



Centre de recherches Antilles-Guyane
Unité de recherches zootechniques



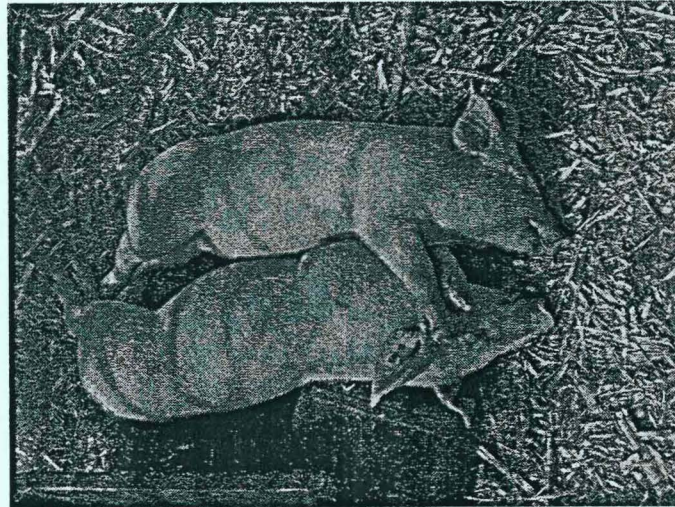
Université Montpellier UFR- Fac de sciences
Place Eugène Bataillon
34 095 Montpellier Cedex 5



Unité de Service Enseignement
et Formation en Elevage
Campus de Baillarguet
TA A-71 / B

MASTER

BIOLOGIE GEOSCIENCES AGRORESSOURCES ENVIRONNEMENT
SPECIALITE ECOLOGIE FONCTIONNELLE
ET DEVELOPPEMENT DURABLE
PARCOURS ELEVAGE DES PAYS DU SUD :
ENVIRONNEMENT, DEVELOPPEMENT
RAPPORT DE STAGE DE SECONDE ANNEE
Adaptation du porc à la chaleur



Présenté par **Kahina Bensalah Eddine**

Réalisé sous la direction de : David Renaudeau
Organisme et pays : INRA Antilles Guyane, Petit Bourg
Période : 07/04/2009 au 07/09/2009
Tuteur : Denis Bastianelli
Rapporteur : Vincent Porphyre



Année universitaire 2008 - 2009

5K572079

BA TH 1914



Centre de recherches Antilles-Guyane
Unité de recherches zootechniques



Université Montpellier UFR- Fac de sciences
Place Eugène Bataillon
34 095 Montpellier Cedex 5



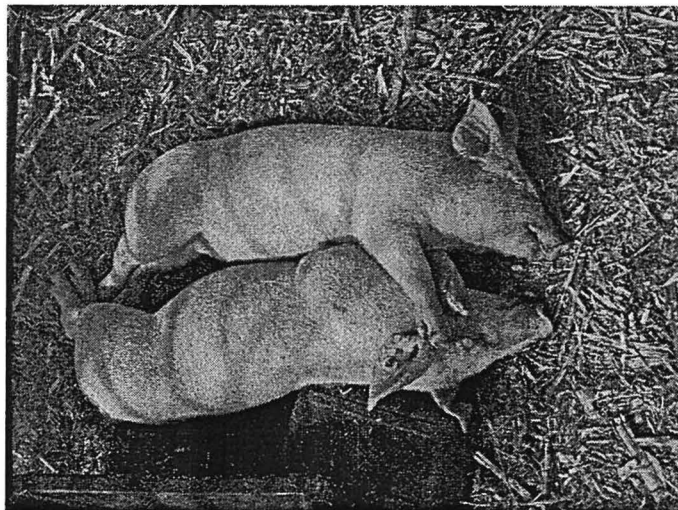
Unité de Service Enseignement
et Formation en Elevage
Campus de Baillarguet
TA A-71 / B

MASTER

BIOLOGIE GEOSCIENCES AGRORESSOURCES ENVIRONNEMENT
SPECIALITE ECOLOGIE FONCTIONNELLE
ET DEVELOPPEMENT DURABLE
PARCOURS ELEVAGE DES PAYS DU SUD :
ENVIRONNEMENT, DEVELOPPEMENT

RAPPORT DE STAGE DE SECONDE ANNEE

Adaptation du porc à la chaleur



Présenté par **Kahina Bensalah Eddine**

Réalisé sous la direction de : David Renaudeau
Organisme et pays : INRA Antilles Guyane, Petit Bourg
Période : 07/04/2009 au 07/09/2009
Tuteur : Denis Bastianelli
Rapporteur : Vincent Porphyre



Année universitaire 2008 - 2009

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet



0000122079

Résumé

Les effets de la température et de l'humidité, ambiantes élevées sur les performances et les réponses de thermorégulation du porc ont été étudiés sur un total de 12 mâles castrés Large White d'un poids vif moyen de $28,6 \pm 10,6$ kg.

La période d'expérimentation est divisée en 8 périodes de 9 jours de différents niveaux de température (24, 28, 30, 32, 32, 30, 28, 24°C). Ces périodes sont divisées chacune en 3 sous périodes où l'humidité relative est maintenue à 70, 80 puis et 90%. Pendant toute la période expérimentale, les animaux sont nourris à volonté et ont un accès libre à l'eau. La consommation moyenne journalière est mesurée quotidiennement et les animaux sont pesés au début et à la fin de chaque période expérimentale de 9 jours. Les paramètres physiologiques sont mesurés 3 fois par jour (07 :30, 11 :30, 17 :30) pendant les deux derniers jours de chaque sous période.

La consommation moyenne journalière (CMJ) est significativement affectée par la température ambiante et sa réduction est de $118 \text{ g/j/}^\circ\text{C}$, en moyenne, entre 24 et 32°C ($P < 0,0001$). Le gain moyen quotidien est (GMQ) est réduit de $54 \text{ g/j/}^\circ\text{C}$ entre 24 et 32°C ($P < 0,05$). La température cutanée, le rythme respiratoire et la température rectale sont significativement affectés la température ambiante ($0,27^\circ\text{C/}^\circ\text{C}$, $15 \text{ mouvements/min/}^\circ\text{C}$ et $0,1^\circ\text{C/}^\circ\text{C}$, respectivement entre 24 et 32°C ; $P < 0,05$). Contrairement le rythme cardiaque diminue avec l'augmentation de la température ambiante entre 24 et 32°C ($-3,3 \text{ pulsations/min/}^\circ\text{C}$). Quelque soit le niveau de la température ambiante, l'effet de cette dernière sur les réponses physiologiques de l'animal sont accentués avec une humidité relative élevée. L'interaction entre l'humidité relative et la température ambiante est significative pour la température cutanée, la température rectale, et le rythme respiratoire ainsi que le rythme cardiaque ($P < 0,05$). Notre étude suggère que les taux d'humidités relatives élevées accentuent les effets des températures élevées sur les capacités du porc à maintenir sa température corporelle constante

Les mots clés

Porc, chaleur, température, humidité, performances zootechniques, réponses physiologiques.

Abstract

The effects of high temperature and high relative humidity on pig's performances and thermoregulatory responses were studied on a total of 12 castrated Large White males of 28.6 ± 10.6 kg of initial BW.

The experimental challenges were divided in 8 periods of 9 days of different levels of temperature (24, 28, 30, 32, 32, 30, 28, 24°C). Within these periods, the relative humidity varied from 70, 80 to 90% each 3 days long. During all the experimental period, the animals were fed ad libitum and had free access to water. The voluntary feed intake (VFI) was measured daily and pigs were weighted at the beginning and the end of each experimental period of 9 days. The thermoregulatory responses were measured 3 times a day (07:30, 11:30, 17:30), during the last two days of each sub period of 3 days.

The average daily feed intake (ADFI) was significantly affected by elevated temperature by about $118 \text{ g/j/}^\circ\text{C}$ between 24 and 32°C ($P < 0,0001$). The average daily gain (ADG) was reduced by $54 \text{ g/j/}^\circ\text{C}$ between 24 and 32°C ($P < 0,0001$). The interaction between T and RH was found significant for ADFI ($P < 0,05$). Skin temperature, respiratory rate and rectal temperature were significantly affected by ambient temperature ($0,27^\circ\text{C/}^\circ\text{C}$, 15 breaths/min/ $^\circ\text{C}$ and $0,1^\circ\text{C/}^\circ\text{C}$, respectively between 24 and 32°C; $P < 0,05$). In contrast, heart rate decreased when ambient temperature increased from 24 to 32°C ($- 3,3 \text{ pulsation/min/}^\circ\text{C}$). Whatever the ambient temperature level, the effect of RH on thermoregulatory responses was emphasized. The TxRH interaction was significant for skin, rectal temperatures and for the respiratory and heart rates ($P < 0,05$). Our results suggested that high RH emphasised the effect of high ambient temperature on the ability of the pigs for maintaining a constant body temperature.

Keywords

Pig, Heat, Temperature, Humidity, Growth performance, physiological responses.

Sommaire

Résumé.....	3
Sommaire	5
Remerciements.....	6
Introduction générale	7
I. Etude bibliographique.....	8
a. Introduction.....	8
b. Thermorégulation chez le porc	8
b1. Production de chaleur	8
b2. Pertes de chaleur	9
Les pertes par la voie sensible ou (non évaporative losses).....	9
Les pertes par la voie latente, insensible ou par évaporation.....	9
b3. La fonction de régulation de l'homéothermie	10
c. Effet de la température ambiante chaude sur les performances des porcs.....	11
c1. Effet sur l'appétit et le comportement alimentaire	11
c2. Effet de la température sur l'utilisation digestive et métabolique de l'aliment, la vitesse de croissance et la composition de la carcasse.....	12
Effet sur la digestibilité de l'aliment.....	12
Effet sur l'indice de consommation	12
Effet sur la qualité et la composition de la carcasse	12
c3. Effets sur l'état sanitaire des animaux.....	12
c4. Effets sur les hormones et la composition chimique du sang.....	13
c5. Effets sur le comportement animal.....	13
c6. Effets sur la morphologie	13
d. Les facteurs influençant les effets de la température sur les performances des porcs..	14
d1. Facteurs liés à la conduite d'élevage	14
d2. Facteurs liés à l'animal	14
Type physiologique, ou le poids vif.....	14
d3. Facteurs liés à l'environnement.....	15
La durée d'exposition à la température ambiante ou l'acclimatation	15
Facteurs climatiques.....	15
II. Matériels et méthodes	17
a. Dispositif expérimental.....	17
b. Logement et alimentation	18
c. Les mesures.....	18
d. Calculs et analyse statistique.	19
III. Résultats & discussion	20
a. Effets de la température ambiante et de l'humidité sur les performances zootechniques. 20	
b. / Effets de la température et de l'humidité sur les paramètres d'adaptation.....	20
b1. Température cutanée et TCI (Thermal circulation index).....	20
b2. Rythme respiratoire	22
b3. Rythme cardiaque.....	23
b4. Température rectale.....	25
IV. Conclusion et perspectives :.....	27
V. Références bibliographiques.....	28

Remerciements

Je dédie mon travail à toute ma famille ; *Vava, Yemma, Yaya Wejja, Dadda Hamane*, mes oncles et mes tantes et à tous mes amis, qui m'ont aidé et m'ont apporté leur soutien pendant toute ma vie.

Je remercie tous mes responsables du CIRAD, de l'université Montpellier 2 qui m'ont accueillie au sein de leurs établissements.

Je remercie le directeur de l'unité de recherches zootechniques de l'INRA de Guadeloupe qui m'a accueillie au sein de son unité.

Un remerciement particulier à mon Maître de stage, David Renaudeau, qui a su être patient avec moi.

Je remercie tout le personnel de l'élevage qui m'ont aidé et contribué à la réussite de la partie expérimentale de mon stage.

Je remercie tous mes amis des bambous et toutes les personnes qui m'ont offert les moments agréables que j'ai vécus en Guadeloupe.

Je remercie même ceux qui ont fait naître en moi la volonté d'aller toujours plus loin.

A tout le monde, je vous dis : « Merci ».

Tableau n°I : Evolution de la production porcine dans les pays tropicaux exprimée en milliers de tonnes de viande produite par an

	2000	2007	Taux de Croissance (2000-2007)
Viet Nam	1409	2500	77.4%
Equateur	108	165	52.7%
Philippines	1008	1501	48.9%
thaïland	474	700	47.5%
Indonésie	412	597	44.7%
Colombie	105	130	23.8%
Brésil	2600	3130	20.4%
Pérou	91	108	18.0%
Mexique	1030	1200	16.5%
Venezuala	126	138	9.3%
Inde	476	497	4.4%
Madagascar	123	411	233.9%
Chilie	261	499	90.7%
Cuba	94	177	87.7%
Burkina faso	20	40	99.2%
China	40751	43951	7.9%
Europe	25376	25694	1.3%
Amérique du nord	10237	11847	15.7%
Production mondiale pays tropicaux	89670	99211	10.6%
	8962	12040	34.4%

Source: FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2009 | 26 May 2009. Production (tonnes/an)

Introduction générale

La croissance démographique mondiale et l'augmentation des besoins et de la consommation de protéines impliquent une augmentation de la production de viande notamment dans les pays en voie de développement. Le Tableau I montre l'évolution de la production de viande de porc dans les principaux pays tropicaux entre 2000 et 2007. Selon les données de la FAO (*Food and Agriculture Organisation*), la croissance de la production porcine mondiale concerne les pays de l'Amérique du Sud (le Brésil et le Mexique), l'Inde, la Chine et les pays de l'Asie du Sud Est. En raison de la demande sur la viande porcine, ces pays ont importé des races prolifiques et productrices originaires des pays tempérés. Ces races ont généralement une très bonne aptitude à transformer l'aliment en viande mais sont également très sensibles à tous les facteurs susceptibles d'affecter leur niveau d'ingestion. Parmi ces facteurs, l'environnement climatique qui constitue l'un des plus importants. Une augmentation de la température ambiante entraîne une perte de production et une perte économique pour l'éleveur, d'où la nécessité de caractériser les effets de la chaleur sur les performances et de proposer des solutions de lutte.

Dans les régions tropicales, les effets de la température sont souvent accentués par une forte humidité ambiante. Or jusqu'à présent, seuls les effets de la température ambiante ont été testés sur les performances des porcs. Pour mieux prendre en compte les effets du climat tropical, il convient donc de quantifier les effets respectifs de la température et de l'hygrométrie ambiante et de mettre en place un indice permettant de prendre en compte les effets de ces deux facteurs.

Les objectifs de mon travail de stage sont 1/ de mesurer les effets de la température et de l'humidité ambiante sur les réponses physiologiques et les performances zootechniques des porcs en croissance et 2/ contribuer à la mise en place d'un indice synthétique prenant en compte ces deux facteurs. Dans mon rapport, je commencerai par faire un bref rappel des résultats disponibles dans la bibliographie sur le sujet puis je présenterai mon travail expérimental.

