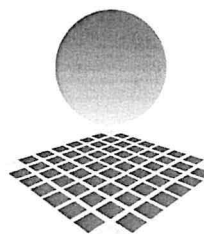


DK542465

BA-TH/1489



Unité de Service Enseignement
et Formation en Elevage
Campus de Baillarguet
TA A-71 / B
34 398 MONTPELLIER Cedex 5



UNIVERSITÉ MONTPELLIER II
UFR Sciences
Place Eugène Bataillon
34 095 MONTPELLIER Cedex 5

MASTER 2EME ANNEE
BIOLOGIE GEOSCIENCES AGRORESSOURCES
ET ENVIRONNEMENT
SPECIALITE PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

RAPPORT DE STAGE
INFLUENCE DES VARIATIONS
CLIMATIQUES ET DU TYPE
GENETIQUE SUR LES REPONSES
PHYSIOLOGIQUES DES TRUIES
ALLAITANTES ELEVEES EN
CONDITIONS TROPICALES HUMIDES
(GUADELOUPE)

Présenté par

Sandrine DELANNOY

Réalisé sous la direction de : Gourdine Jean Luc

Organisme et pays : INRA ANTILLES GUYANE (Guadeloupe)

Période du stage : du 09/04/07 au 14/09/07

Date de soutenance : 02/10/07

Année universitaire 2006-2007



**MASTER 2EME ANNEE
BIOLOGIE GEOSCIENCES AGRORESSOURCES
ET ENVIRONNEMENT
SPECIALITE PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

RAPPORT DE STAGE

**INFLUENCE DES VARIATIONS
CLIMATIQUES ET DU TYPE
GENETIQUE SUR LES REPONSES
PHYSIOLOGIQUES DES TRUIES
ALLAITANTES ELEVEES EN
CONDITIONS TROPICALES HUMIDES
(GUADELOUPE)**

Présenté par

Sandrine DELANNOY

Réalisé sous la direction de : Gourdine Jean Luc

Organisme et pays : INRA ANTILLES GUYANE (Guadeloupe)

Période du stage : du 09/04/07 au 14/09/07

Date de soutenance : 02/10/07

Année universitaire 2006-2007

RESUME ET MOTS CLES

INFLUENCE DES VARIATIONS CLIMATIQUES ET DU TYPE GENETIQUE SUR LES REPONSES PHYSIOLOGIQUES DES TRUIES ALLAITANTES ELEVEES EN CONDITIONS TROPICALES HUMIDES (GUADELOUPE)

Le travail réalisé a pour objectif de décrire les réponses physiologiques de la truie allaitante élevée en conditions tropicales. Les effets de la saison (chaude vs. fraîche), du type génétique (Créole, CR vs. Large White, LW), ainsi que l'effet des variations nycthémérales de la température ambiante sur les paramètres physiologiques (rythme respiratoire (RR), température rectale (TR), température du dos (Tdos), du flanc (Tflanc) et de la mamelle (Tmam)), ont été étudiés sur un total de 63 lactations portant sur 53 truies (13 truies CR et 40 LW). Une étude de répétabilité-reproductibilité du RR a été effectuée par 3 mêmes expérimentateurs sur 2 bandes (un total de 1 458 comptages) afin de déterminer la précision de la mesure. A la mi-lactation, pendant 3 journées complètes, des mesures physiologiques ont été réalisées toutes les heures sur 32 animaux dont 5 Créoles : soit 4 608 mesures.

Les saisons fraîche et chaude ont respectivement des valeurs de température moyenne de 24,5°C et 26,0°C, ainsi qu'une hygrométrie moyenne de 73,5% et 68,8%. Dans nos conditions expérimentales, les cinétiques des températures cutanées, du RR et de la TR montrent une augmentation avec la température ambiante avec un décalage au niveau des maxima (Tflanc : - 1 heure pour les truies CR, + 5 heures pour les LW ; RR : + 4 heures pour les CR, + 9 heures pour les LW ; TR : + 8 heures pour les CR et les LW). Bien que nos résultats soient préliminaires, ils sont originaux, car, à notre connaissance, il n'existe pas de résultats disponibles dans la littérature chez la truie en lactation. Un effet saison est obtenu sur la TR, le RR et les gradients de température ($P < 0,05$) indiquant une accentuation du stress thermique en saison chaude (+ 0,3 °C pour les gradients, + 12 ventilations/min pour le RR et + 0,3°C pour la TR). Durant la lactation, les paramètres physiologiques présentent une évolution en cloche centrée vers 13/16 jours.

Un effet significatif du type génétique ($P < 0,05$) a été obtenu sur les gradients TR et températures cutanées, Tflanc, Tmam et le RR. Comparativement aux LW, les truies CR ont généralement des valeurs de paramètres physiologiques significativement inférieures et des gradients TR- températures cutanées supérieurs (+ 0,3°C pour gradient TR- Tdos +0,6°C pour gradient TR- Tflanc, + 0,4°C pour gradient TR- Tmam, - 0,5°C pour Tflanc, - 0,3°C pour Tmam, - 9 ventilations/min pour RR). Les relations entre les performances de la truie en lactation et les réponses physiologiques montrent que le RR, la Tflanc et la Tmam sont corrélés positivement ($P < 0,05$) avec le gain moyen quotidien de la portée. Le RR est aussi corrélé positivement avec le poids à la mise bas et la consommation journalière. Ces 3 paramètres ainsi que Tdos sont corrélés négativement avec l'épaisseur de lard dorsal à la mise bas.

Les résultats concernant la précision de la mesure du RR suggèrent que la méthode n'est pas répétable au sens strict de la définition de ce paramètre pour l'étude de la qualité des instruments de mesures. Néanmoins chez le porc, le RR demeure le seul indicateur des pertes de chaleur par voie latente. Il est donc important de maintenir cette mesure.

En conclusion, les truies allaitantes ont des réponses physiologiques différentes selon la saison ou leur type génétique. Ces réponses peuvent être influencées par la température, le rythme circadien ou le stade de lactation.

Mots clés : Truie, lactation, thermorégulation, Créole, Large White, climat tropical humide, type génétique, rythme circadien, Guadeloupe.

ABSTRACT AND KEYWORDS

INFLUENCE OF CLIMATIC VARIATIONS AND BREED ON PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF SOWS IN A HUMID TROPICAL CLIMATE

The aim of this study was to describe the physiological responses of lactating sow reared in a tropical humid climate. The effect of season (hot vs. warm), breed (Creole, CR vs. Large White, LW) and the nycthemeral variation of ambient temperature on physiological responses (respiratory rate (RR), rectal (RT), back (BT), flank (FT) and mammary (MT) temperatures) were studied on a total of 63 lactations on 53 sows (13 CR and 40 LW). In order to determinate the accuracy of RR measurement, 3 same experimenters each performed a count by animal and by timetable on 2 groups (a total of 1,458 counts). In the middle of the lactation, three days of measurements were performed every hour on 3 batches (32 sows with 5 CR : 4,608 measurements were recorded).

Warm and hot season have respectively an average ambient temperature of 24.5°C and 26.0°C, and an average relative humidity of 73.5% and 68.8%. In our experimental conditions, kinetics of cutaneous temperature, RR and TR show an increase with ambient temperature but with a delayed maxima for physiological parameters (Tflanc: - 1 hour for CR sows, + 5 hours for LW; RR: + 4 hours for CR, + 9 hours for LW; TR: + 8 hours for CR and LW). Although being preliminary, our results are original as to our knowledge no bibliography exists on this topic. Season effect was found ($P < 0.05$) on RT, RR and gradients of temperature, showing the additional suffering during hot season (+ 0.3°C for gradients, + 12 ventilation/min for RR and + 0.3°C for TR). Physiological parameters shows a curve looking like a bell centred on 13/16 days of lactation.

