation par Quiniou et al. (2000) mettant en évidence une absence d'effet de la température sur la vitesse d'ingestion des animaux. Par ailleurs, l'élévation de la température entre  $24$  et  $36^{\circ}\text{C}$  provoque une augmentation du temps consacré à la consommation d'eau. Cet effet s'explique en grande partie par une augmentation des besoins hydriques en condition de stress thermique mais également par un gaspillage non négligeable d'eau pour accroître les pertes de chaleur.

Notre étude montre que les effets de la température sur les performances de croissance sont moins marqués entre j11 et j20 qu'entre j0 et j10, alors que la CMJ reste peu affectée par la durée d'exposition à la chaleur. Cet effet est d'autant plus important que le niveau de température est élevé. Cette apparente amélioration de utilisation de l'aliment pour la croissance pourrait s'expliquer par une augmentation de l'utilisation digestive et/ou métabolique de l'aliment. Dans ce travail, les effets de la durée d'exposition à la température sur l'utilisation digestive de l'aliment sont peu marqués (résultats non présentés). Il est donc probable que cette acclimatation à la température soit d'origine métabolique. Une étude menée chez le porcelet montre une réduction de la production de chaleur à jeun (FHP) au chaud liée à un effet indirect de la chute de la CMJ via une réduction de la masse des viscères (Collin et al., 2001). Après 20 jours d'exposition à la température expérimentale le poids relatif des viscères (foie, reins, tube digestif vide) diminue significativement avec l'élévation de la température ambiante (résultats non présentés). Nous pouvons donc émettre l'hypothèse qu'à moyen terme, la réduction de la FHP au chaud pourrait permettre d'augmenter la quantité d'énergie disponible pour la croissance.

La réduction de la température rectale dans les 10 derniers jours d'exposition à la température élevée ( $28$ ,  $32$  ou  $36^{\circ}\text{C}$ ) confirme l'hypothèse d'une acclimatation à moyen terme à la chaleur. En d'autres termes, l'aptitude des animaux à réguler leur température interne s'améliore en fonction de la durée d'exposition à la chaleur. Ces résultats sont en accord avec les données de Morrison et Mount (1971), Giles et Black (1991) et Renaudeau et al. (2007). Par ailleurs, notre étude montre que cette acclimatation ne semble pas être fonction du niveau de température. La diminution de la température rectale entre j11 et j20 s'accompagne d'une diminution de la température cutanée et du rythme respiratoire. En considérant que ces deux critères sont de bons indicateurs des processus de thermolyse, nos résultats suggèrent que l'acclimatation à la température ne semble pas être liée à une augmentation des pertes de chaleur (Morrison et Mount, 1971). Il en résulte que l'acclimatation mesurée par la réduction de la température rectale peut être attribuée à une réduction de la production de chaleur. Cette hypothèse est confirmée par Giles et Black (1991) qui montrent une réduction régulière de la consommation d'oxygène en fonction de la durée d'exposition à  $31^{\circ}\text{C}$ .

## CONCLUSION

A très court terme, pendant la phase de montée de la température, l'exposition du porc au chaud se traduit par la mise en place de mécanismes physiologiques permettant de maintenir la température interne dans des limites acceptables. Au-delà de la limite supérieure de la zone de neutralité thermique (26,8°C dans notre étude), l'accroissement des pertes de chaleur ne suffit pas pour prévenir une augmentation de la température interne. A moyen terme, la chute de la consommation d'aliment contribue au maintien de l'homéothermie. Notre étude suggère une acclima-

tation à la chaleur qui se traduit par une amélioration de la capacité des animaux à maintenir leur homéothermie et à produire au chaud. Les mécanismes impliqués dans l'acclimatation à moyen terme des animaux à la chaleur sont peu connus et mériteraient d'être approfondis dans les travaux futurs.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la communauté européenne (FEOGA-FEDER) et la Région Guadeloupe pour leur soutien financier pour la réalisation de ce travail.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brown-Brandl T.M., Eigenberg R.A., Nienaber J.A., Kachman S.D., 2000. Acute heat stress effects on total heat production, respiration rate, and core body temperature in growing finishing swine. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. Milwaukee, Wisconsin, The American Society of Agricultural Engineers. 12-7-2000.
- Collin A., Noblet J., van Milgen J., Dubois S., Le Dividich J., 2001. Effet de l'élévation de la température ambiante sur la consommation d'aliment, les performances et la production de chaleur chez le porcelet sevré. Journées de la Recherche Porcine en France, 33, 9-15.
- Giles L.R., Black J.L., 1991. Voluntary food intake in growing pigs at ambient temperatures above the zone of thermal comfort. Batterham, E. S. Manipulating Pig Production III. Australasian Pig Science Association, Institute of Animal Science Atwood. 1991, 162-166.
- Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Verstegen M.W.A., Gerrits W.J.J., Heetkamp M.J.W., Kemp B., Canh T.T., 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. Journal of Animal Science, 83, 6, 1385-1396.
- Le Dividich J., Noblet J., Herpin P., van Milgen J., Quiniou N., 1998. Thermoregulation. Wiseman, J., Varley, M. A., Chadwick, J. P. Nottingham University Press. Progress in Pig Science, 11, 229-263.
- Morrison S.R., Mount L.E., 1971. Adaptation of growing pigs to changes in environmental temperature. Animal Production, 13, 51-57.
- Nienaber J.A., Hahn G.L., Yen J.T., 1987. Thermal environment effects of growing-finishing swine. I. Growth, feed intake and heat production. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 30, 6, 1772-1775.
- Quiniou N., Noblet J., Le Dividich J., Dubois S., Labroue F., 1998. Influence de l'élévation de la température ambiante et du poids vif sur le comportement alimentaire des porcs en croissance élevés en groupe. Journées de la Recherche Porcine en France, 30, 319-324.
- Quiniou N., Noblet J., Renaudeau D., Dubois S., 2000. Influence of high ambient temperature on feeding behaviour of multiparous lactating sows. Animal Science, 70, 471-479.
- Renaudeau D., 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively fed growing pigs. Animal Research, 54, 81-93.
- Renaudeau D., Leclercq-Smekens M., Herin M., 2006. Difference in skin characteristics in European (Large White) and Caribbean (Creole) growing pigs with reference to thermoregulation. Animal Research, 55, 209-217.
- Renaudeau D., Huc E., Noblet J., 2007. Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs. Journal of Animal Science (In press).
- SAS, 2000. SAS/STAT User's Guide (version 8.1.). SAS Inst.Inc.cary, NC.