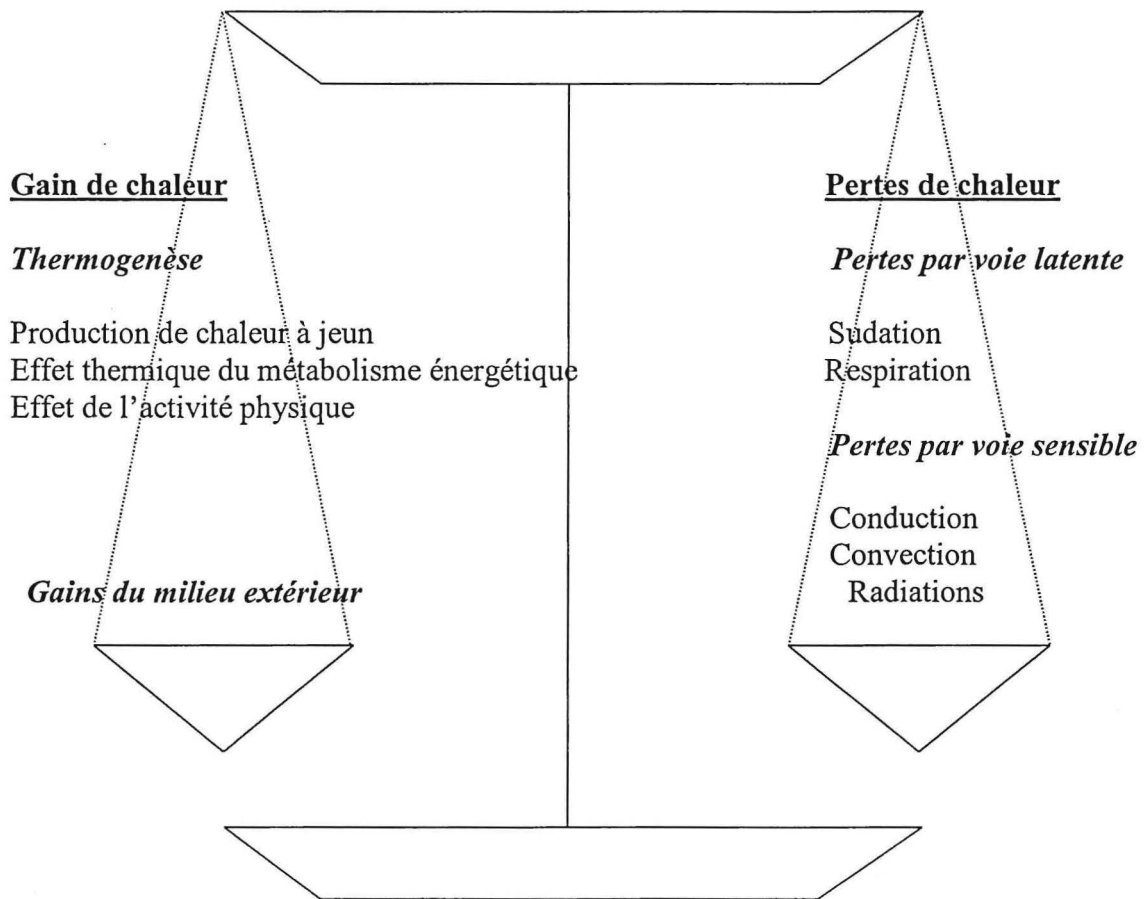


Figure n° 1: la thermorégulation et équilibre entre le gain de chaleur et la production de chaleur (thermogenese), et les pertes de chaleur (thermolyse) chez le porc (Adapté de Holmes C.W. et Close W. H., 1977).

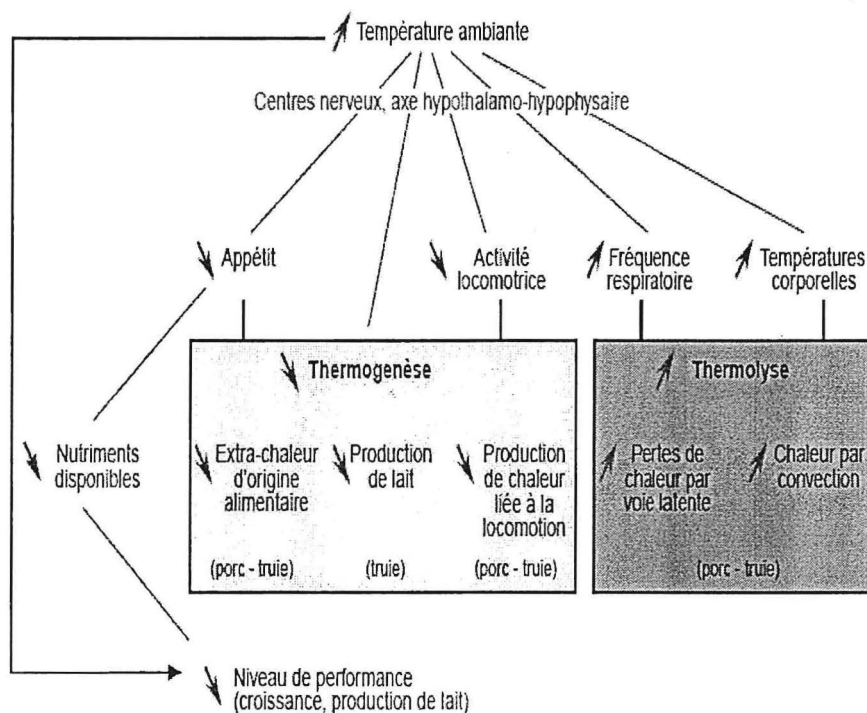


Figure n°2 : Influence de l'augmentation de la température sur les mécanismes de régulation de l'homéothermie chez la truie en lactation et le porc en croissance. (D'après Quiniou N. et al., 2000).

I. Etude bibliographique

a. Introduction

Le porc est un animal homéotherme, qui doit maintenir sa température interne constante malgré les variations de la température ambiante. Cette capacité est liée à la fonction de thermorégulation qui permet d'équilibrer la production ou le gain de chaleur avec les pertes de chaleur dans le milieu extérieur (Figure 1). Cet équilibre est assuré grâce à de nombreux mécanismes, qui ne dépendent pas d'organes précis et mis en œuvre par l'organisme (Figure 2), sont de différents ordres, à la fois physiologiques, comportementaux ou anatomiques et structuraux.

b. Thermorégulation chez le porc

b1. Production de chaleur

D'un point de vue zootechnique, la production de chaleur correspond à la différence entre l'énergie métabolisable d'origine alimentaire et l'énergie réellement fixée par l'animal sous forme de gain de poids dans le cas du porc en croissance (Berbigier P., 1988). Cette production de chaleur est définie comme étant la somme de la thermogenèse d'entretien et de l'extra chaleur liée à la production.

La production de chaleur à l'entretien se décompose en 3 principales composantes :

La production de chaleur liée au métabolisme de base

Elle représente près de 60% de la production de chaleur totale pour un porcelet, le porc en croissance et truie en lactation, et 80 % pour une truie gestante. (Van Milgen J. *et al.*, 2000).

La production de chaleur liée à l'activité physique

Dépend en grande partie des conditions de logement, de l'alimentation, des conditions climatiques, et du stade physiologique (Noblet J. *et al.*, 1993 et 1997a et b). Chez la truie en lactation, elle représente 2 à 7% de la production de chaleur totale (Renaudeau D., 2001). Chez la truie en gestation, cette dépense énergétique représente près de 10% de l'EM.

La production de chaleur pour la thermorégulation

Elle varie selon le stade physiologique et les conditions climatiques. En dessous de la température critique inférieure (TCI) (Figure 3), le porc augmente sa production de chaleur ce qui lui permet de maintenir son homéothermie. En conditions tropicales, la température ambiante est souvent au dessus de la TCI (sauf pour les porcelets nouveaux nés) et, par conséquent, les besoins énergétiques pour la thermorégulation sont considérés comme nuls.

Lorsque les besoins d'entretien sont couverts, les apports supplémentaires d'énergie sont utilisés pour la production (viande, lait, fœtus). La production de chaleur pour la production est fonction du rendement énergétique lié à l'utilisation de l'aliment mais également de la nature des dépôts corporels. La production de chaleur liée à l'utilisation des nutriments est expliquée par les dépenses énergétiques nécessaires pour l'ingestion, la digestion et l'utilisation métabolique de l'aliment. Elle dépend du niveau d'ingestion et de la composition de l'aliment. Par exemple, la production de chaleur associée à l'utilisation d'un aliment riche en matière grasse et en énergie est moins importante que la production de chaleur liée à l'utilisation d'un aliment riches en fibre et ou en protéines (Noblet J. *et al.*, 1994).

Donc la production de chaleur totale est l'addition de la production de chaleur à jeun, la production de chaleur pour la production.

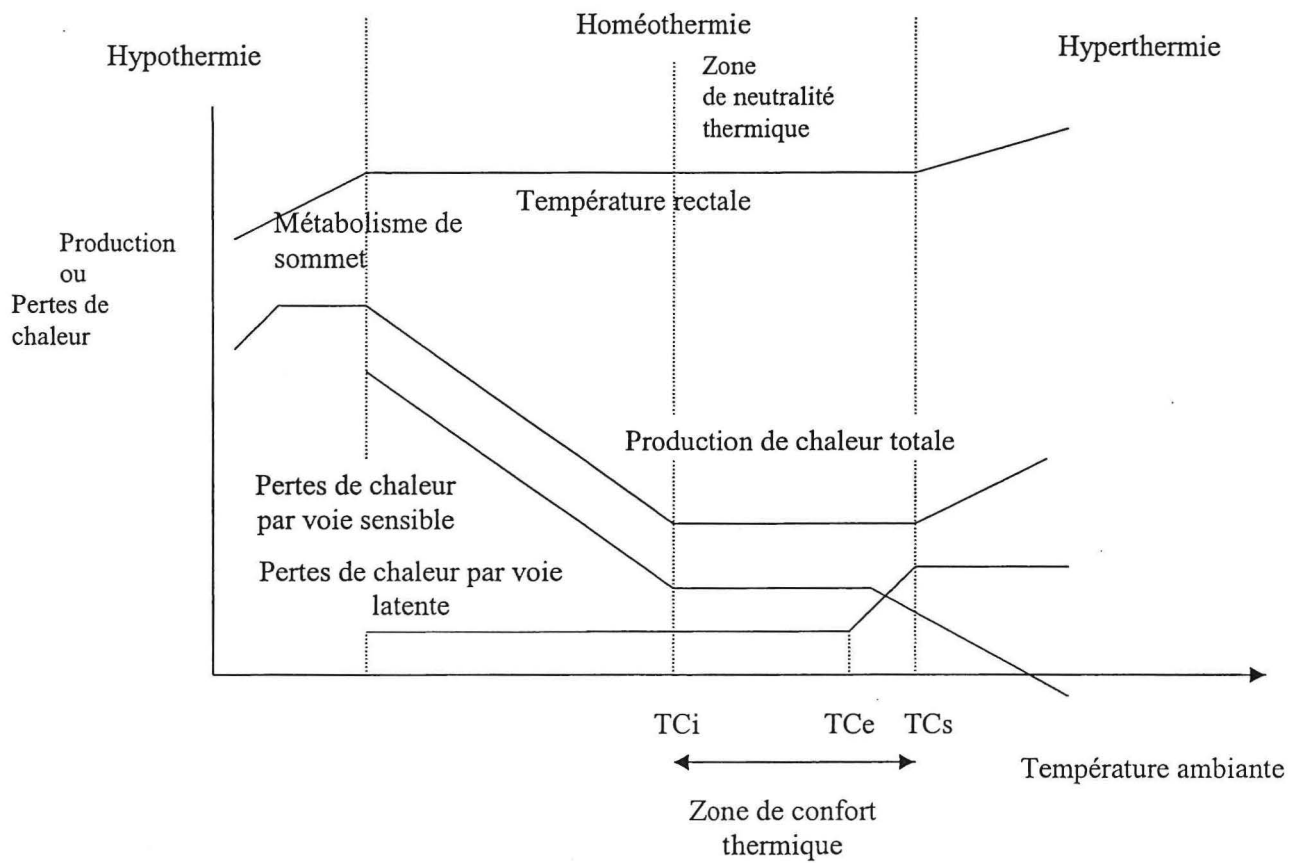


Figure n°3 : Diagramme représentant la relation entre la production de chaleur, les pertes de chaleur et la température ambiante (d'après Mount, 1974).

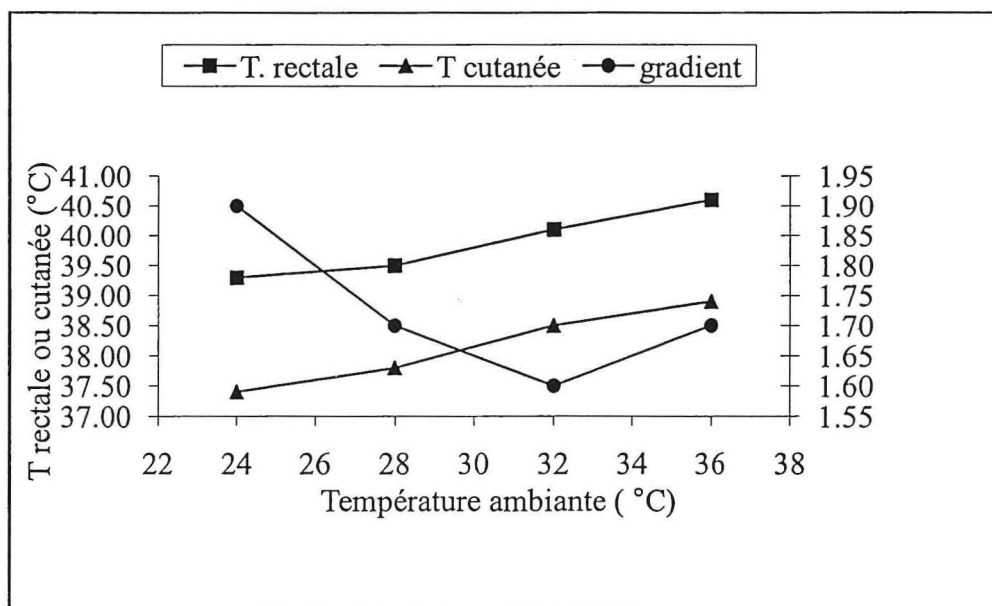


Figure n°4 : Evolution de la température cutanée, rectale et du gradient entre la température rectale et cutanée en fonction de la température ambiante (d'après Renaudeau D. et al., 2007).

b2. Pertes de chaleur

La thermolyse correspond à l'ensemble des déperditions d'énergie calorifique de l'animal. Elle s'effectue selon quatre modalités physiques qui se répartissent en deux voies de transfert de chaleur : la voie latente et la voie sensible.

Les pertes par la voie sensible ou (non evaporative losses)

Elles s'effectuent par trois phénomènes physiques (conduction, convection et radiation).

Les pertes par conduction : nécessitent un contact physique entre l'animal et le milieu. Le plus souvent ces échanges sont faibles et sont réalisés entre l'animal et le sol. L'efficacité des pertes de chaleur par cette voie dépend de la différence de température entre les deux supports et du type et de la surface de contact entre l'animal et le sol.

Les pertes par convection : sont réalisées entre la peau et l'air ambiant. Elles consistent en une perte d'énergie calorifique par renouvellement d'un fluide (air, eau) autour de l'animal. Ces pertes dépendent fortement de la vitesse de l'air et de la différence de température entre l'air et la surface du corps.