Gradients between TR and skin temperature, Tflanc, Tmam and RR showed a breed effect ($P < 0.05$). Physiological parameters were generally lower in CR than in LW sows (+ 0.3°C for TR- Tdos gradient, +0.6°C for TR- Tflanc gradient, + 0.4°C for TR- Tmam gradient, - 0.5°C for Tflanc, - 0.3°C for Tmam, - 9 ventilation/min for RR). The relationship between lactating performance and physiological responses showed that RR, Tflanc and Tmam are positively correlated with daily gain of litter ($P < 0.05$). RR is also positively correlated with daily food intake and body weight at farrowing. These 3 parameters and Tdos are negatively correlated with backfat thickness at farrowing.

The methodology used for RR measurements shows that these measurements are not repeatable in the strict sense of test for measurements systems. Nevertheless, in pig, RR is the only indicator of heat loss by evaporative way. Therefore, it is important to keep this measurement.

In conclusion, lactating sows have different physiological responses depending on season or breed. These responses could be modified with circadian rhythm, ambient temperature and lactation stage.

Keywords: sow, lactation, thermoregulation, Creole, Large White, tropical humid climate, breed, circadian rhythm, Guadeloupe.

LISTE DES ABREVIATIONS

ACTH :	Adrénocorticotrope Hormone ou corticotrophine ou hormone adrénocorticotrope
AV :	Part de la variation due à la reproductibilité de la mesure dans la variation totale de la mesure
CR :	Créole
EV:	Part de la variation due à la répétabilité de la mesure dans la variation totale de la mesure
GMQ:	Gain Moyen Quotidien (de la portée dans ce rapport)
H:	Heure
INRA:	Institut National de la Recherche Agronomique
ISO:	Intervalle Sevrage Oestrus
J	Jour de la mise bas
LW :	Large White
PA:	Part de la variation due à la truie dans la variation totale de la mesure
PC :	Production de chaleur
R&R:	Paramètre répétabilité-reproductibilité
RR:	Rythme Respiratoire
T3:	Triiodothyronine
T4:	Thyroxine
TCe :	Température Critique d'Evaporation
TCi :	Température Critique Inférieure
TCs :	Température Critique Supérieure
Tdos:	Température du dos
Tflanc:	Température du flanc
Tmam:	Température de la mamelle
TR:	Température rectale
UEPSA:	Unité expérimentale de Production et de Santé Animale
VPM:	Ventilation Par Minute
Vs:	Versus

SOMMAIRE

RESUME ET MOTS CLES	P4
ABSTRACT AND KEYWORDS	P5
ABREVIATIONS	P6
SOMMAIRE	P7
LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES	P11
REMERCIEMENTS	P13
INTRODUCTION	P14
I. RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE DES CONNAISSANCES	P15
A. La thermorégulation chez le porc	P15
B. Les moyens pour mesurer la thermorégulation	P17
1) Méthodes directes	P17
<i>a) Les paramètres de dissipation de chaleur</i>	P17
1. <i>Mesure de la température cutanée</i>	P17
2. <i>Mesure du rythme respiratoire</i>	P17
<i>b) Les paramètres globaux</i>	P18
1. <i>Mesure de la température interne</i>	P18
2. <i>Mesure du rythme cardiaque et de ses variations</i>	P18
2) Mesures indirectes	P19
<i>a) Les paramètres de production de chaleur</i>	P19
1. <i>Mesure de l'ingestion</i>	P19
2. <i>Mesures des productions laitières</i>	P19
<i>b) Les paramètres globaux : Observation des activités</i>	P19

3) Méthodes invasives	P20
<i>a) Les paramètres de production de chaleur : Production de chaleur globale</i>	P20
<i>b) Les paramètres globaux : Mesure de la composition sanguine</i>	P20
C. Les réponses physiologiques de la truie allaitante	P20
1) Les mécanismes vasculaires	P20
2) Réponses comportementales	P21
3) Réponses cellulaires	P22
4) Les mécanismes d'évaporation et saturation des réponses	P23
D. Les solutions pour atténuer le chaud	P24
1) Agir sur l'environnement	P24
<i>a) Ventiler l'animal</i>	P24
<i>b) Aspersions des animaux</i>	P25
<i>c) Aspersions du bâtiment</i>	P25
<i>d) Refroidissement de l'air</i>	P25
<i>e) Refroidissement du sol</i>	P25
2) Agir sur l'alimentation	P26
<i>a) Changer la taille et le nombre des repas</i>	P26
<i>b) Changer la composition</i>	P26
3) Agir sur l'animal	P26
<i>a) Le croisement</i>	P27
<i>b) La sélection génétique</i>	P27
1. La sélection sur critères de production	P27
2. La sélection sur critères de production et sur critères physiologiques	P27

II. MATERIEL ET METHODES	P28
Objectifs	P28
A. Dispositif expérimental et conduite des animaux	P28
B. Mesures physiologiques réalisées	P29
1) Rythme respiratoire	P29
2) Températures corporelles	P29
3) Mesures sur 24 heures	P30
C. Calculs et analyses statistiques	P30
III. RESULTATS	P31
A. Paramètres climatiques	P31
B. Effet de l'heure sur les réponses physiologiques de la truie allaitante: mesures sur 24 heures	P32
C. Effet du stade de lactation sur les réponses physiologiques de la truie allaitante	P36
D. Effet de la saison et du type génétique sur les réponses physiologiques moyennes de la truie allaitante	P41
E. Effet de la température ambiante sur les réponses physiologiques moyennes de la truie allaitante	P42
F. Relation entre les performances moyennes de la truie en lactation et ses réponses physiologiques moyennes	P43
G. Répétabilité et reproductivité du rythme respiratoire (effet expérimentateur et effet animal)	P45

IV. DISCUSSION	P46
A. Effet des variations climatiques	P46
1) Variation nycthémérale des réponses physiologiques de la truie allaitante	P46
2) Effet du stade de lactation sur les réponses physiologiques de la truie allaitante	P47
3) Effet de la saison et de la température ambiante sur les réponses physiologiques moyennes de la truie allaitante	P47
4) Relation entre les performances moyennes de la truie en lactation et ses réponses physiologiques moyennes	P48
B. Effet du type génétique sur les réponses physiologiques de la truie allaitante	P49
CONCLUSION	P50
BIBLIOGRAPHIE	P51

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Tableau 1. Effet de la température ambiante sur les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes T3 et T4	P22
Tableau 2. Caractéristiques moyennes des saisons	P31
Tableau 3. Effets du type génétique et de la saison sur les réponses physiologiques moyennes des truies en lactation	P41
Tableau 4. Performances moyennes des truies en lactation	P43
Tableau 5. Corrélations entre les paramètres physiologiques moyens et les performances en lactation des truies	P44
Tableau 6. Reproductibilité et répétabilité de la mesure du rythme respiratoire des truies en lactation	P45
Figure 1. Les échanges thermiques du porc avec le milieu ambiant	P15
Figure 2. Influence de la température ambiante sur la production totale de chaleur, les pertes de chaleur par voie latente, les pertes par voie sensible et la température rectale chez la truie allaitante	P16
Figure 3. Effet de la température ambiante sur la température du dos, des flancs, des mamelles et du rectum de la truie allaitante	P21
Figure 4. Effet de la température ambiante sur le rythme respiratoire de la truie allaitante	P23
Figure 5. Effet de la température ambiante sur la température rectale de la truie allaitante	P24
Figure 6. Variations journalières de la température ambiante et de l'humidité relative	P32
Figure 7. Variations journalières de la température ambiante et de la température du dos de la truie allaitante en fonction du type génétique	P32
Figure 8. Variations journalières de la température ambiante et de la température du flanc de la truie allaitante en fonction du type génétique	P33
Figure 9. Variations journalières de la température ambiante et de la température de la mamelle de la truie allaitante en fonction du type génétique	P34