Les pertes par radiation : correspondent à une perte d'énergie effectuée via des rayonnements électromagnétiques infra rouges. Ces pertes sont fonction de la température radiante de l'atmosphère.

D'un point de vue pratique, il est possible d'avoir une bonne indication de l'importance des échanges de chaleur par la voie sensible en mesurant la température cutanée et la température rectale. Ces deux paramètres permettent le calcul du gradient thermique entre la surface et le noyau du corps. Ce gradient donne une indication de l'efficacité du transfert de chaleur. Quelque soit le stade physiologique, la température cutanée (TC) augmente linéairement avec la température ambiante (Collin A. *et al.*, 2000). Renaudeau D. (2005), observe une augmentation de la TC de 2.7°C entre 24 et 34°C, et quand la température ambiante augmente, la température cutanée augmente et le gradient entre la température interne et la température de surface diminue pour atteindre 1.3°C à 34°C (Figure 4). Cela signifie que la capacité de l'animal à perdre de la chaleur par la voie sensible est réduite (Curtis S E., 1983 ; Quiniou N et Noblet J., 1999).

Les variations de température cutanée correspondent à des phénomènes de redistribution du volume sanguin entre le noyau et la surface du corps et une vasodilatation des vaisseaux sanguins sous cutanés. Collin A. *et al.* (2001) ont mesuré à l'aide de micro billes injectées dans le cœur ces changements de répartition des masses sanguines chez le porcelet en post sevrage. Cette redistribution du flux sanguin se traduit par une diminution du débit de sang au niveau des viscères, du tube digestif et des tissus adipeux internes, et une augmentation dans les tissus périphériques (tissus sous cutanés), les reins, la langue, le diaphragme et les poumons.

Les pertes par la voie latente, insensible ou par évaporation

Elles correspondent aux pertes de chaleur réalisées par une évaporation d'eau. En moyenne, l'évaporation d'1 g d'eau consomme 2,4 kJ de chaleur. Compte tenu de l'absence de glandes sudoripares chez le porc. Selon Renaudeau D. *et al.* (2006), l'essentiel des pertes par évaporation est réalisé par la voie respiratoire. Ces pertes sont fonction du gradient d'hygrométrie entre l'air ambiant et l'air expiré par l'animal. Une forte hygrométrie ambiante va diminuer l'efficacité des pertes par évaporation ce qui accentuera les effets de la température sur les performances du porc. La répartition selon les différents modes de pertes de chaleur (évaporation, conduction, convection et de rayonnement) diffère selon le niveau de température ambiante (voir le chapitre suivant)

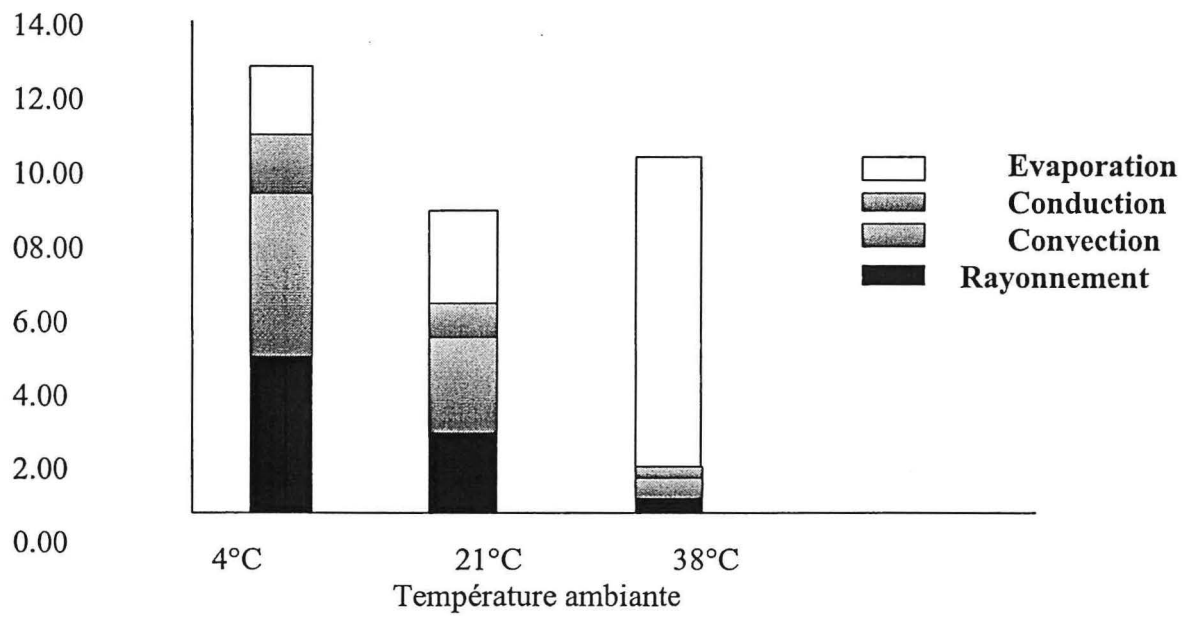


Figure n°5 : Influence de la température ambiante sur la répartition des pertes de chaleur entre voie latente (Evaporation, ou sensible (Conduction, Convection, Rayonnement) chez le porc en croissance. (D'après Morisson S.R. *et al.*, 1968 et Close W. H., 1983).

b3. La fonction de régulation de l'homéothermie

La fonction de thermorégulation permet de maintenir un équilibre entre les pertes de chaleur (thermolyse) et la production de chaleur (thermogénèse) (Figure 5) et /ou le gain de chaleur via le milieu extérieur (Gourdine J L B., 2006). Par cette fonction, la température interne est maintenue dans des limites très étroites (Figures 1 et 3). En d'autres termes, la stabilité de la température interne résulte de l'équilibre entre la chaleur produite par le corps et le taux d'échange de celle-ci avec le milieu extérieur (Stanley C. et Curtis S E., 1970). Ceci peut être résumé par l'équation suivante :

$$M + G = P + ? s,$$

où M est la production de chaleur métabolique ; G, le gain de chaleur provenant du milieu extérieur ; P, les pertes de chaleur et ? s, la chaleur stockée. Quand la quantité de chaleur emmagasinée est égale à zéro, la température interne reste constante et l'animal arrive à maintenir son homéothermie. (Stanley C et Curtis., 1970).

Face aux conditions climatiques ou environnementales, l'animal homéotherme peut se trouver dans une situation d'homéothermie, d'hypothermie ou d'hyperthermie.

La zone de confort thermique, qui a été définie par Mount L E.(1974) comme la zone située entre la température critique inférieure (TCi) et la température critique supérieure (TCS). Dans cette plage de température, il est possible de définir une autre zone appelée zone de thermoneutralité entre la TCi et la température critique d'évaporation (TCe). La TCe correspond au seuil de température à partir de laquelle les pertes par évaporation augmentent (Black J L. et al., 1986 et 1993; Quiniou N. et Noblet J., 1999). Dans la zone de thermoneutralité, la dépense énergétique de l'animal est minimale, constante et indépendante de la température ambiante » (Mount L E., 1974 ; Close W H., 1978 ; Noblet J. et Le Dividich J., 1982), et l'énergie métabolisable est maximale pour les productions. L'animal maintient son homéothermie par des mécanismes d'adaptation simples et peu coûteux en énergie comme une vasodilatation périphérique ou une modification du comportement. Ces adaptations favorisent les pertes par voie sensible. En effet le changement de posture, la réduction des contacts avec les congénères permettent de maximiser la surface d'échange entre la peau et l'environnement (air ambiant, sol).

Au-delà de la température critique d'évaporation, les mécanismes adaptatifs simples ne suffisent plus pour maintenir la constance de la température interne. Le maintien de l'homéothermie est assuré par une augmentation très importante des pertes par évaporation et une réduction de la consommation d'aliment. Si ces adaptations ne suffisent pas, l'ensemble des mécanismes, à l'origine de l'augmentation de la thermolyse ou de la diminution de la production de chaleur sont saturés, l'animal emmagasine de la chaleur (voir équation plus haut) et la température interne augmente.

La part respective de chaque voie impliquée dans les pertes de chaleur (évaporation, convectifs, conduction et par radiation) varie en fonction du niveau de température ambiante considéré. Plus cette dernière augmente plus les pertes par conduction, convection et rayonnement diminuent et les pertes par évaporations augmentent (Figure 5). Compte tenu du fait que le porc possède peu de glandes sudoripares actives, les pertes par évaporation sont essentiellement réalisées au niveau du tractus respiratoire. Par conséquent, le rythme respiratoire est le principal indicateur des pertes par évaporation (Huynh T T T., 2005 ; Quiniou N. et al., 2000). La TCe (température à laquelle le rythme respiratoire commence à augmenter varie selon le stade physiologique mais également en fonction des expérimentations. En effet, en utilisant les mêmes modèles mathématiques (modèle linéaire plateau), la TCe chez le porc en croissance varie de 21,5 et 23,5 à 25,5°C (Hyun Y. et al., 2005 ; Renaudeau D. et al., 2007). Cette différence est attribuée à différentes conditions de

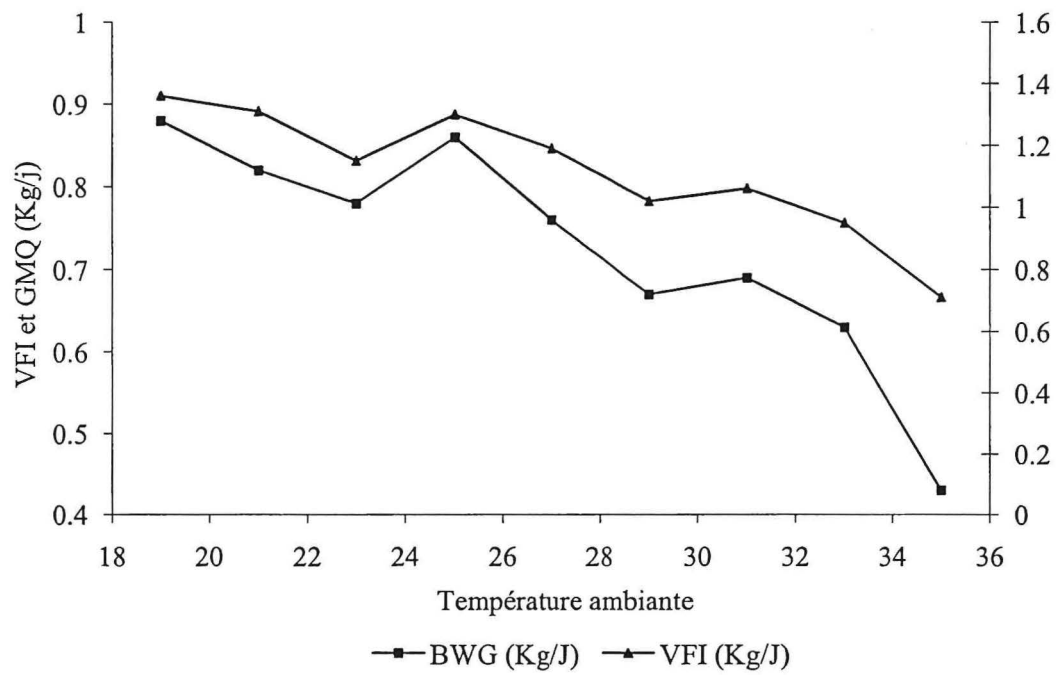


Figure n°6 : Influence de la température ambiante sur la consommation journalière (VFI) et le gain de poids vif (GMQ) (d'après Collin A. *et al* 2001)

logement (groupe ou individuel). En effet, les porcs logés individuellement ont une TCe plus élevés et sont donc moins sensibles à la température. Au contraire, en groupe, la présence autour de l'animal d'autres corps chaud limite les pertes par la voie sensible et augmente la sensibilité à la chaleur (TCe plus faible).

L'effet de la température chaude sur le rythme cardiaque reste encore un domaine très peu étudié. Heitman Jr. et Hughes E. H. (1949) ont révélé que la température ambiante chaude influe négativement le rythme cardiaque. Cet effet varie en fonction du poids vif avec une réduction d'autant plus importante que le poids des animaux est élevé.

La température rectale est le principal indicateur de l'efficacité de la thermorégulation. Lorsque la température rectale augmente au dessus de la limite physiologique, l'homéothermie n'est plus maintenue et l'animal est en situation d'homéothermie. Plusieurs auteurs ont mis en évidence la relation entre la température rectale et la consommation d'aliment chez le porc en croissance. La température rectale augmente significativement à partir de 26°C chez le porc en croissance (Quiniou N. *et al.*, 2000) et à partir de 22°C chez la truie en lactation (Gilles L. R. et Black J. L., 1991).

c. Effet de la température ambiante chaude sur les performances des porcs

Les effets de la température sur les performances des porcs sont la conséquence directe des mécanismes mis en œuvre par l'animal pour tenter de maintenir son homéothermie. La réduction de la consommation d'aliment en est le parfait exemple (voir Figure 6).

c1. Effet sur l'appétit et le comportement alimentaire

Plusieurs études ont mis en évidence l'effet des températures ambiantes élevées sur les performances du porc en croissance. La diminution des performances est directement liée à une diminution de la consommation volontaire d'aliment (CMJ) et par conséquent, le gain moyen quotidien (GMQ). Collin A. *et al.* (2001) a reporté une diminution de 40 g/°C/kg de la CMJ et de 28 g/°C du GMQ entre 19 et 35°C pour des porcs en croissance de 17 kg de poids vif.

Entre 19 et 27°C, la chute d'appétit s'exerce principalement via une diminution de la taille des repas alors que leur nombre reste inchangé (Quiniou N. *et al.*, 1998 ; Collin A. *et al.*, 2000). Au dessus de 27°C, la diminution de la taille des repas est accompagnée par une réduction du nombre de repas.

La diminution de la consommation volontaire ne s'observe pas aux mêmes niveaux de températures pour les différents stades physiologiques et le poids de l'animal. Cette diminution est d'autant plus accentuée que l'animal est lourd et le niveau de température est élevée. Pour des porcelets en croissance d'un poids vif moyen de 17 kg, la réduction de la consommation est de 55 g/°C/j entre 31 et 33°C et de 120 g/°C/j entre 33 et 35°C (Collin A. *et al.*, 2000). Chez le porc en croissance de 50 kg, l'ingestion chute de 89 g/°C entre 24 et 32°C et de 128 g/°C/j entre 32 et 36°C (Renaudeau D. *et al.*, 2008)

La réduction de la production de chaleur liée à la chute de la consommation d'aliment résulte d'une part à la réduction du TEF (réponse à court terme) et une réduction la FHP via un effet indirect du niveau d'ingestion sur la taille du tube digestif (réponse à long terme). (Van Milgen J. *et al.*, 2000).

c2. Effet de la température sur l'utilisation digestive et métabolique de l'aliment, la vitesse de croissance et la composition de la carcasse.

Effet sur la digestibilité de l'aliment

Les effets de la température sur l'utilisation digestive de l'aliment sont très faibles. Renaudeau D. *et al.* (2008) montre une légère augmentation de la digestibilité de la matière sèche. Cet effet s'explique par un effet indirect de la température sur le niveau de rationnement des animaux.