- Figure 10. Variations journalières de la température ambiante et du rythme respiratoire de la truie allaitante en fonction du type génétique P34
- Figure 11. Variations journalières de la température ambiante et de la température rectale de la truie allaitante en fonction du type génétique P35
- Figure 12. Effets du stade de lactation sur la température du dos des truies Créoles et Large White en saison fraîche et en saison chaude P36
- Figure 13. Effets du stade de lactation sur la température du flanc des truies Créoles et Large White en saison fraîche et en saison chaude P37
- Figure 14. Effets du stade de lactation sur la température de la glande mammaire des truies Créoles et Large White en lactation, en saison fraîche et en saison chaude P38
- Figure 15. Effets du stade de lactation sur le rythme respiratoire des truies Créoles et Large White en saison chaude en saison fraîche P39
- Figure 16. Effets du stade de lactation sur la température rectale des truies Créoles et Large White en saison fraîche en saison chaude P40
- Figure 17. Effet de la température ambiante sur les températures corporelles et le rythme respiratoire des truies Créoles et Large White en lactation P42

REMERCIEMENTS

Je remercie Monsieur Harry Archimède, directeur de l'Unité de Recherches Zootechniques du Centre INRA ANTILLES GUYANE de Guadeloupe de m'avoir acceptée au sein de son unité de recherches.

Je remercie mon maître de stage Jean Luc Gourdine de m'avoir proposé ce très intéressant stage, ainsi que de m'avoir transmis un peu de son savoir par ses précieux conseils et lui suis reconnaissante de sa gentillesse durant ces cinq mois de stage.

Je remercie le chercheur David Renaudeau pour son aide, son implication dans ma formation et ses remarques pertinentes lors de l'élaboration du protocole expérimental 24h et de la discussion des résultats obtenus.

Je remercie mon professeur Monsieur Christian Meyer et mon tuteur Monsieur Jean Paul Poivey de m'avoir aidé à la préparation de ce stage et de leur bienveillance dans la correction du plan et du manuscrit.

Je remercie également le thésard Bruno Alexander N. Silva de m'avoir permis de participer aux expériences en cours dans le cadre de sa thèse, pour son assistance efficace dans la prise de mesures de mes propres manipulations et surtout pour sa constante bonne humeur.

Je remercie les chercheurs Nathalie Mandonnet, Maurice Mahieu et Félix Quesnais, les thésards Xavier Xandé, Audrey Fanchone et Séverine D'Alexis, l'ensemble des stagiaires ainsi que Frédéric Pommier et Frédéric Péricarpin dit « Chickly » de l'équipe moutons pour leurs aides précieuses au cours de la réalisation des mesures sur 24 heures.

Je remercie l'équipe de l'URZ et toute l'équipe porc de l'UEPSA ainsi que sa directrice Caroline Anaïs et sa secrétaire Dominique Romanus pour leur accueil amical ayant permis un excellent déroulement de mon stage.

INTRODUCTION

Les besoins de production alimentaire ont considérablement augmenté et ne cessent de s'accroître avec l'augmentation de population humaine mondiale. Le domaine des productions animales est en plein essor : c'est notamment le cas de celui de la viande porcine qui bénéficie de la possibilité de sélectionner des animaux à forte vitesse de croissance et à forte prolificité (IFIP - Institut du Porc, www.itp.asso.fr). Les zones géographiques où la production porcine connaît un développement important sont les régions à forte croissance démographique et développement économique. La majorité de ces zones sont soumises à des climats chauds (Delgado *et al.*, 1999). Elles utilisent généralement des structures de type bâtiment ouvert ou semi ouvert qui soumettent directement l'animal aux aléas climatiques. Le développement de la production porcine dans les pays émergents se fait essentiellement avec des génotypes exotiques importés des pays tempérés (Europe et Amérique du Nord). Or, ces génotypes améliorés en zones tempérées n'expriment pas tout leur potentiel de production dans les climats chauds et/ou plus humides (Gourdine, 2006).

En effet, le climat est l'un des principaux facteurs qui affectent les performances du porc. Un des grands enjeux actuels est de trouver des solutions permettant de concilier forte production et adaptation avec les contraintes liées aux environnements chauds et/ou humides. Parmi tous les stades physiologiques porcins, la truie allaitante possède le statut où les animaux souffrent le plus de la chaleur, du fait de sa forte production de chaleur métabolique. Quelques résultats sur l'effet de la chaleur sur les réponses physiologiques de la truie allaitante sont disponibles dans la littérature. Cependant, la plupart ont été réalisés en chambre climatique (Laspiur et Trottier, 2001; Lorsch *et al.*, 1991; Quiniou et Noblet, 1999) alors que peu d'études ont été effectuées en conditions tropicales humides (Gourdine *et al.*, 2006c; Silva *et al.*, 2007).

L'INRA Antilles Guyane s'est doté dans sa partie élevage porcine, d'un génotype local (le porc Créole) qu'il compare avec un génotype exotique sélectionné (le porc Large White) afin de comprendre les mécanismes impliqués dans les processus de tolérance à la chaleur. Les activités de l'URZ se sont orientées sur des travaux portant sur la génétique de l'adaptation à la chaleur pour explorer la possibilité de sélectionner des animaux mieux adaptés au climat (http://www.antilles.inra.fr/les_recherches/unite_de_recherche_en_productions_animales). L'identification des caractères d'adaptation biologiquement pertinents est une première étape. La seconde consisterait à établir des critères d'évaluation et de quantification de l'adaptation, notamment des critères de sélection facilement mesurables de manière routinière dans les élevages. Des mesures simples (par exemple : la température rectale, la température cutanée, le rythme respiratoire, la consommation alimentaire, ...) sont effectuées dans le cadre global de ces recherches.

Le travail réalisé au cours de ce stage a pour principal objectif de décrire les réponses physiologiques de la truie allaitante élevée en conditions tropicales humides et de fournir des éléments de réponses sur la pertinence des paramètres physiologiques mesurés pour les travaux de génétique de l'adaptation au chaud.

I. RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE DES CONNAISSANCES

Il convient de rappeler quelques notions de thermorégulation chez le porc en général et chez la truie allaitante en particulier, afin de mieux cerner la problématique de ce stage et le choix des expériences réalisées.

A. La thermorégulation chez le porc

Le porc est un animal homéotherme, il maintient sa température interne entre des valeurs limites proches (environ 38,6°C pour la truie allaitante selon Quiniou et Noblet (1999)). En condition de thermoneutralité, sa température interne reste quasi-constante et indépendante de la température ambiante. Ce maintien de la température interne résulte de l'équilibre entre la production de chaleur (thermogenèse) et la déperdition (thermolyse) qui est assuré grâce aux mécanismes comportementaux et / ou physiologiques mis en place par l'animal.

On peut décomposer la thermogenèse en trois composantes : la production de chaleur (PC) à jeûn, la PC liée à l'alimentation (digestion, extra chaleur, mastication,...) et la PC liée à l'activité physique. Ces trois composantes représentent respectivement environ 56, 40 et 4 % de la PC totale chez la truie allaitante selon Gourdine (2006). La thermolyse dissipe la chaleur produite en excès via quatre processus (Figure 1). La radiation réémet la chaleur sous forme de rayonnement; la conduction est un échange thermique entre l'animal et la surface de contact; la convection correspond à un échange entre l'animal avec l'air ambiant et l'évaporation utilise l'énergie produite excédentaire pour vaporiser de l'eau dans l'air ambiant et ainsi refroidir le corps de l'animal. Les trois premiers processus précédemment cités sont rassemblés sous le terme de pertes de chaleur par la voie sensible, quant à l'évaporation elle est appelée perte de chaleur par la voie latente.