Effet sur l'indice de consommation

Une augmentation de la température ambiante entraîne une amélioration de l'indice de consommation jusqu'à une valeur minimale, qui selon Rinaldo D. et Le Dividich J. (1991) se situe aux environs de 25°C. L'efficacité alimentaire (gain de poids/consommation) est améliorée entre 28 et 32 °C de 2,38 à 2,70 et augmente considérablement à 36°C ou il atteint 3,81 (Renaudeau *et al.*, 2008). Cet effet est lié à la faible consommation ou l'animal arrive à peine à couvrir les besoins d'entretien.

Effet sur la croissance

L'exposition à la chaleur s'accompagne d'une réduction de la vitesse de croissance directement liée aux effets de la température sur la prise alimentaire. Entre 24 et 36°C de température ambiante, la diminution du gain moyen quotidien est de 56 g/°C d'augmentation de la température (72 g/°C/J entre 32 et 36°C, et elle est de 42 g/°C/J entre 28 et 32°C) (Renaudeau D. *et al.*, 2008). Ainsi un faible GMQ a pour conséquence d'augmenter la durée d'engraissement et le temps d'occupation des bâtiments d'élevages, ce qui provoque des pertes économiques importantes pour l'éleveur (figure 6).

Effet sur la qualité et la composition de la carcasse

Rinaldo D. *et al.* (2000) ont reporté une augmentation de 1.8 % du rendement de carcasse pour des porcs de 35 à 90 kg de poids vif durant la saison chaude en région tropicale. L'amélioration du rendement de la carcasse au chaud est liée à la diminution des poids des viscères en relation avec le faible niveau d'ingestion des animaux.

En condition d'alimentation à volonté, l'adiposité de la carcasse tend à diminuer au chaud. Rinaldo D. (1989) montre une réduction de 3.2% de l'adiposité de la carcasse chez le porc en croissance. Les mêmes effets sont également rapportés chez le porcelet au cours de la saison chaude sous un climat tropical (Colin A. *et al.*, 2000). Cette réduction de la teneur en gras de la carcasse est directement liée à la restriction alimentaire. Par ailleurs, la température ambiante a un effet sur la répartition des masses adipeuses avec une augmentation du dépôt de gras interne au détriment du gras externe au chaud (Rinaldo D., 1989). Cet effet est interprété comme une adaptation pour diminution l'isolation corporelle et favoriser les pertes de chaleur. En conditions d'alimentation égalisée, Le Bellego L. *et al.* (2002) montrent que la température a un effet direct sur la composition de la carcasse. Ces auteurs montrent que la capacité de dépôt de protéines est réduite au chaud ce qui se traduit par une augmentation du dépôt de gras. Compte tenu des différences de rendement de transformation de l'énergie alimentaire (EM) pour le dépôt de protéines et de lipides (60 vs. 80%), ce résultat peut être interprété comme une adaptation de l'animal pour réduire sa production de chaleur.

c3. Effets sur l'état sanitaire des animaux

Une forte température peut également avoir des conséquences sur l'état sanitaire des animaux. Des études basées sur la mesure d'indicateurs de l'immunité ont montré que le stress thermique a un effet immunosuppresseur, qui s'exerce via une augmentation des neutrophiles et des monocytes. Cet effet est influencé par la durée d'exposition au stress thermique. Ainsi, une forte chaleur fait augmenter le taux d'éosinophiles et réduit la

production des anticorps IgG (Morrow-Tesch L. *et al.*, 1994). En revanche, Massabie P. *et al.* (1996) montrent qu'une augmentation de la température entre 17 et 28°C ne se traduit pas une détérioration notable de l'état sanitaire des animaux. Dans une étude récente, Renaudeau D. (2008) a montré qu'un mauvais état de propreté des salles d'engraissement pouvait avoir un effet négatif sur les performances des porcs élevés pendant la saison chaude sous un climat tropical. L'engraissement de porcs dans un bâtiment « sale » diminuerait d'environ de 100 g/j la vitesse de croissance des porcs.

Des études menées directement sur les agents pathogènes montrent que des conditions climatiques chaudes et humides favoriseraient le développement des bactéries. Ainsi, sur *Escherichia Coli*, la demi-vie des bactéries est multipliée par 4 entre 15 et 30°C, ces effets sont accentués pour une forte humidité ambiante (Wathes C. *et al.*, 1986). Ces résultats suggèrent que la charge bactérienne au sein des bâtiments d'élevage et donc l'incidence des pathologies pourraient fortement dépendre de la température ambiante et de l'humidité relative.

En résumé, les fortes températures agissent sur l'organisme en diminuant les quantités d'anticorps (Morrow-Tesch L. *et al.*, 1994), et en augmentant la durée de vie des microorganismes tel que *E. Coli* dans les aérosols (Wathes C. *et al.*, 1986). Ce qui laisse suggérer que, l'état sanitaire des animaux est fortement dépendant de la température ambiante et des conditions d'élevage.

c4. Effets sur les hormones et la composition chimique du sang

Les taux de T3 et T4 (hormones thyroïdiennes) sont fortement affectés par l'effet de la température ambiante. La réduction de l'ingestion spontanée à 31°C relativement à 18°C a réduit fortement le taux de T3, T4 et l'insuline (Rinaldo D., 1989). Ces hormones dont les taux circulants sont fortement liés aux niveaux d'ingestion, ont un effet sur le métabolisme énergétique et indirectement sur la production de chaleur. Dans les conditions chaudes l'organisme réduit la production de ces hormones ainsi que celle des corticoïdes qui ont pour effet de stimuler le métabolisme et la production de chaleur.

c5. Effets sur le comportement animal

En général il suffit d'observer les animaux pour évaluer leur état de bien être. Le comportement étant un bon indicateur du confort thermique. Dans des conditions de stress thermique le comportement animal est fortement affecté. Les porcs sujets aux fortes températures passent plus de temps allongés que, les porcs qui ne subissent pas le stress thermique. En conditions de températures élevées, l'animal réduit son activité physique et passe moins de temps en station debout. La chaleur a tendance à réduire les périodes d'agressivité des porcs (Hicks T A. *et al.*, 1998). A court terme lors de l'exposition d'un groupe de porc à une température ambiante élevée, ceux-ci adoptent un comportement social de dispersion (Xin H., 1999 ; Collin A., 2000). Heitman Jr H. et Hughes E H. (1949) ont observé des porcs, dans un état de stress thermique, se rouler dans les urines de leurs congénères, ensuite s'allonger en exposant les parties humides.

En général, dans les conditions chaudes, l'animal réduit son activité physique dans le but de réduire la production de chaleur totale, et adopte des comportements pour réduire les gains de chaleur du milieu par la dispersion et maximiser les pertes de chaleur en augmentant la surface de contact avec le sol et en s'humidifiant le corps (urine, eau de boisson).

c6. Effets sur la morphologie

A long terme, les porcs exposés à des températures ambiantes élevées, la morphologie devient plus longiligne ce qui provoque une augmentation du rapport surface/poids (Heath M., 1984 ; Douncey M.J. et Ingram D.L., 1986 ; Rinaldo D., 1989). La longueur de la

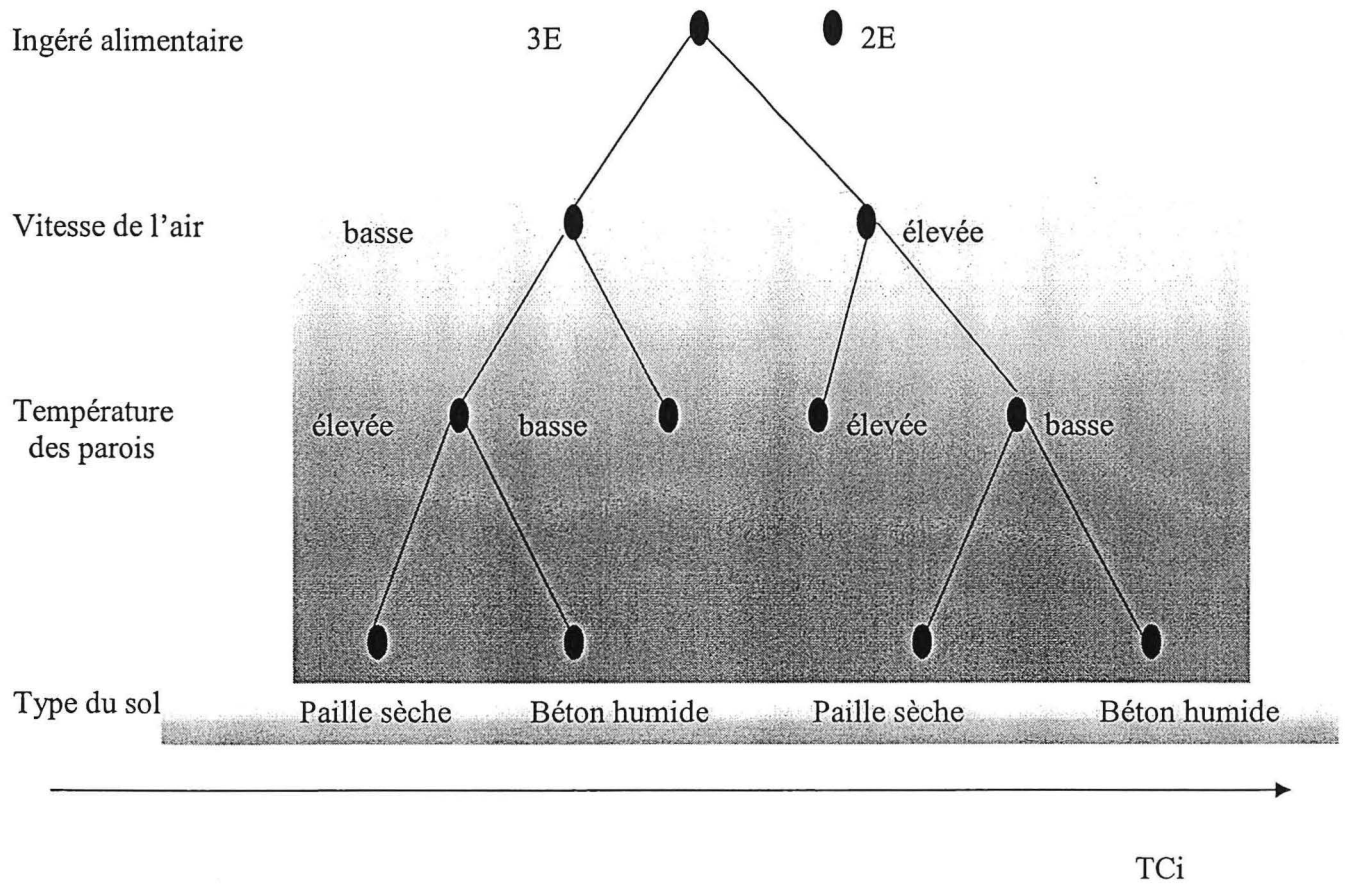


Figure n°7 : Diagramme représentant l'effet de l'ingéré alimentaire et des facteurs environnementaux sur la température critique inférieure (TCi) pour un groupe de 9 porcs de 60 kg. (d'après Close, 1983).

carcasse et des extrémités augmente avec la température ambiante à moyen et long terme, les animaux sont plus courts et trapus aux faibles températures ambiantes. Ces changements de physiologie favorisent les mécanismes de déperditions de chaleur en conditions chaudes

d. Les facteurs influençant les effets de la température sur les performances des porcs.

De nombreux facteurs vont influencer (accentuer ou atténuer) les effets de la température sur les performances des porcs. Ils peuvent être liés à la conduite d'élevage, à l'animal lui-même (stade physiologique, poids vif, type génétique, état sanitaire...etc.), ou aux facteurs environnementaux.

d1. Facteurs liés à la conduite d'élevage

Concernant l'effet de l'alimentation, les animaux fortement alimentés sont plus sensibles que les animaux faiblement alimentés compte tenu de l'augmentation de la production de chaleur totale liée à l'augmentation de sa composante TEF (*Thermal effect of feed*). La composition d'aliment peut également avoir un effet sur l'ingestion d'aliment dans des conditions de stress thermique. En effet, selon le système énergie nette, l'extra chaleur d'un aliment est plus importante lorsque cet aliment est riche en protéines ou en parois végétales par rapport à un aliment riche en matières grasses ou en amidon (Noblet J. *et al.*, 1994). Cette caractéristique est utilisée pour mettre au point des solutions alimentaires permettant de lutter contre les effets de la chaleur chez le porc.

Compte tenu des différences de conductivité thermique entre les matériaux, le type de sol pourrait également affecter les pertes de chaleur du porc. Par comparaison avec un sol composé de caillebotis, un sol en béton humide permet d'augmenter les déperditions de chaleur par conduction (Figure 7). Le mouillage de la peau favorise les déperditions de chaleur par voie sensible et ainsi il réduit les effets de la température sur les animaux. Néanmoins, l'effet du mouillage varie selon le type génétique. Le porc Large white profite mieux de l'effet du mouillage que le créole (Berbigier P., 1975). Cet effet peut s'expliquer par le fait le porc Créole est sans doute mieux adapté à la chaleur et, par conséquent n'a moins besoin de perdre de la chaleur pour maintenir son homéothermie

Bien que peu décrit dans la bibliographie, la concomitance de plusieurs facteurs, température ambiante élevée, densité élevée et regroupement pourrait avoir un effet négatif et additif sur les performances du porc (Hyun Y. *et al.*, 1998). Ces résultats restent à approfondir et nécessitent des études complémentaires.

d2. Facteurs liés à l'animal

Type physiologique, ou le poids vif

Les niveaux de productions élevés s'accompagnent d'une production de chaleur intense liée aux processus chimiques et biochimiques digestion et de transformation des nutriments. Ainsi la truie en lactation est beaucoup plus sensible aux élévations de la température ambiante par rapport au porc en croissance (Figure 8). Cet effet s'explique principalement par des différences de poids vif (et de besoins d'entretien) mais également des différences de niveau d'ingestion. En d'autres terme, la truie en lactation produit beaucoup de chaleur que le porc en croissance ce qui explique sa forte sensibilité à la température.