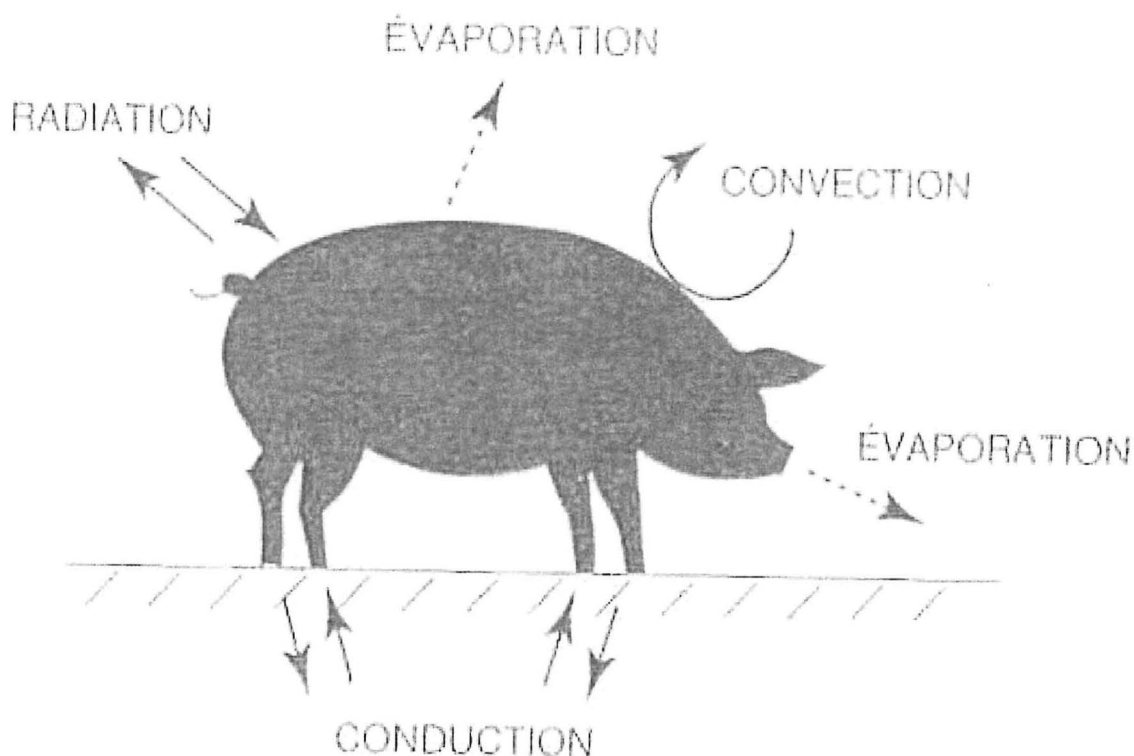


Figure 1. Les échanges thermiques du porc avec le milieu ambiant (d'après Larrouy *et al.*, 1995)

La zone de thermoneutralité (Figure 2) peut être définie comme l'intervalle dans lequel la dépense énergétique de l'animal est minimale et sa température interne maintenue constante (Cruz et Barbosa, 2006). Elle est bornée par la température critique inférieure (TCi) et par la température critique supérieure (TCs) et elle comprend la zone de confort thermique qui se situe entre la TCi et la température critique d'évaporation (TCe). La TCe se définit comme la température à partir de laquelle les pertes de la chaleur par évaporation augmentent (Gourdine, 2006; Quiniou et Noblet, 1999). Ces températures, TCi, TCe et TCs varient en fonction d'interactions complexes entre les conditions environnementales telles que l'humidité, la vitesse de l'air, le type d'alimentation et des facteurs liés à l'animal comme l'âge, le poids, le type génétique. L'importance relative des mécanismes intervenants dans la thermolyse dépend de la température ambiante. Ainsi, en dessous de la TCi, l'animal doit produire de la chaleur pour éviter l'hypothermie. Lorsque la température ambiante est située entre la TCi et la TCe, la thermolyse s'effectue majoritairement par la voie sensible. Entre la TCe et la TCs, les pertes par voie latente se mettent en place, elles augmentent et deviennent le principal moyen de dissipation de la chaleur. Au-delà de la TCs, les mécanismes de thermolyse sont saturés. Le corps ne parvient plus à se réguler et la température interne augmente : c'est l'hyperthermie. (Gourdine, 2006; Larrouy *et al.*, 1995).

La truie allaitante est au stade physiologique le plus sensible à la chaleur, du fait de sa forte production de chaleur métabolique liée à sa forte production de lait et à son niveau d'ingestion élevé. En effet, la température critique inférieure (TCi) de la truie allaitante est plus faible (< 18°C, (Quiniou et Noblet, 1999)) par rapport à la truie gestante (20-23°C, (Noblet *et al.*, 1989), au porc en croissance (23-24°C, (Quiniou *et al.*, 2000a) ou au jeune porcelet (30-34°C, (Le Dividich *et al.*, 1998). La TCe de la truie allaitante est comprise entre 20°C et 22°C et la TCs se situe autour de 25°C (Quiniou *et al.*, 2000b).

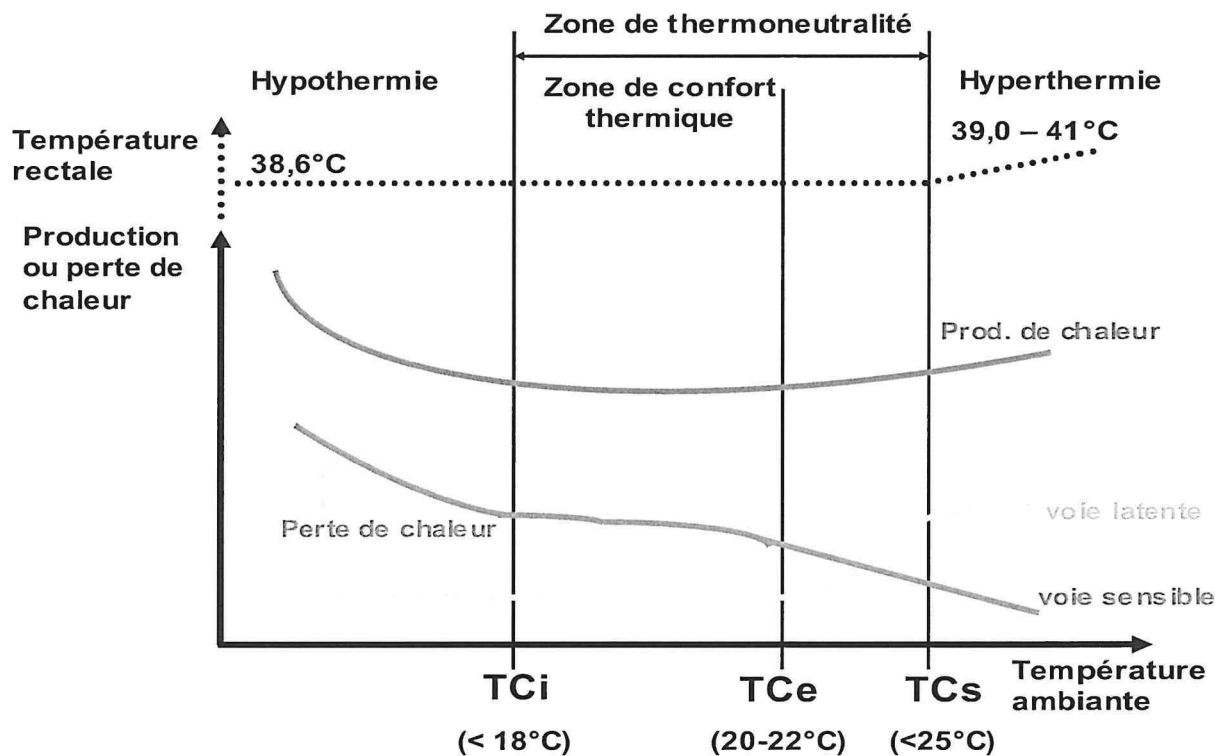


Figure 2. Influence de la température ambiante sur la production totale de chaleur, les pertes de chaleur par voie latente, les pertes par voie sensible et la température rectale chez la truie allaitante (adapté de Renaudeau *et al.*, 2004).