Le type génétique

Le type génétique peut influencer la capacité qu'ont les animaux à produire ou à résister à une contrainte thermique forte. Par exemple, lorsqu'une race locale tropicale est comparée à

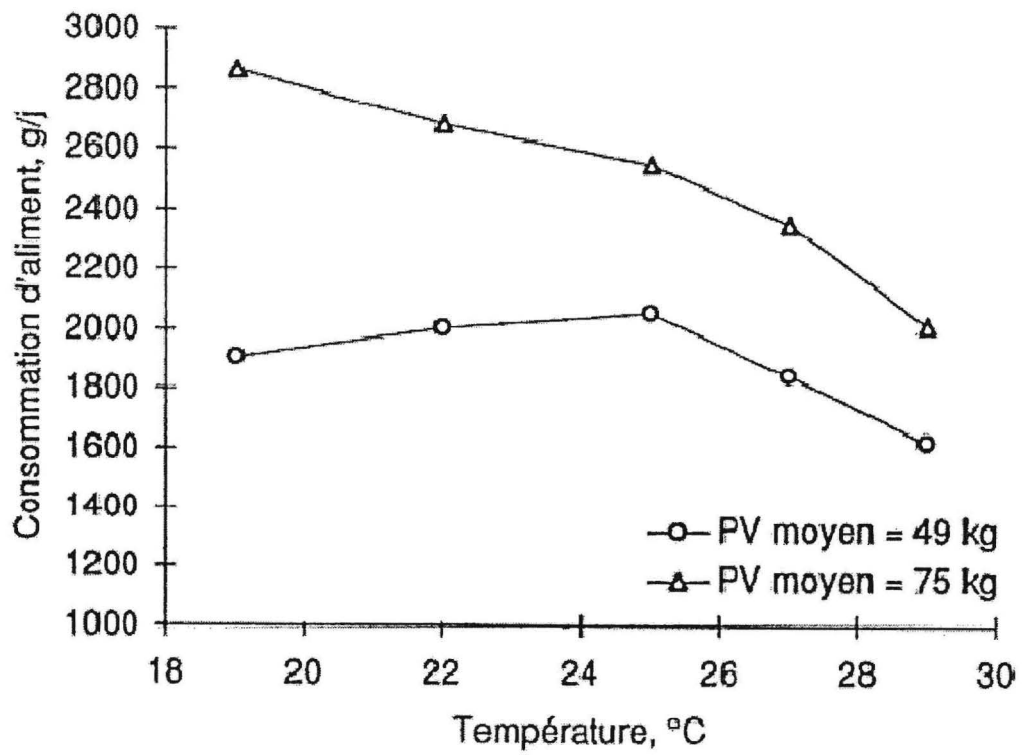


Figure n°8 : Évolution de la consommation d'aliment avec la température selon le stade de croissance (D'après Quiniou N. *et al.*, 1998).

une race européenne, la race locale est mieux adaptée à la chaleur (Berbigier P., 1975). Cet effet s'explique en partie par des différences de niveaux de production et de métabolisme. Par exemple, la température critique supérieure est plus faible chez les porcs LW par rapport aux porcs Créoles. En revanche, la température critique d'évaporation n'est pas influencée par le type génétique (Renaudeau D., 2005). Cet effet du type génétique sur l'adaptation à la chaleur pourrait à terme être utilisé pour sélectionner des animaux thermo tolérants.

Par ailleurs, à l'intérieur d'une race, il existe une variabilité interindividuelle très importante dans la capacité des animaux à résister à la chaleur. Chez la truie en lactation, Gourdine J L B. *et al.* (2006) montre que la température rectale est un caractère héritable ($h^2 = 25\%$) qui pourrait être utilisé pour la sélection.

d3. Facteurs liés à l'environnement

La durée d'exposition à la température ambiante ou l'acclimatation

Les effets de la température varient selon la durée d'exposition à la chaleur (Renaudeau D. *et al.*, 2007). Pour des durées courtes d'exposition, l'effet de la température sur la température rectale et sur la consommation d'aliment est très marqué. Pour une durée d'exposition plus longue, les animaux mettent en place des mécanismes d'acclimatation qui se traduisent par une diminution de la production de chaleur et une augmentation progressive de la consommation d'aliment. La nature et l'amplitude de ces réponses d'acclimatation dépendent du niveau de température considéré (Renaudeau D. *et al.*, communication personnelle).

Facteurs climatiques

Le niveau de température

L'effet de la chaleur diffère selon le niveau de température auquel les animaux sont exposés. L'effet de la température ambiante est d'autant plus important que le niveau de température ambiante est élevé (Renaudeau D. *et al.*, 2008). En effet entre 24 et 32°C, la chute de la consommation d'aliment est de 90 g/j °C alors qu'elle est de 128 g/j/°C entre 32 et 36°C (Renaudeau D. *et al.*, 2008). En d'autres termes, plus la température ambiante est élevée et plus l'animal utilise la réduction de l'ingestion pour maintenir son homéothermie. Ce qui a pour conséquence une diminution de la vitesse de croissance. Pour des porcs de 50 kg en moyenne, la réduction de croissance est de 50 g/j/°C entre 24 et 32°C et 72g/j/°C entre 32 et 36°C (Renaudeau D. *et al.*, 2008).

La vitesse de l'air

Dans les conditions chaudes, l'augmentation de la vitesse de l'air aurait pour effet d'augmenter les pertes de chaleur par convection. Ce résultat est confirmé par le fait le seuil de sensibilité à la chaleur (TCi) est plus élevé que quand la vitesse de l'air est moindre (Figure 7). Le mouvement de l'air est un élément qui permet de réduire les effets de la chaleur sur les performances du porc. Néanmoins, cet effet est limité chez les espèces à faible pouvoir de transpiration. Dans les milieux secs, le mouvement de l'air n'affecte pas le rythme respiratoire et la température corporelle des animaux. Tandis que sur un sol humide, l'augmentation de la vitesse de l'air (la ventilation) a pour effet de réduire le rythme respiratoire et la température corporelle chez un porc soumis à un stress thermique (Heitman Jr.H. et Hughes E.H., 1949).

L'humidité relative

L'efficacité des pertes par évaporation dépend du gradient d'humidité entre l'air expiré et l'air ambiant. Si ce gradient diminue à cause d'une augmentation de l'hygrométrie ambiante, les pertes de chaleur par évaporation deviennent moins efficaces. Cela se traduit d'abord par une diminution de la TCe et une augmentation du rythme respiratoire (Renaudeau D., 2005 ; Hyun T T T., 2005). En effet, ces derniers auteurs montrent que la TCe diminue de 23°C à

21°C lorsque l'hygrométrie ambiante augmente de 50% à 80%. Cela signifie que les porcs sont plus sensibles à l'élévation de la température.

Chaque point d'augmentation de l'humidité entre 50 et 80 % se traduit par une diminution de 0.83 g/j/°C (Hyun T.T.T., 2005). Ces derniers auteurs ne montrent pas d'effet de l'humidité ambiante sur l'indice de consommation. Par conséquent, l'effet d'une forte humidité relative sur la consommation d'aliment se répercute directement sur les performances de croissance.

Par ailleurs, il est bien connu qu'une forte humidité ambiante peut avoir des effets négatifs sur le statut sanitaire d'un élevage. Des études sur des bactéries *Escherichia Coli* dans les conditions entre 15 et 30°C, ont démontré que les bactéries résistaient mieux dans les conditions de 30°C que 15°C (les demi-vies étant 14 et 3 mn respectivement). Dans les conditions humides (supérieure à 50% d'humidité), les demi vies sont nettement supérieures (83 et 14 min, respectivement) (Wathes C. *et al.*, 1986). Ces résultats suggèrent que le *microbisme* ou la charge bactérienne au sein des bâtiments d'élevage pourraient fortement dépendre de la température ambiante et de l'humidité relative. Ainsi l'incidence des pathologies et des incidents sanitaires pourraient dépendre indirectement des conditions d'ambiance.

En conclusion, les effets négatifs de la température élevée sur le bien être et les performances du porc se trouvent accentués par des taux d'humidité élevés, d'où la nécessité de quantifier l'effet combiné de ces deux facteurs climatiques dans le but de définir les meilleures conditions pour des élevages plus performants.

II. Matériels et méthodes

a. *Dispositif expérimental*

Les effets de la température et de l'humidité ambiante ont été testés sur un total de 12 porcs mâles castrés Large White ayant un poids initial de $17,5 \pm 4,4$ kg au début de la période d'adaptation et de $28,6 \pm 10,6$ kg en début d'expérimentation. Cette expérimentation a été conduite à la plateforme tropicale d'expérimentation animale une des deux unités expérimentales de l'unité de recherches zootechniques. Dans cette expérience, les effets de l'humidité ambiante ont été testés intra niveau de température selon le dispositif résumé dans la Figure 9. Ce dispositif a été utilisé pour tenir compte des effets du poids vif dans la réaction des animaux aux variations de paramètres climatiques. Trois niveaux d'humidité ont été testés : 70, 80, et 90%. Les niveaux de température étaient les suivants : 24, 28, 30, 32°C. L'expérience est découpée en 9 périodes de 9 jours correspondant chacune à un niveau de température. La transition de température entre deux périodes est faite par un changement de 2°C/h entre 6 et 8 h ou entre 7 et 8 h. Chaque période est divisée en 3 sous périodes de 3 jours correspondant chacune à un niveau d'hygrométrie ambiante. La transition entre deux sous périodes a été faite par un changement de 10% d'humidité relative/h entre 6 et 7 h. Avant le début de l'expérimentation les animaux sont placés pendant 10 jours à 24°C et 70% d'humidité relative afin de s'habituer aux conditions de logement et à l'aliment (transition entre l'aliment post sevrage et engraissement)

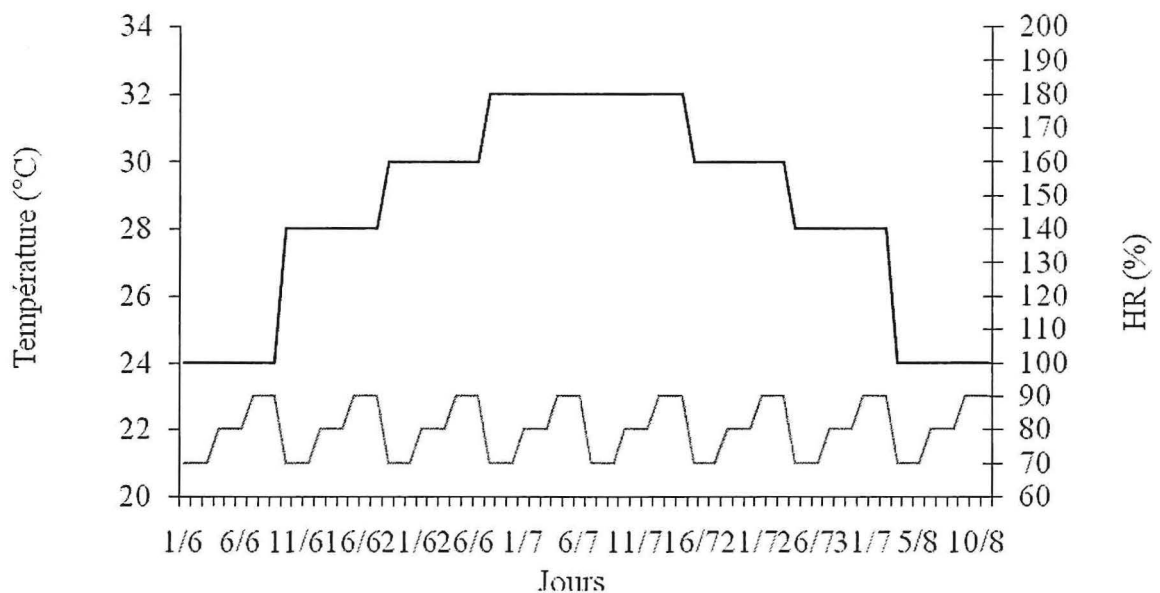


Figure n°1 : Les variations de la température ambiante et de l'humidité relative au cours de l'expérimentation

b. Logement et alimentation

A l'âge de 58 jours, les animaux sont mutés dans une salle climatisée où la température, l'humidité, la vitesse de l'air et la photopériode sont contrôlées. La température est contrôlée par un système associant une batterie chaude (résistances chauffantes) et une batterie froide alimentée avec un circuit eau froide. L'humidité ambiante est générée par une centrale qui injecte de la vapeur dans le bâtiment. La vitesse de l'air n'est pas mesurée mais reste inférieure à 0.15 m/s (réglage du bâtiment). Le bâtiment à ambiance contrôlée est conçu d'une manière homogène et symétrique pour permettre une bonne homogénéisation des paramètres d'ambiance. Il contient 12 loges individuelles sur caillebotis intégral équipées chacune d'une auge à débit ajustable et une pipette automatique pour la distribution de l'eau réglée pour éviter le gaspillage. Un bac est mis en place en dessous de la cage pour la récupération de l'aliment gaspillé.

Les porcs sont alimentés avec un aliment type « croissance » contenant 16.5% de protéines et 10.0 MJ d'énergie nette par kg. Pendant la période d'adaptation de 10 jours, l'aliment distribué est composé de 50% aliment sevrage et 50% aliment croissance pour assurer une bonne transition et éviter les incidents digestifs dus aux changements d'aliment.

La photopériode est maintenue à 12 heures et 30 minutes de jour (entre 06 :00 et 18 :30) et de 11 heures et 30 minutes de nuit.

c. Les mesures

Tous les matins, l'aliment gaspillé et les refus sont collectés individuellement avec un aspirateur et pesés à l'aide d'une balance (*OHAUS CORP/Allemagne*). La consommation d'aliment est calculée par différence entre la quantité d'aliment alloué et refusé. Après homogénéisation, les refus sont mesurés pour leur teneur en matière sèche (MS) en les plaçant pendant 24°C à 103°C dans une étuve (*MEMMERT/Allemagne de l'Ouest*). Les pesées pour la MS sont effectuées avec une balance de précision (*METTLER TOLEDO PM 6000/ Suisse*). L'aliment alloué est poolé sur des périodes de 9 jours pour la mesure de la matière sèche (24 h à 103°C). Un échantillon est prélevé pour des analyses classiques de laboratoire.

Les animaux sont pesés individuellement au début de chaque période de 9 jours. Les pesées sont effectuées le matin à une heure fixe sur les animaux pleins, après le vidage des auges et la récupération des refus. La balance utilisée pour les pesées est composée d'un plateau de type *Technocontrol* et d'un automate de type *BALEA*, dont la fiabilité est vérifiée avant chaque pesée avec un poids étalon de 20 kg.

La mesure des paramètres physiologiques (températures rectale et cutanées, rythmes respiratoires et cardiaque) est effectuée 3 fois par jours à heures fixes (07:30, 11:30, 17:30) au 2^{ème} et 3^{ème} jour de chaque sous période de 3 jours. Le protocole suivant est appliqué : le rythme respiratoire est mesuré par observation des mouvements du flanc sur des animaux allongés et au repos. Le rythme cardiaque est mesuré à l'aide de ceintures Polar « Cardio fréquencemètre » ou « *Heart Rate Monitor* » de marque *GEONAUTE* fabriquées en Chine. Le rythme cardiaque est mesuré par deux intervenants sur l'ensemble des animaux de préférence au repos. Les températures cutanées sont mesurées au niveau du dos (site P2 de mesure de l'épaisseur de lard) et au niveau du flanc (site aligné sur celui du dos et à mi distance entre le dos et le ventre) par un seul manipulateur à l'aide de sonde « *Unique Temperature surface Probes* » de marque *OMEGA « OMEGA Technologies Company »* et un appareil de lecture de type *Microprocessor Thermometer Model HH21 type J-K-T* thermocouple de marque *OMEGA (USA)*. Les mesures de températures rectales sont effectuées à l'aide d'un thermomètre électronique médical de type MT 18F1, fabriqué par *MICROLIFE CORPORATION* à Taiwan, lubrifié avec un gel gynécologique avant chaque utilisation.