Face à la chaleur, les porcs peuvent mettre en place des réponses comportementales, physiologiques ou cellulaires. Les détails de ces réponses pour la truie allaitante seront exposés ultérieurement (voir sous-chapitre I.C).

B. Les moyens pour mesurer la thermorégulation

Au cours de ce stage, certaines mesures ont été effectuées pour évaluer la fonction thermorégulatrice de la truie en lactation. Ce sous-chapitre est destiné à présenter de manière succincte les principaux moyens cités dans la bibliographie pour mesurer les réponses physiologiques des animaux d'élevage. Ces principales méthodes ont été répertoriées et critiquées par rapport à leur utilisation en routine. On distinguera les mesures directes (donnant une idée de la thermorégulation instantanée), les mesures indirectes et les mesures invasives.

1) Méthodes directes

a) Les paramètres de dissipation de chaleur

1. Mesure de la température cutanée

Comme décrit précédemment (sous-chapitre I A), les animaux échangent thermiquement avec l'environnement via la voie sensible. En évaluant la température cutanée en différents points corporels, il est possible de spéculer sur les déperditions de chaleur en fonction du gradient entre température corporelle et température ambiante. Les sites privilégiés sont le milieu du dos, des flancs, des mamelles (pour les femelles allaitantes), le cou et les pattes. Les instruments de mesure généralement utilisés sont des thermomètres lasers ou des thermomètres digitaux. Cette méthode a été utilisée notamment sur des chèvres (Al-Tamimi, 2007), des porcs en croissance (Huynh *et al.*, 2005; Renaudeau *et al.*, 2006) et des truies allaitantes (Quiniou et Noblet, 1999; Silva *et al.*, 2007). Elle présente l'avantage d'être facile d'utilisation, peu dérangement pour les animaux, économe, applicable en routine dans une exploitation et ne nécessite pas d'habituation préalable de l'animal ou de formation de l'utilisateur.

2. Mesure du rythme respiratoire

Le rythme respiratoire est un indicateur de la perte de la chaleur par voie latente. L'évaporation due à la sudation ne concernant pas les porcs qui possèdent très peu de glandes sudoripares, on ne parlera que des pertes par voie respiratoire. On estime que plus un animal effectue de ventilations par intervalle de temps, plus il perd de chaleur par évaporation. Le rythme respiratoire des animaux d'élevage se mesure généralement en comptant le nombre de mouvements inspiratoires de la cage thoracique sur une durée d'une minute. Cette estimation est faite visuellement à l'aide d'un chronomètre. Ainsi, la mesure du rythme respiratoire est simple, peu onéreuse et ne dérange pas les animaux, car ils ne sont pas manipulés. Kamada et Notsuki (1987) ont trouvé une forte liaison linéaire entre la mesure du rythme respiratoire et l'évaporation d'eau dans le tractus respiratoire ($\text{Evaporation d'eau, g/kg}^{0,75}/\text{h} = 0,68 + 0,0201 \times \text{Rythme respiratoire, ventilations/min, } R^2 = 0,88$). Néanmoins, en raison de la nature de la mesure et de la méthode utilisée (comptage visuel), les possibles variations de la mesure, propres à l'animal ou à l'expérimentateur sont à vérifier avant de valider la possibilité de mise en routine de cette méthode.

b) Les paramètres globaux

1. Mesure de la température interne

Résultat de tous les processus mis en place dans la thermorégulation, la température interne est un bon indicateur de la présence d'un stress thermique. Chez la truie allaitante, le stress thermique débute physiologiquement quand elle ne parvient plus à se réguler, c'est-à-dire lorsque la température rectale de la truie augmente ; et zootechniquement lorsque les performances de la truie sont affectées, c'est-à-dire lorsque la truie diminue son ingestion. Chez l'humain, les principaux sites sont l'aisselle, le front, la bouche, l'oreille et le rectum. Mais la constante mobilité des animaux rend difficilement réalisable les mesures au niveau de l'aisselle et du front. Au niveau de l'oreille, le risque de perforation du tympan en cas de mouvement est grand. La température buccale est généralement évitée, car il y a risque de morsure du manipulateur ou d'ingestion du thermomètre. Pour toutes ces raisons, chez les animaux et notamment chez le porc, on évalue classiquement la température interne par prise de la température rectale. Un thermomètre digital classique est couramment utilisé (exemple : chez la vache (Bouraoui *et al.*, 2002), la chèvre (Al-Tamimi, 2007), le mouton (Marai *et al.*, 2007) ou la truie allaitante (Gourdine *et al.*, 2006c)). Tout comme la prise de température cutanée, elle est simple, économique, peu perturbante pour les animaux et réalisable en routine dans un élevage.

2. Mesure du rythme cardiaque et de ses variations

Les variations du rythme cardiaque sont des indications d'un stress, qu'il soit aigu ou chronique (voir la revue de Von Borell *et al.*, 2007). Un animal qui ne souffre pas de stress se caractérise par des intervalles irréguliers entre deux battements cardiaques. La régularisation de ces intervalles est l'indication d'un stress chronique. De plus, un stress aigu entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque. Dans le cas du stress thermique, cette augmentation implique une élévation du flux sanguin au niveau cutané afin de favoriser les pertes de chaleur par voie sensible. Le rythme cardiaque a été mesuré sur la plupart des animaux de production (Von Borell *et al.*, 2007). Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas de résultats disponibles chez la truie allaitante. Généralement chez les porcs deux méthodes sont utilisées. La première méthode est invasive et nécessite l'installation d'une électrode intra cardiaque. La seconde méthode utilise le même matériel que les sportifs humains : une électrode externe enduite de gel échographique est installée au niveau du poitrail de l'animal. Elle est maintenue par une fine ceinture élastique. Une montre enregistreuse est placée à proximité de l'animal et recueille les données qui seront ultérieurement transférées dans un ordinateur. Les mesures sont généralement faciles à réaliser si on s'assure au préalable d'une période d'adaptation des animaux au matériel.

2) Mesures indirectes

a) Les paramètres de production de chaleur

1. Mesure de l'ingestion

L'ingestion peut être considérée comme une mesure indirecte de la production de chaleur (ingestion d'aliment) ou de la déperdition (ingestion d'eau). Chez la truie allaitante, la production de chaleur associée à l'utilisation de l'aliment représente environ plus de 40% de la production de chaleur totale (Gourdine, 2006). On peut estimer la quantité d'aliment ingérée en pesant tous les jours l'aliment donné et refusé, et le nombre et la taille des repas grâce à des auges dites de contraintes reliées à un ordinateur (Dourmad, 1993). Cette technique est fortement liée au domaine porcin où l'aliment est normalisé. Bien réalisée, elle ne perturbe pas l'animal, peut se faire en routine et ne nécessite pas de formation préalable. L'ingestion d'eau se fait principalement au travers de mesures comportementales (durée, nombre de visites), mais, à notre connaissance, il existe peu de données estimant les quantités d'eau utilisées ou consommées par l'animal (Peng *et al.*, 2007).

2. Mesures des productions laitières

Bien que la production de lait et l'ingestion soient intimement liées de part l'utilisation des nutriments, la production de lait prend également en compte la production de chaleur liée à la mobilisation des réserves corporelles. A titre indicatif, la production de chaleur due à l'utilisation de l'énergie des réserves corporelles peut aller au-delà de 15% de la production de chaleur totale (Gourdine, 2006). On peut estimer la production de lait de la truie via la croissance de la portée (chez la truie : Noblet et Etienne, 1989), ou bien par prélèvement direct (chez la vache : Bouraoui *et al.*, 2002).

b) Les paramètres globaux : Observation des activités

Les comportements des animaux influencent la thermorégulation via la production ou déperdition de chaleur qu'ils provoquent. Par exemple, l'ingestion d'aliment provoque via la digestion une forte production de chaleur. A l'inverse, l'humidification de la peau via les urines ou l'eau de boisson favorise les déperditions. L'observation des activités des animaux a été utilisée notamment chez les bovins (Hahn *et al.*, 1993). Ces observations doivent se faire sur de longues plages horaires (24 heures le plus souvent). Elles peuvent s'effectuer soit par des observations directes, soit par enregistrement d'une vidéo. Il est nécessaire que les animaux soient dans une surface limitée (champ de la caméra ou champ visuel du manipulateur). Les mesures comportementales par observation directe de l'expérimentateur peuvent nécessiter beaucoup de personnel. L'enregistrement vidéo présente l'avantage de ne pas stresser l'animal par la présence des manipulateurs. De plus, le relevé peut se faire en temps accéléré et un retour en arrière pour vérifier que rien n'a été oublié est toujours possible.

3) Méthodes invasives

a) Les paramètres de production de chaleur : Production de chaleur globale

La production de chaleur peut être mesurée expérimentalement sur un animal. Son estimation est basée sur des mesures de quantités d'oxygène consommées et de quantités de dioxyde de carbone rejetées réalisées en chambre respiratoire (Van Milgen *et al.*, 1997). Cette méthode nécessite un appareillage coûteux et s'avère très complexe. Chez la truie allaitante, du fait de la présence nécessaire des porcelets, l'estimation de la production de chaleur ne peut être qu'indirecte (Thiel *et al.*, 2004; Verstegen *et al.*, 1985).

b) Les paramètres globaux : Mesure de la composition sanguine

La variation de la composition sanguine peut être un indicateur de stress notamment de stress thermique. En effet, l'exposition des animaux aux températures ambiantes élevées provoque une série de changements dans les fonctions biologiques de l'animal, notamment dans les sécrétions hormonales, les réactions enzymatiques et les concentrations de métabolites sanguins (Marai *et al.*, 2007). Barb *et al.*, (1991) observent une augmentation de la prolactine des truies allaitantes, une diminution de fréquence du pic de LH, mais une augmentation de son amplitude lorsque la température ambiante augmente. La prise de sang se fait à la jugulaire à l'aide de seringues, d'aiguilles et de tubes collecteurs. Elle nécessite l'immobilisation de l'animal. Cette technique est invasive et donc source de stress pour l'animal. Elle est cependant possible à mettre en place en routine chez les truies allaitantes.

C. Les réponses des truies allaitantes

Face à la chaleur, les truies allaitantes ont différentes réponses. Certaines de ces réponses sont physiologiques (mécanismes vasculaires, évaporatifs, réponses cellulaires) et d'autres sont comportementales (réduction d'ingestion, diminution de l'activité physique). Les différentes réponses peuvent être mises en place indépendamment ou bien se cumuler simultanément selon l'importance du stress thermique.

1) Les mécanismes vasculaires

La réponse vasculaire commence dès que la température ambiante dépasse la TCi, température critique inférieure (Quiniou et Noblet, 1999). Elle consiste en une dilatation des vaisseaux sanguins cutanés qui élève la température cutanée. Ainsi, le gradient entre la température ambiante et la température corporelle peut rester constant, ce qui favorise les échanges thermiques par convection (Knut-Schmidt et Dunod, 1998). Quiniou et Noblet (1999) montrent que lorsque la température ambiante varie entre 18 et 22 °C (Figure 3), la température du dos augmente de 1,2°C, celle du flanc de 1,3 °C alors que la température rectale ne change pas (38,6°C).

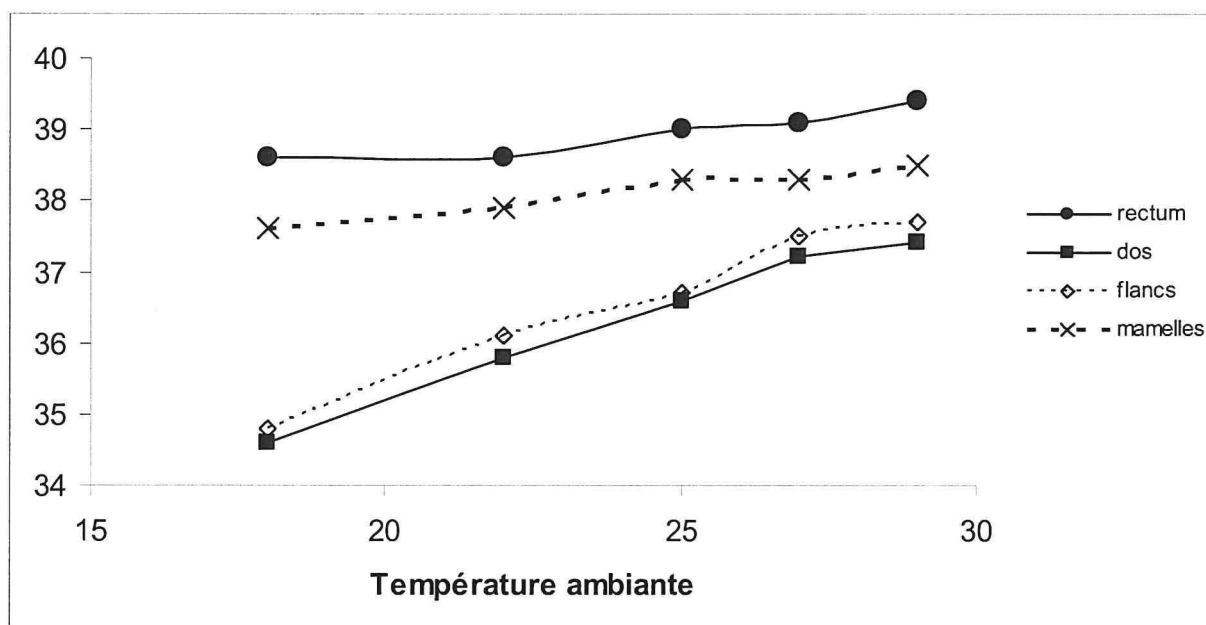


Figure 3. Effet de la température ambiante sur la température du dos, des flancs, des mamelles et du rectum de la truie allaitante (d'après Quiniou et Noblet, 1999)

Cette dilatation n'est pas sans conséquence, car sous les fortes chaleurs il est probable qu'une redirection des flux sanguins se fasse vers les flancs au détriment de la mamelle (Black *et al.*, 1993). Ces auteurs émettent l'hypothèse que ce moindre apport entraîne une diminution de la production de lait. Quiniou et Noblet (1999) ne trouvent cependant pas de différences de production laitière (via la croissance des porcelets) en fonction de la température, sauf à 27°C. En revanche, la diminution de croissance de 20% obtenue par Messias de Bragança *et al.* (1997) sur des portées de truies primipares pourrait confirmer la diminution d'apport sanguin aux mamelles. Cependant, sur les truies multipares, Renaudeau *et al.* (2003) ne confirment pas la diminution de production quotidienne de lait (moins 0,2 kg entre 20°C et 28°C) et ils réfutent l'hypothèse d'un apport sanguin moindre aux mamelles pour les truies multipares, la réduction du débit artériel mammaire décelée semblant être compensée par une augmentation du nombre de capillaires sanguins au niveau de la mamelle. Cela pourrait être une indication d'ajustements vasculaires des mamelles à la chaleur.