Lors des mesures du rythme cardiaque, des températures ; rectale et cutanées, les positions (assis, debout ou couché), des animaux sont notées.

d. Calculs et analyse statistique.

Les données des températures cutanées mesurées au niveau du dos et du flanc ont été moyennées en une nouvelle variable appelée « température cutanée ». Un indice de circulation de la température (*temperature circulation index*, TCI) a été calculé à partir de la température ambiante, la température cutanée et la température rectale selon la formule suivante : $TCI = (Température\ cutanée - température\ ambiante) / (température\ rectale - température\ cutanée)$. Cet indice est un indicateur des échanges de chaleur par la voie sensible.

Les données concernant la consommation d'aliment, la température rectale, cutanée, le rythme cardiaque et respiratoire ont été analysées en utilisant un modèle d'analyse de la variance (proc mixed de SAS) prenant en compte les effets de la température, de l'humidité relative, de l'heure (uniquement pour les paramètres physiologiques) et des interactions entre ces facteurs. Les données concernant le GMQ et l'indice de consommation ont été analysées avec un modèle prenant en compte les effets de la température. Dans les deux modèles, l'effet de l'animal a été traité comme un effet aléatoire.

Tableau n°II : Effets de la température et de l'humidité ambiante sur les performances et les réponses physiologiques du porc en croissance (moyennes ajustées) .

	HR, %	Température ambiante, °C				Statistiques ¹			
		24	28	30	32	ETR ¹	T	HR	T*H R
Température rectale, °C	70	39.2 ^e	39.5 ^e	39.7 ^{ef}	39.9 ^e	0.3	***	*	**
	80	39.2 ^e	39.5 ^e	39.5 ^e	39.9 ^e				
	90	39.2 ^e	39.5 ^e	39.7 ^f	40.0 ^e				
	<i>Moy</i>	39.2 ^a	39.5 ^b	39.6 ^c	39.9 ^d				
Rythme respiratoire, °C	70	41 ^e	79 ^e	89 ^e	116 ^e	17.4	***	***	***
	80	41 ^e	81 ^{eg}	95 ^e	116 ^e				
	90	40 ^e	40 ^f	109 ^f	125 ^e				
	<i>Moy</i>	40 ^a	80 ^b	97 ^c	119 ^d				
Température cutanée, °C	70	36.1 ^e	37.6 ^e	37.9 ^e	38.5 ^e	0.4	***	**	**
	80	36.4 ^f	37.6 ^e	38.0 ^e	38.4 ^e				
	90	36.2 ^{ef}	37.6 ^e	38.1 ^e	38.4 ^e				
	<i>Moy</i>	36.2 ^a	37.6 ^b	38.0 ^c	38.4 ^d				
Rythme cardiaque (pulsations/minute)	70	127 ^e	127 ^e	113 ^e	106 ^e	9.9	***	**	***
	80	131 ^e	125 ^e	114 ^e	103 ^e				
	90	128 ^e	123 ^e	114 ^e	96 ^f				
	<i>Moy</i>	129 ^a	125 ^b	113 ^c	102 ^d				
Thermal Circulation Index	70	3.4 ^e	5.6 ^e	4.8 ^e	4.9 ^e	1.1	***	**	***
	80	4.8 ^f	5.4 ^e	5.3 ^f	4.7 ^e				
	90	4.5 ^{ef}	5.6 ^e	4.9 ^{ef}	4.2 ^f				
	<i>Moy</i>	4.2 ^a	5.5 ^b	5.0 ^c	4.6 ^d				
Cons. Aliment, g/j	70	1644 ^e	1507 ^e	1079 ^e	948 ^e	682.6	***	ns	ns
	80	1738 ^e	1567 ^e	1175 ^e	912 ^e				
	90	2155 ^f	1494 ^e	1231 ^e	857 ^f				
	<i>Moy</i>	1846 ^a	1523 ^b	1162 ^c	906 ^d				
Cons. Aliment, g/j/kg ^{0.60}		178.2 ^a	149.4 ^b	113.2 ^c	88.4 ^d	34.3	***	—	—
Gain de poids vif, g/j		792 ^a	809 ^a	461 ^b	362 ^b	223.7	***	—	—

¹ Données analysées avec un modèle mixte incluant les effets de la température, de l'humidité et de l'interaction entre ces deux facteurs. (a, b, c, sont attribués pour les moyennes significativement différentes ; e, f, g, sont attribués pour des valeurs significativement différentes ; H : effet de l'humidité relative ; moy : moyenne ; T : effet de la température ; T*H : effet de l'interaction entre la température et l'humidité relative ; ns : non significatif).

III. Résultats & discussion

a. Effets de la température ambiante et de l'humidité sur les performances zootechniques.

Dans nos conditions expérimentales, l'élévation de la température ambiante entre 24 et 32°C entraîne une réduction de 118 g/j/°C (Tableau II). Les résultats obtenus dans notre étude sont similaires à ceux rapportés par Quiniou N. *et al.* (2000) (-120 g/j/°C entre 19 et 29°C). La chute de la consommation d'aliment est considérée comme une adaptation visant réduire la production de chaleur et au maintien de l'homéothermie. Cette réduction de l'appétit n'est pas linéaire car elle atteint 81 g/j/°C entre 24 et 28°C et 154 g/j/°C entre 28 et 32°C ($P < 0,01$). Les résultats sont similaires lorsque la consommation d'aliment est rapportée au poids métabolique ($PV^{0.60}$). En d'autres termes, les effets de la température sont d'autant plus importants que le niveau de température est élevé.

L'indice de consommation étant très faiblement affecté par la température ambiante, la réduction de la vitesse de croissance des porcs est directement liée à une réduction de la consommation d'aliment. Entre 24 et 32°C, la vitesse de croissance chute de 54 g/j/°C et comme pour la consommation d'aliment cet effet n'est pas linéaire. Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Le Dividich J. *et al.* (1998) dans une revue bibliographique (20 à 40 g/j/°C) ou (Renaudeau D. *et al.*, 2007 ; 50g/j/°C). Ces auteurs rapportent une grande variabilité des résultats concernant l'effet de la température sur la vitesse de croissance. Cette grande variabilité est en grande partie liée à des facteurs liés à l'animal (type génétique, gamme de poids) mais également aux conditions d'élevage (taille du groupe, alimentation).

Indépendamment de la température, l'humidité n'a pas d'effet sur la consommation d'aliment ($P=0,3579$). Nos résultats montrent qu'une forte humidité ambiante (90%) accentue les effets de la température ambiante sur la consommation d'aliment. A 32°C, la consommation d'aliment est significativement plus faible à 90 contre à 80 ou 70% d'hygrométrie.

Compte tenu de notre dispositif expérimental (pesée au uniquement en début et à la fin de chaque période), les effets combinés de la température et de l'humidité sur les performances de croissance n'ont pu être mesurés. D'après Hyun T T T. (2005), il semble qu'une forte humidité ambiante accentue également les effets de la température sur le gain de poids (721 vs. 644 et 630 g/j/ pour une augmentation de l'humidité de 50, 60 à 80% respectivement).

b. / Effets de la température et de l'humidité sur les paramètres d'adaptation.

b1. Température cutanée et TCI (Thermal circulation index)

La température cutanée est fortement affectée par la température ambiante ; elle augmente en moyenne de 0,27°C/°C entre 24 et 32°C. Ces résultats sont en accord avec les résultats de la bibliographie. En effet, Hyun T T T. (2005) et Renaudeau D. *et al.* (2007) reportent également une augmentation de l'ordre de 0,30°C/°C (respectivement +0,25 et +0,30°C/°C). Comme déjà décrits par les précédents auteurs, l'augmentation de la température cutanée avec la température ambiante est strictement linéaire. Une variation de la TCI en fonction de la température reflète un changement dans la capacité de l'animal à perdre de la chaleur par voie sensible. Plus la TCI est faible, plus les pertes de chaleur par la voie sensible sont faibles.

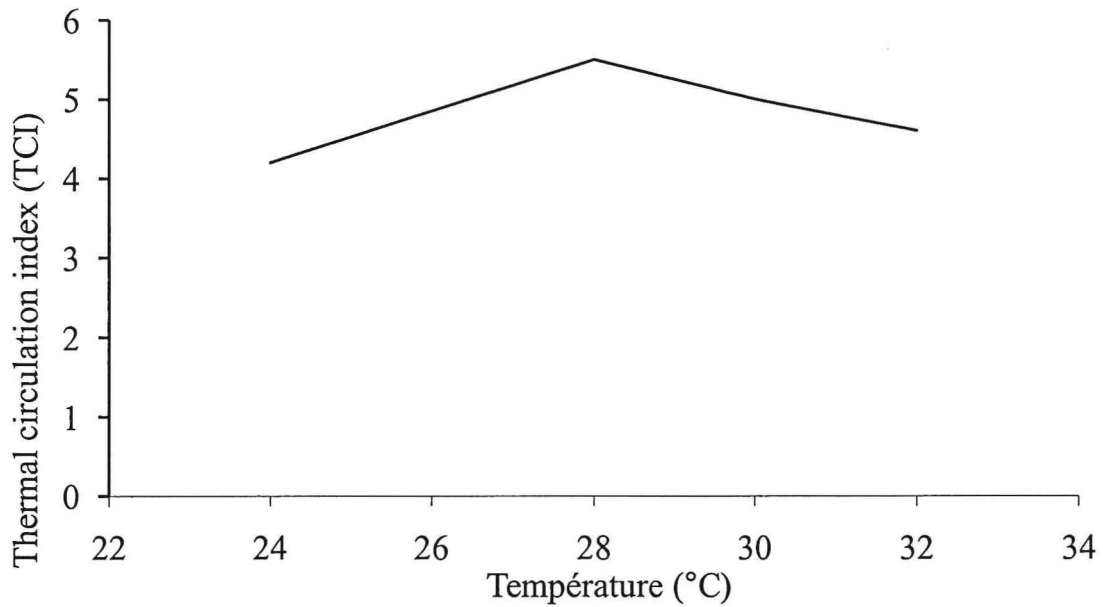


Figure n°2 : Effet de la température ambiante sur l'évolution du TCI.

De manière étonnante, le TCI augmente entre 24 et 28 (4,2 vs. 5,5 ; $P < 0.05$) et diminue entre 28 et 32°C et diminue entre 28 et 32°C (5,5 vs. 4,6 ; $P < 0,05$) (Figure 10). Dans un travail récent Renaudeau D. *et al.* (2008) montrent que le TCI est constant entre 24 et 28°C. La différence entre ces deux travaux peut s'expliquer par la différence de poids vif des porcs utilisés dans les deux études. Après 28°C, la réduction du TCI, indique que les capacités de l'animal à perdre de la chaleur par la voie sensible diminuent. En d'autres termes, ces résultats suggèrent que seules les pertes par évaporation sont efficaces pour perdre de la chaleur.

Quelque soit la température ambiante, la température cutanée est peu affectée par l'humidité ambiante, elle augmente légèrement de 0,1°C entre 70 et 80% ($P < 0,05$). Un résultat similaire a été obtenu pour le TCI.

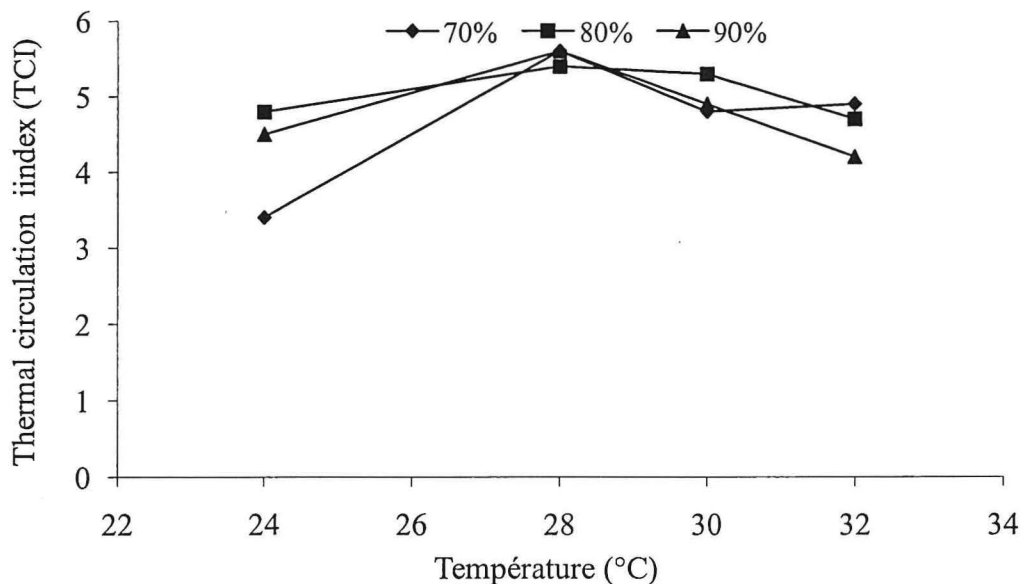


Figure n° 3: Effet de la température ambiante et de l'humidité relative sur le TCI

La figure 11 montre que l'interaction entre la température et l'humidité est significative pour le TCI. En effet, la réduction du TCI entre 28 et 32°C est deux fois plus importante à 90% par rapport à 70 ou 80% d'humidité ambiante (1,4 vs. 0.7 ; $P < 0.05$). Cela démontre qu'une forte hygrométrie accentue les effets négatifs de la température élevée ($> 28^\circ\text{C}$) sur les échanges thermiques par la voie sensible. Ce résultat s'explique par le fait que le calcul du TCI tient compte de la température rectale et qu'une forte hygrométrie ambiante a tendance à accentuer les effets de la température ambiante sur la température rectale.

b2. Rythme respiratoire

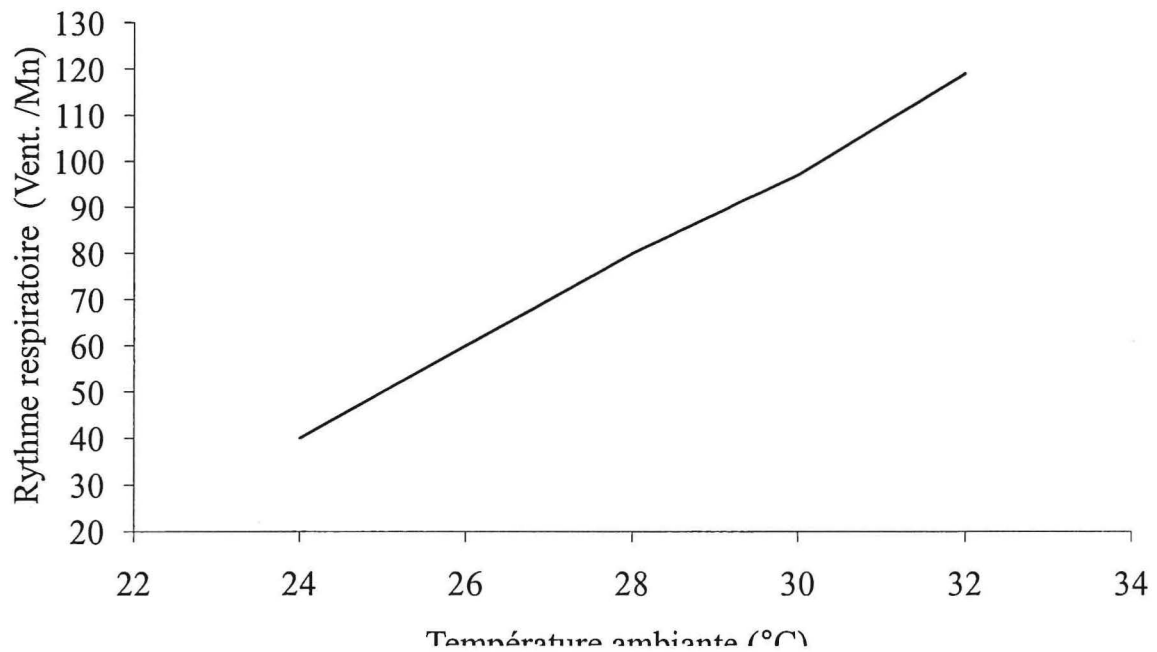
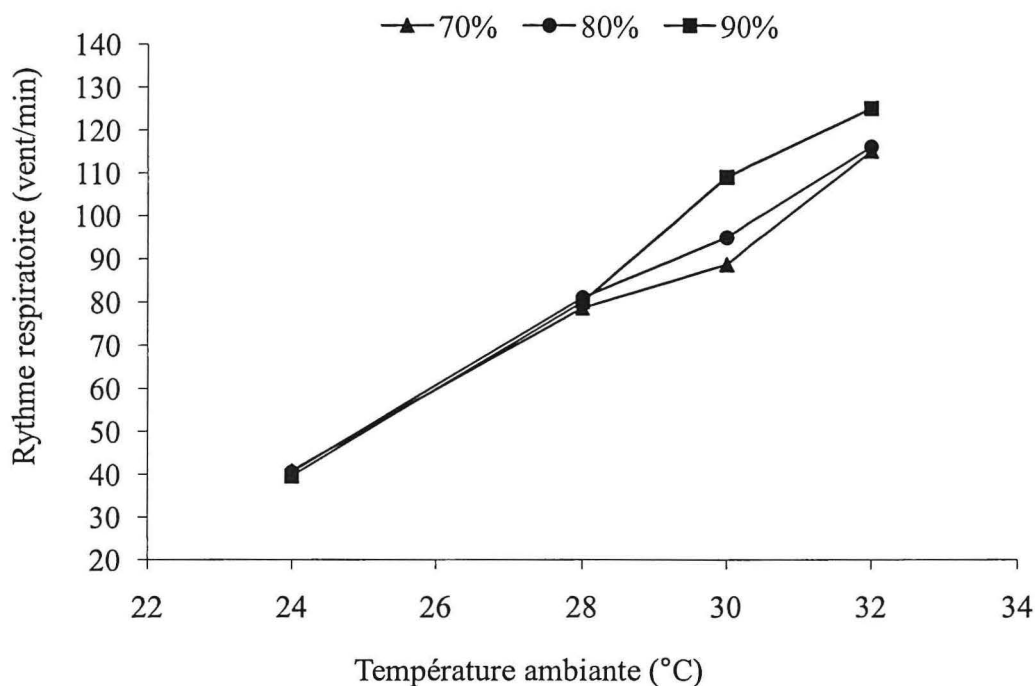


Figure n°4 : Effet de la température sur le rythme respiratoire

Le porc ne disposant de peu de glandes sudoripares fonctionnelles, les pertes par évaporation sont essentiellement réalisées au niveau respiratoire. Par conséquent une augmentation du rythme respiratoire est le seul mécanisme mis en place pour augmenter les pertes par évaporation. Entre 24 et 32°C, le rythme respiratoire augmente linéairement avec l'élévation de la température ambiante (10 mouvements/min/°C ($P < 0,05$)) (Figure 12). Des résultats comparables sont obtenus par Renaudeau D. *et al.* (2008) ; 8 mouvements/min/°C entre 24 et 32°C) et par Hyun T T T. (2005) ; 13 mouvements/min/°C entre 22 et 32°C).

Quelque soit le niveau de température le rythme respiratoire reste constant entre 70 et 80% d'humidité (82 mouvements/min) mais est supérieur à 90% (89 mouvements/min).



Fi

Figure n°5: Effet de la température ambiante et de l'humidité relative sur le rythme respiratoire

L'interaction entre la température ambiante et l'humidité est significative pour le rythme respiratoire ($P < 0,001$). Entre 24 et 28°C, l'évolution du rythme respiratoire n'est pas affecté par le niveau d'humidité (Figure 13). Entre 28 et 32°C, l'augmentation du rythme respiratoire est plus importante à 90 par rapport à 70 ou 80% (+29 vs. +12 mouvements/min, $P < 0,05$). Au contraire, entre 30 et 32°C, l'augmentation du rythme respiratoire est inférieure à 90 par rapport à 70 ou 80% (+24 vs. +16 mouvements/min ; $P < 0,05$). A partir de ces résultats, nous pouvons supposer qu'entre 28 et 30°C, l'augmentation du rythme respiratoire pour forte humidité pourrait s'expliquer par une diminution de l'efficacité des pertes par évaporation. En effet l'efficacité des pertes par évaporation dépend du gradient d'humidité entre l'air expiré et l'air ambiant. Au-delà de 30°C, il peut être suggéré que la capacité de l'animal à augmenter son rythme respiratoire est d'autant plus faible que l'humidité relative est élevée.

b3. Rythme cardiaque

L'effet de la température ambiante sur le rythme cardiaque est peu décrit chez le porc. Dans notre travail, une variation de la température ambiante affecte négativement le rythme cardiaque et cette évolution n'est pas linéaire. Entre 24 et 28°C, la diminution est de 1 puls/min ($P = 0,0016$), tandis qu'entre 28 et 32°C, la diminution du rythme cardiaque est nettement plus importante (8 puls/min/°C ; $P < 0,0001$) (Figure 14). Ces résultats sont parfaitement en accord avec ceux obtenus par Heitman Jr H. et Hughes E H. (1949) (-2 puls/min/°C entre 26 et 32°C et -5 puls/min/°C entre 32 et 37°C). Comme pour la consommation d'aliment l'effet de la température sur le rythme cardiaque est d'autant plus important que le niveau de la température est élevé. Le cœur étant un organe important pour la production de chaleur, la chute du rythme cardiaque avec la température semble être une adaptation visant à réduire la thermogénèse de l'animal.

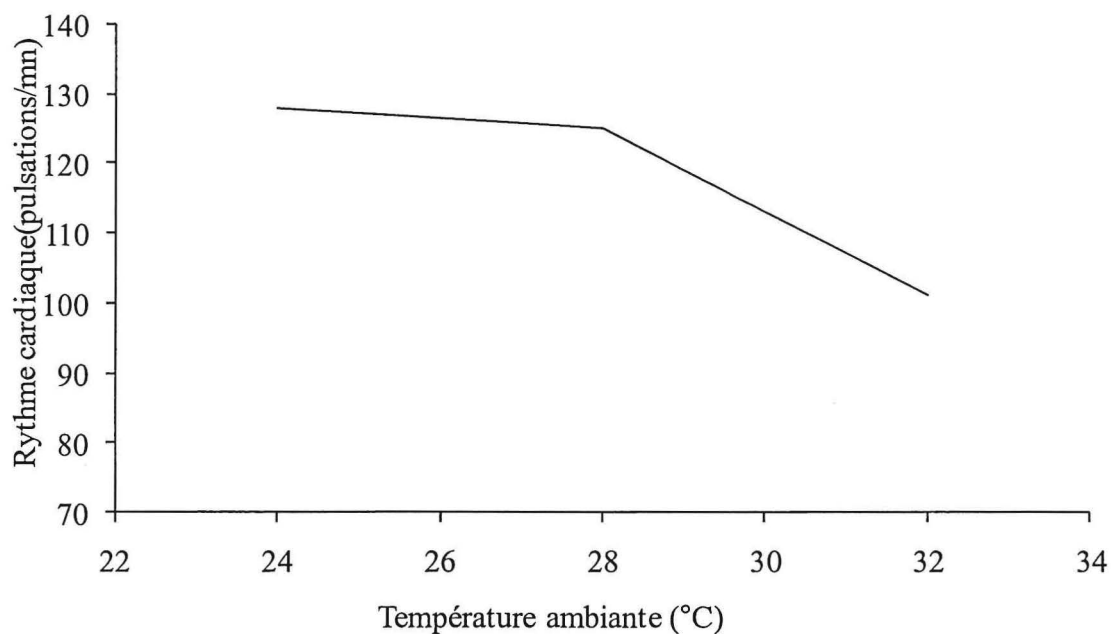


Figure n°6 : Effet de la température ambiante sur le rythme cardiaque.

Heitman Jr H. et Hughes E H. (1949) n'ont pas montré d'effet de l'humidité sur le rythme cardiaque. Dans notre étude, une augmentation de hygrométrie de 80 à 90% fait augmenter le rythme cardiaque d'environ 2.8 puls/min ($P=0.0028$). En revanche, le rythme cardiaque reste constant entre 70 à 80 % d'humidité.

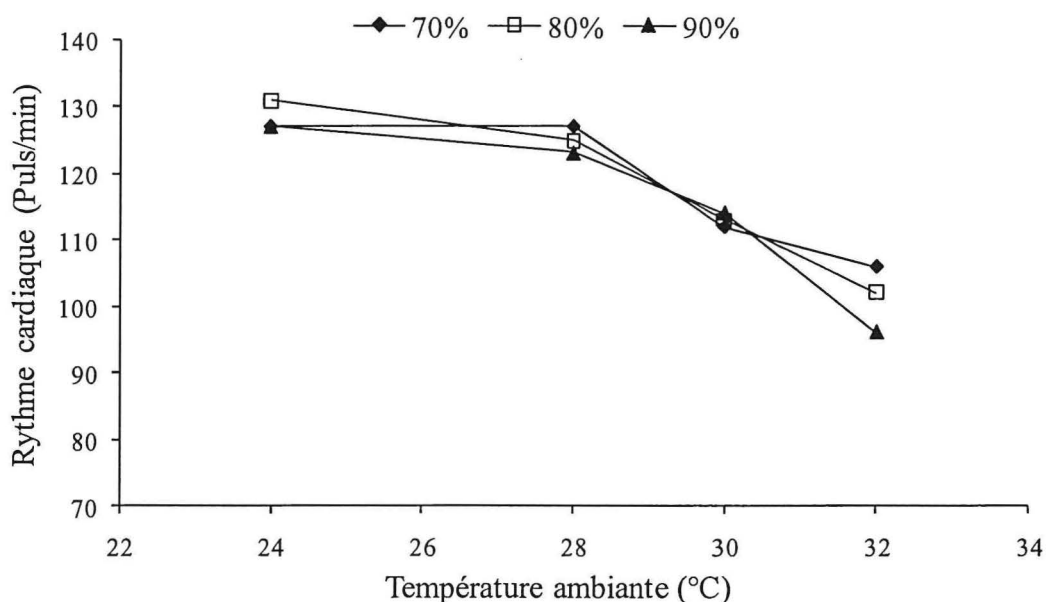


Figure n°7 : Effet de la température ambiante et de l'humidité relative sur le rythme cardiaque

Nos résultats montre aussi qu'il y'a une forte interaction entre la température et l'humidité sur le rythme cardiaque ($P < 0,0001$). Néanmoins cet effet n'est significatif que lorsque la température est égale à 32°C avec un plus faible rythme cardiaque à 90% d'humidité (Figure 15). D'après ces résultats, nous pouvons suggérer que l'effet d'une forte l'humidité relative n'est significatif que lorsque la température ambiante est élevée. En fait, il peut être supposé qu'à 32°C et 90% d'humidité, l'animal ne peut plus augmenter son rythme respiratoire pour augmenter ces pertes de chaleur et la réduction du rythme cardiaque semble être la seule possibilité pour limiter l'augmentation de la température interne par une réduction de la production de chaleur.

b4. Température rectale

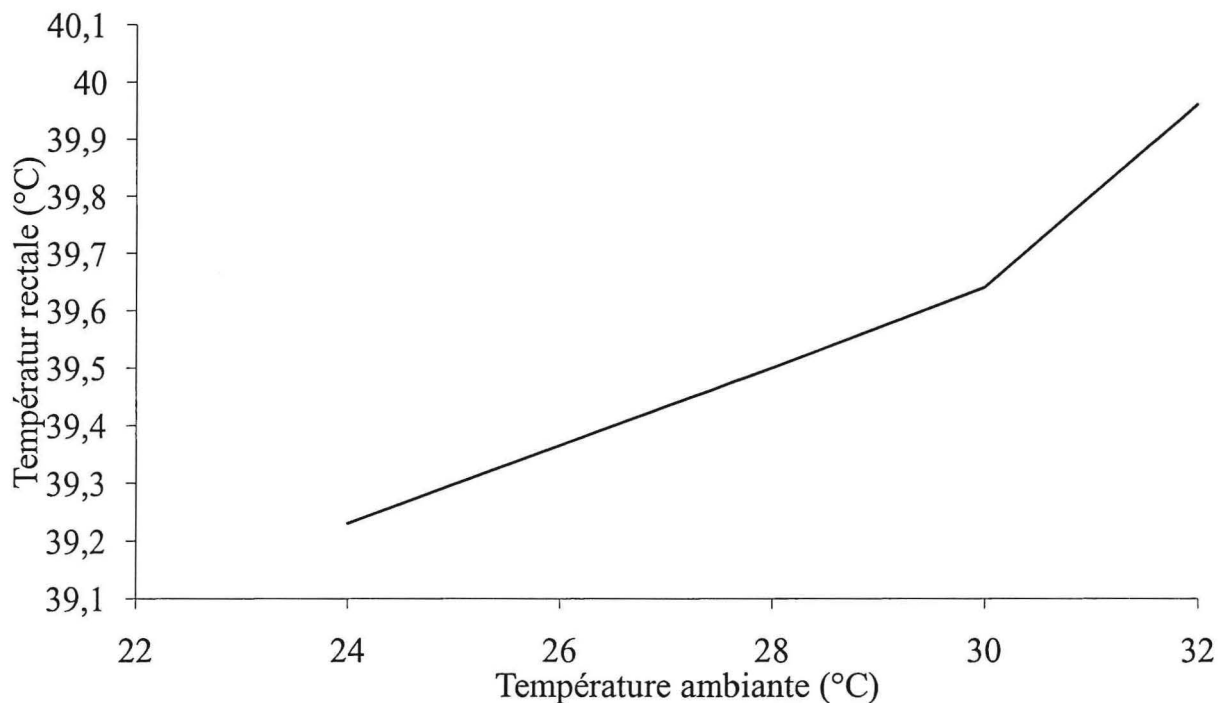


Figure n°8 : Effet de la température ambiante sur la température rectale

La température rectale est considérée comme le meilleur indicateur de la température interne de l'animal. Par conséquent, une augmentation de la température rectale signifie que l'animal est en hyperthermie. L'évolution de la température rectale entre 24 et 32°C n'est pas linéaire et dépend du niveau de température (Figure 16). Elle est en moyenne de $0,07^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ entre 24 et 30°C et de $0,15^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ entre 30 et 32°C . Ces résultats sont parfaitement en accord avec les résultats obtenus par Renaudeau D. *et al.* (2008). Nos résultats signifient qu'à partir de 30°C , les processus impliqués dans l'augmentation des pertes de chaleur et/ou dans la limitation de la production de chaleur sont saturés et la température interne de l'animal augmente.