2) Réponses comportementales

Au niveau comportemental, l'animal régule aussi ses pertes en jouant sur la surface corporelle en contact avec le sol ou les congénères (Xin, 1999). Soumis à la chaleur, la truie cherchera à maximiser l'échange avec l'air ambiant (convection) en exposant le maximum de surface corporelle. Elle maximisera aussi le contact avec le sol en se couchant notamment sur le flanc (conduction). La baisse de l'activité physique permet aussi de diminuer la thermogénèse. La truie allaitante passe d'environ 140 min/jour à 18°C, à environ 120 min/jour à 29°C, avec une augmentation du temps consacré à boire et une diminution du temps consacré à l'alimentation solide (Quiniou *et al.*, 2000c).

3) Réponses cellulaires

Au niveau cellulaire, la truie peut réduire la production de chaleur via la diminution des concentrations d'hormones cataboliques. Un grand nombre d'hormones ou de neurotransmetteurs interagissent pour réguler la température interne plus ou moins rapidement (Bal *et al.*, 1992). C'est l'hypothalamus qui régit la thermorégulation. L'ACTH (*Adrénocortico Trophic Hormone*) outre son action dans le rythme circadien, influence la sécrétion de cortisol et de glucocorticoïdes qui ont des rôles de thermogénèse. Messias de Bragança *et al.* (1997) montrent une augmentation significative de la glycémie entre 20 et 30°C (+59 µg/ml). Les hormones thyroïdiennes interviennent également. Chez la truie allaitante, Bal *et al.* (1992), Renaudeau *et al.* (2003) et Messias de Bragança *et al.* (1995) montrent une diminution de la concentration plasmatique des hormones thyroïdiennes T3 (triiodothyronine) et T4 (thyroxine) pour les animaux soumis à deux niveaux de températures (Tableau 1). De plus Messias de Bragança *et al.* (1997) montrent que cette diminution n'est pas due à une réduction d'ingestion, mais bien à la hausse de température ambiante.

Références	Température ambiante	T3 (en nmol/L)	T4 (en nmol/L)
(Renaudeau <i>et al.</i> , 2003)	20°C	0,91	23,9
	28°C	0,67	20,1
(Messias de Bragança <i>et al.</i> , 1995)	20°C	0,61	28,5
	30°C	0,51	22,5

Tableau 1. Effet de la température ambiante sur les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes T3 et T4

4) Les mécanismes d'évaporation et saturation des réponses

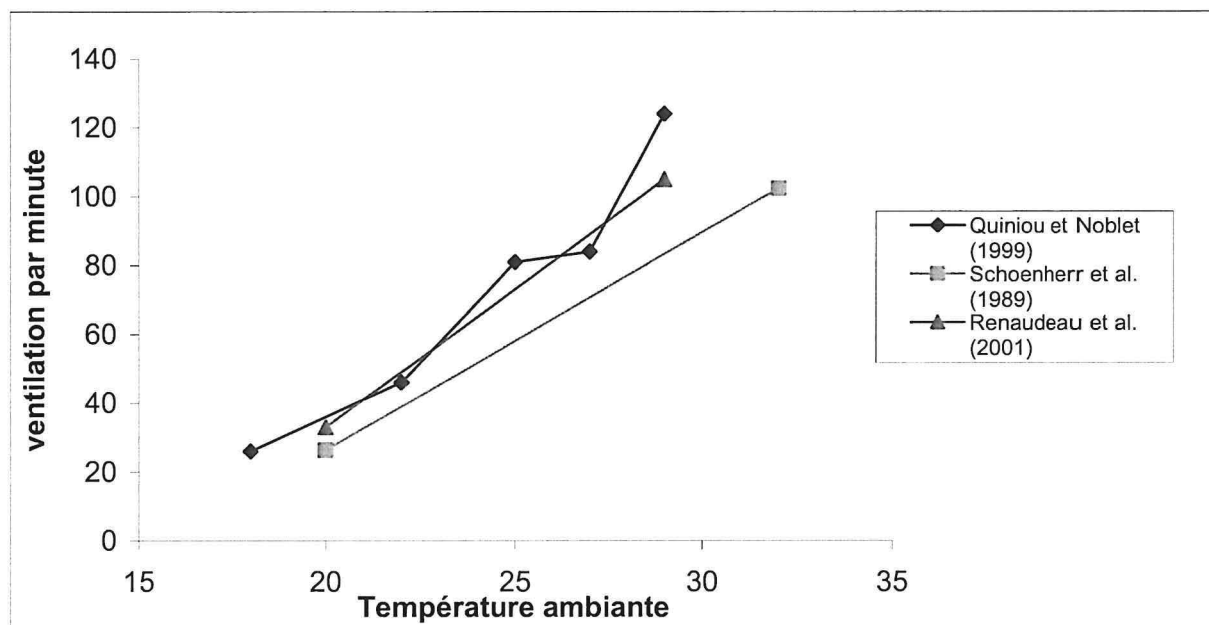


Figure 4. Effet de la température ambiante sur le rythme respiratoire de la truie allaitante (D'après Quiniou et Noblet (1999), Schoenherr *et al.* (1989) et Renaudeau *et al.* (2001)).

Au-delà de la TCe (22°C selon (Quiniou et Noblet, 1999)), les mécanismes d'évaporation se mettent en place. Le porc ayant peu de glandes sudoripares fonctionnelles, l'évaporation se fait majoritairement par la voie respiratoire, ce qui engendre une augmentation du rythme respiratoire (polypnée) (Figure 4).

Lorsque la température ambiante excède la TCs (au-delà de 25°C, Quiniou et Noblet (1999)), la température corporelle augmente, car la truie ne parvient plus à thermoréguler. Entre 18°C et 29°C, Quiniou et Noblet (1999) montrent que l'augmentation de température corporelle est plus importante dans les zones périphériques (dos de 34,6°C à 37,4°C, flancs de 34,8°C à 37,7°C), mais la température rectale augmente également, passant de 38,6°C à 39,4°C, ce qui indique que les mécanismes de régulation sont saturés (Figure 3). La littérature confirme cette hausse de température rectale lorsque la température ambiante dépasse 25°C (Figure 5) malgré la réduction de la production de chaleur métabolique via une diminution de l'ingestion d'aliment.