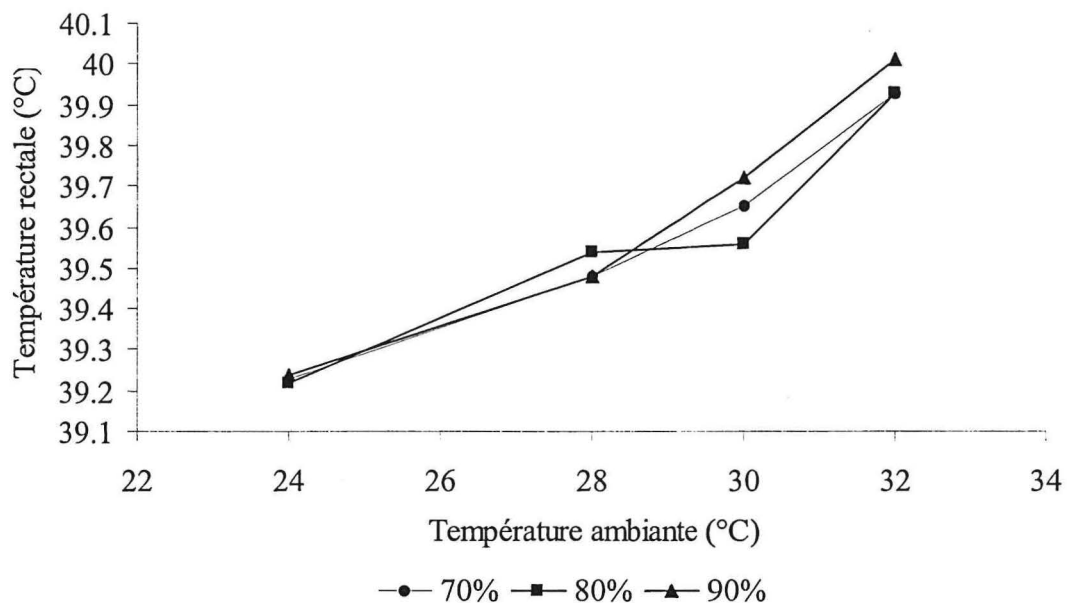


Figure n°9 : Effet de la température ambiante et de l'humidité relative sur la température rectale

Indépendamment de l'effet de la température ambiante, l'humidité relative a un léger effet sur la température rectale avec une température rectale plus élevée à 90% (Tableau 2 ; $P=0,0431$).

Néanmoins, il existe une forte interaction entre la température et l'humidité ($P=0.0067$). Entre 28 et 30°C, l'élévation de l'humidité de 70 à 90% a eu pour effet d'augmenter l'écart de température rectale de (ns vs. 0,2°C ; $P<0.05$). Entre 30 et 32°C, une augmentation de l'hygrométrie de 70 à 90% fait augmenter la différence de température rectale de (+0,27 vs. 0.36°C ; $P<0.05$).

Entre 28 et 30°C, la température rectale ne varie pas à 80% alors que l'augmentation à 70 et 90% est hautement significative (Figure 17). A 32°C, la température rectale n'est pas influencée par le niveau d'humidité. Ce résultat est surprenant et semble indiquer que dans nos conditions expérimentales une forte humidité ambiante n'affecte pas l'efficacité avec laquelle l'animal maintient son homéothermie. Malheureusement, sur ce point peu de résultats sont disponibles chez le porc contrairement aux autres espèces d'élevage (volailles ; ruminants).

IV. Conclusion et perspectives :

Nos résultats ont montré que l'effet de la température ambiante sur les différents paramètres zootechniques et physiologiques est en accord avec les études précédentes. L'élévation de la température ambiante entraîne une réduction importante du niveau de performance des animaux. Ces diminutions des performances est la conséquence de la chute de la consommation d'aliment qui est le moyen le plus efficace pour réduire la production de chaleur de l'animal soumis à un stress thermique.

La diminution de la TCI et l'augmentation du rythme respiratoire avec l'élévation de la température ambiante sont des résultats classiquement rapportés dans la bibliographie. Ils traduisent le fait qu'aux fortes températures, le porc utilise principalement les pertes par évaporation pour tenter de maintenir son homéothermie. Les résultats concernant le rythme cardiaque sont plus originaux et montrent qu'au chaud l'animal est capable de réaliser un certain nombre d'ajustements cardiovasculaires pour s'adapter à la chaleur.

Notre travail a permis de montrer qu'une forte humidité accentue les effets de la température ambiante sur les performances (consommation d'aliment) et affecte la capacité des animaux à lutter contre les effets de la chaleur. L'absence d'effets significatifs d'une forte humidité sur la température rectale, mesurée au chaud (32°C), est un résultat surprenant et semblent indiquer que l'animal a été capable de mettre en place toutes les adaptations nécessaires pour limiter l'augmentation de la température interne dans ces conditions. D'autres travaux sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes impliqués dans cette adaptation. Pour simplifier le protocole expérimental, nous avons choisi de travailler avec des traitements thermiques maintenus constant au cours de la journée. En pratique, la température varie au cours de la journée notamment dans les régions tropicales. Il est donc nécessaire de renouveler ces travaux en utilisant des traitements thermiques fluctuants pour mieux se rapprocher des conditions habituelles d'élevage.

V. Références bibliographiques

<http://faostat.fao.org>

Berbigier P., 1975. Echanges thermiques au niveau de la peau des porcelets élevés en Climat Tropical. ANN. Zootech., 1975. 24 (4). 671-683.

Berbigier P., 1988. Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale. ISBN. 2-7380-0068-1.

Close W.H., Mount L. E. and Brown D., 1978. The effect of plane nutrition and environmental temperature on the energy metabolism of the growing pig. The efficiency of the energy utilization for maintenance and growth. British Journal of Nutrition 40 : 433-438.

Close W.H., 1983. Interaction of environment on pig production. Guelph Porc Symposium April 12-13. Ontario.

Collin A., 2000. Effet de la température ambiante élevée sur le métabolisme énergétique du porcelet. Thèse de Doctorat.

Collin A., Van Milgen J., Dubois S. et Noblet J., 2000. Effet d'une température élevée sur les caractéristiques de la prise alimentaire et la production de chaleur de porcelets élevés en groupes. Thèse de Doctorat. 2000. 63. 163p.

Collin A., Van Milgen J. and Le Dividich., 2001. Modelling the effect of high, constant temperature on food intake in young growing pigs. Animal Science, 72: 519-527.

Curtis S. E., 1983. Environmental managements in animals agriculture. Ames : Iowa. University Press. 390p.

Dauncey M.J. and Ingram DL 1986. Acclimatization to warm or cold temperatures and the role of food intake. Journal of Theoretical Biology 11, 89-93.

Heath M ., 1984. The effects of rearing temperature on body conformation and organ size in young pigs. Comparative Biochemistry and physiology. 77B (1) : 63-72.

Cité par C.Textier, B.LA Farce, R. Granier. Journée Rech. Porcine en France, 1979, 153-164.

Giles L.R. et Black J.L., 1991. Voluntary Food Intake in Growing pigs at ambient Temperature above thermal neutral. In : Batterham E.S (editor), Manipulating Pig Production III, 162-165. Australian Pig Science Association, Institute of Animal Science, Attwood, Australia.

Gourdine J.L.B., 2006. Analyse des facteurs limitant les performances de reproduction des truies élevées sous un milieu tropicale humide. Thèse de Doctorat. Doctorat Génétique animale et adaptation. Sciences animales.

Heitman Jr.H. and Hughes E. H., 1949. The Effects of Air Temperature and Relative Humidity on the Physiological well being of Swine J Anim Sci. 8:171-181.

Hicks T. A., McGlone J. J., Whisnant C.S., Kattesh H.G. and Norman R.L., 1998. Behavioral, endocrine, immune, and performance measures for pigs exposed to acute stress. J. Anim. Sci. 76: 474-483.

Holmes C.W and Close W.H., 1977. The influence of Climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. In W. Haresign, H. Swan and D. Lewis (Eds), Nutrition and the Climatic environment, Butterworths, Studies in the agricultural and food sciences, London, 51-73.

Huynh T. T.T., Aarnink A. J. A., Verstegen M. W. A., Gerits W. J. J., Heetkamp M. J. W., Kemp B. and Canh T. T., 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. Journal of animal science ISSN 0021-8812. (83) 06, pp: 1385-1396.

Huynh T.T.T., 2005. Effects of increasing temperatures on pig's physiological changes at different relative humidities Thesis final. Doc.

Hyun Y., Ellis M., Riskowski G and Johnson R W., 1998. Growth performance of pigs subjected to multiple concurrent environmental stressors. J. Anim. Sci. 76:721-727.

Le Bellego L., Van Milgen J. and noblet J., 2002. Effect of high ambient température on protein and lipide deposition and energy utilization in growing pigs. British Society of Animal Science. J. Animal Science 75: 85-96.

Le Dividich J., Noblet J., Herpin P., Quiniou N., 1991. In Wiseman J.J., Valery M. A., Chadwick J.P (Eds.). Progress in Pig Science, Nottingham University Press, 1998, pp, 229-264.

Le Dividich J., Noblet J., Herpin P., Van Milgen J., Quiniou N., Wiseman J., Varley M.A and Chadwick J.P., 1998. Thermoregulation. In Progress in Pig Science, pp. 229-263, Nottingham University Press, Nottingham.

Massabie P., Granier R. et LE Dividich, J. 1996. Influence de la température ambiante sur les performances zootechniques du porc à l'engrais alimenté ad libitum. Journées. Rech. Porcine en France, 28, 189 - 194.

Morrison S.R., Bond T.E. and Heitman H. 1968. Effect of humidity on swine at high temperature. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 11, 526-528.

Morrow-Tesch L., McGlone J. J. and Salak-Johnson. 1994. Heat and social stress effects on pig immune measures. J. Anim. Sci. 72:2599-2609.

Mount L. E., 1974. Heat loss from Animal and man. Monteith, J,L. and Mount, L,E. (eds). Butterworth. London. pp : 426-439.

- Mount L.E., 1974. The Concept of Thermal Neutrality. IN : Monteith, J.L. and Mount, L, E. (eds), Proc of the 20th Easet School in Agricultural Science : Heat loss from Animal and man Butterworth, London. Pp 426-439. (Cité par Quiniou et al 2000).
- Noblet J. et Le Dividich J., 1982. Effect of environmental temperature and feeding level on energy balance traits of early weaned piglets. *Livestock Production science* 9 : 619-632.
- Noblet J., Fortune H., Shi X. S. and Dubois S., 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Animal. Sci*, 72 : 344-354.
- Noblet J., S.Schi X. and Dubois S., 1993. Energy cost of standing activity in sows. *Livest.Prod Sci*. 34, 127-136.
- Noblet J., Dourmad J.Y., Etienne M. and Le Dividich J., 1997. energy metabolism in pregnant sows and newborn pigs. *J. Anim . Sci*. 75, 2708-2714.
- Noblet J., Bernier J. F., Dubois S., Le cozler Y. and Van Milgen J., 1997. Effect of breed and body weight on components of heat production in growing pigs. *Proceedings of the 14th Symposium on Energy Metabolism of Farm Animals, new Castle*, 225-228.
- Quiniou N., Noblet J., Le Dividich J., Dubois S. et 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. 1998. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 319-324.
- Quiniou N. et Noblet J., 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *Journal of Animal science* 77: 2124-2134.
- Quiniou N., Dubois S. and Noblet J., 2000. Voluntary food intake and feeding behavior of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock production Science* 63: 245-253.
- Quiniou N., Renaudeau D., Collin A. et Noblet J., 2000. Conséquences de l'augmentation de la température ambiante sur les principaux mécanismes impliqués dans la thermorégulation des truies en lactation et des porcs en croissance. *INRA Prod. Anim*. 13 (4), 233-245.
- Quiniou N., Noblet J. et Dubois S., 2000. Feeding Behaviour of group housed growing pigs is affected by ambient temperature and body weight. *Livestock. Prod. Sci.*, 63, 245-253.
- Renaudeau D., 2001. Adaptation nutritionnelle et physiologique aux températures ambiantes élevées chez la truie en lactation. Thèse de Doctorat, Université Rennes 1.
- Renaudeau D., 2005. Effect 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. *Anim. Res*. 54: 43-54.
- Renaudeau D., Leclercq-Smekens, M. and Herin M., 2006. Differences in skin characteristics in European (Large White) and Caribbean (Creole) growing pigs with reference to thermoregulation. *Anim. Res*. 55 : 209-217

- Renaudeau D., Huc E. and Noblet J., 2007. Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85 :779-790.
- Renaudeau D., Gourdine J.L. et Anaïs, C., 2007. Effet du niveau de température sur l'acclimation à court et moyen terme du porc en croissance. *Journée. Recherche. Porcine.* 39 : 69-76.
- Renaudeau D., 2008. Effect of housing conditions (Clean vs. Dirty) on growth performance and feeding behaviour in growing pigs in a tropical Climate. *Trop Anim Health Prod.* 11250-008-9223-5. Springer Science + Business Media B.V.2008.
- Rinaldo D., 1989. Influence de la température ambiante sur le métabolisme énergétique et tissulaire et les besoins en lysine du porc en croissance, mise en évidence de l'intérêt d'une température élevée. Thèse de doctorat. Université de Rennes I.
- Rinaldo D. et Le Dividich J., 1991a. Assessment of optimal temperature for performance and chemical body composition of growing pigs. *Livestock production science* 29: 61-75.
- Rinaldo D. et Le Dividich J., 1991b. Effects of warm exposure on adipose tissue and muscle metabolism in growing pigs. *Comparative biochemistry and physiology* 100(A): 995-1002.
- Rinaldo D., et Le Dividich J., 1991c. Influence de la température ambiante sur les performances de croissance du porc. *INRA. Prod. Anim.* 4(1), 57-65
- Stanley E., Curtis S. E., 1970. Environmental Thermoregulatory Interactions and Neonatal Piglet survival. University of Missouri –colombia. Published by American Society of Animal Science. *J. Anim. Sci.* (31). 3: 576-587.
- Van Milgen J., Noblet J., et Dubois S., 2000. Modélisation des composantes de la dépense énergétique chez le porc.. *Jour. Rech.Porcine Fr.* 32,235-240.
- Wathes C., Howard M.K. and Webster A.J. F., 1986. The survival of *Escherichia Coli* in an aerosol at air temperatures of 15 and 30°C and a range of humidities. Department of Animal Husbandry, University of Bristol, Langford, Bristol BS18 7 DU. *J. Hyg., Cam.* (1986) 97, 489-496.
- Xin H., 1999. Assessing Swine Thermal Comfort by Image Analysis of Postural Behaviors. Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Iowa State University, Ames 50011-3080. *J. Anim. Sci.* 77:1-9.