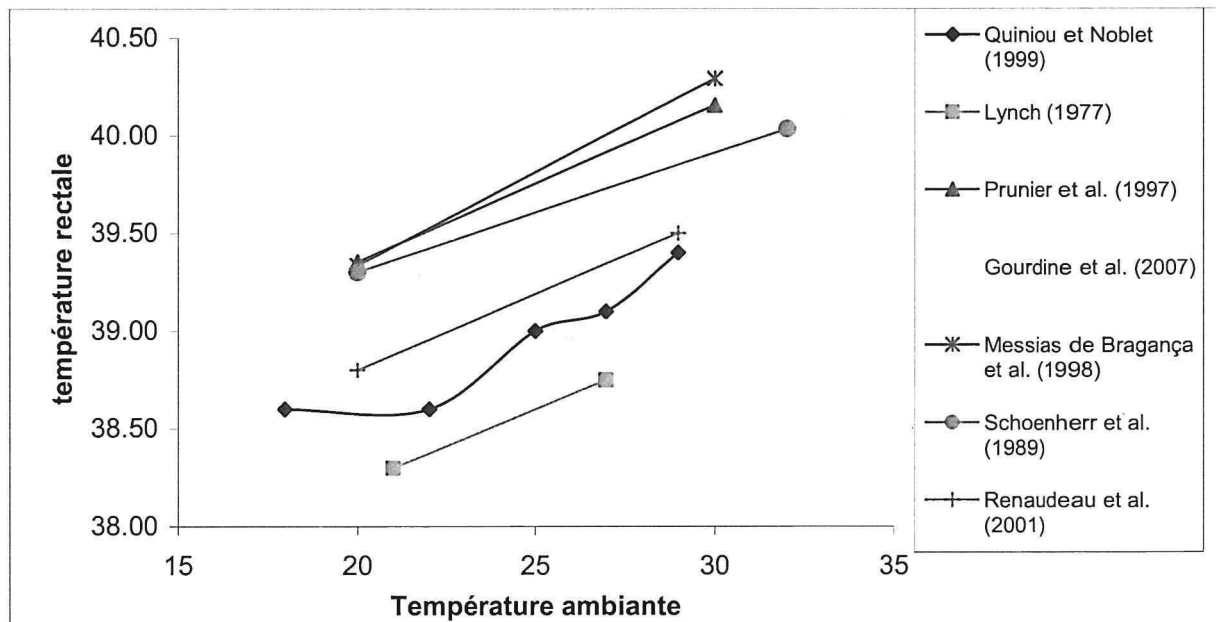


Figure 5. Effet de la température ambiante sur la température rectale de la truie allaitante (D'après Renaudeau *et al.* (2001), Schoenherr *et al.* (1989), Messias de Bragança *et al.* (1998), Gourdine *et al.* (2006c), Quiniou et Noblet (1999), Prunier *et al.* (1997) et Lynch (1977))

Si la chaleur est excessive, l'hyperthermie engendrée peut également provoquer la mort de la truie. D'Allaire *et al.* (1996) ont mis en évidence une mortalité 5 à 6 fois plus importante si la température ambiante excédait 33°C.

D. Les solutions pour atténuer le chaud

Plusieurs solutions sont disponibles pour réduire les effets négatifs de la chaleur sur les performances du porc. On peut classer ces moyens en trois catégories : agir sur l'environnement de l'animal, agir sur son alimentation, ou agir sur l'animal lui-même.

1) Agir sur l'environnement

Lorsque les animaux sont élevés en plein air, deux des solutions existantes sont de leur proposer de l'eau et de l'ombre. Néanmoins, les porcs étant généralement élevés dans des bâtiments leur garantissant une protection solaire et un approvisionnement illimité en eau, ces deux possibilités ne seront pas détaillées.

a) Ventiler l'animal

Favoriser une circulation d'air permet d'augmenter les pertes calorifiques de l'animal par convection et évaporation. On peut utiliser le vent naturel (Berbigier, 1988). C'est le moyen le plus simple d'utilisation et de toute évidence gratuit. Il suffit de placer l'animal dans un lieu ventilé (sous un arbre, un abri ou un bâtiment ouvert). Son inconvénient provient de l'irrégularité de la vitesse du vent. On peut aussi provoquer l'aération par un système actif de ventilation. Cela a été testé dans des bâtiments d'élevages porcins (Quiniou *et al.*, 2000b). Par exemple, pour le porc charcutier, Massabie *et al.* (2001) montrent une augmentation de l'ingestion et de la croissance ainsi que de l'activité lorsque les animaux soumis à la chaleur (entre 24 et 28°C) bénéficient de ventilation. Néanmoins, ces auteurs mettent en garde contre les possibilités accrues de pneumonie.

b) Aspersions des animaux

Une autre possibilité d'augmenter les pertes par convection et par évaporation est de permettre aux animaux de s'asperger ou de les asperger directement. On peut humidifier régulièrement les animaux soit manuellement, soit à l'aide de mécanismes, selon les moyens disponibles. McGlone *et al.* (1988) ont testé un système de goutte à goutte sur les épaules ou le corps de truies en lactation. Une augmentation d'ingestion (+ 1,63 kg/j) et une moindre perte de poids (8,82 kg vs 26,89 kg pour les truies témoins) ont été observées. Cependant, Quiniou *et al.* (2000b) mettent en garde contre cette utilisation sur les truies allaitantes, car elle pourrait dégrader l'état sanitaire des porcelets.

c) Aspersions du bâtiment

Un autre moyen est de refroidir un bâtiment en utilisant une pompe envoyant de l'eau sur toute la toiture du bâtiment. L'eau redescend vers les gouttières qui la redirigent vers un réservoir où se trouve la pompe, constituant ainsi un circuit fermé. Il suffit de faire l'appoint d'eau chaque jour suite à l'évaporation. Ce système est utilisé pour le refroidissement de bâtiments commerciaux. Cela demande un faible investissement par rapport à un système de climatisation.

d) Refroidissement de l'air

Lorsque les animaux sont élevés dans des bâtiments fermés, il est possible de refroidir l'air ambiant ou entrant en augmentant sa teneur en eau. Pour cela, on effectue une brumisation d'eau dans l'air ambiant ou bien on fait passer l'air entrant dans des filtres humides (pad cooling). Ce système assure dans des conditions de faibles hygrométries une réduction de la température ambiante d'environ 4°C. Cette méthode est utilisée notamment chez les ruminants (Haber *et al.*, 1994 cité par Morand-Fehr et Doreau (2001), les bovins (West, 2003)) et les porcs (Dutertre *et al.*, 1998). Cependant, West (2003) rappelle que ce système n'est pas le plus simple matériellement et économiquement, et il est donc délicat à réaliser dans des pays ayant peu de moyens technologiques. De plus, Renaudeau *et al.* (2004) soulignent l'inefficacité de ce système dans des zones tropicales humides où l'humidité ambiante est déjà élevée.

e) Refroidissement du sol

Une autre solution de refroidissement de l'ambiance consiste à refroidir le sol et ainsi permettre à l'animal d'augmenter ses pertes par conduction. Récemment, au Brésil, Silva *et al.* (2007) ont montré les effets positifs de ce système sur les performances des truies en lactation. Ainsi, les truies logées sur sol « froid » ingèrent davantage (+0,87 kg/j), ont une production de lait plus forte (+2,15 kg/truie/jour) sans répercussion sur les réponses physiologiques (rythme respiratoire, températures rectale et cutanées plus faibles que les truies témoins) Cependant, elles perdent davantage de poids (-2,8 kg vs +5,8 kg sur sol non refroidi) durant la lactation. Les auteurs imputent cela à une production laitière plus intense. Des études supplémentaires sont néanmoins indispensables pour connaître les effets de ce système sur l'équilibre thermique des porcelets et l'état sanitaire de la truie.

2) Agir sur l'alimentation

Du fait de la grande quantité de chaleur dégagée lors de la digestion, l'aliment fourni joue un rôle non négligeable dans la thermorégulation de l'animal. De plus, la réduction d'ingestion est une des réactions de lutte contre la chaleur. Agir sur l'aliment est donc l'un des trois grands moyens d'action pour tenter de diminuer le stress thermique via la réduction de la production de chaleur métabolique.

a) Changer la taille et le nombre des repas

Renaudeau *et al.* (2002) montrent une fréquence accrue des petits repas chez les truies allaitantes soumises à un stress thermique de 29°C. Ainsi, en se basant sur ce comportement exprimé de manière spontanée, on pourrait augmenter le nombre de repas en donnant de petites quantités et ainsi augmenter l'ingestion totale journalière. Quiniou *et al.* (2000b) et Renaudeau *et al.* (2004) semblent d'accord avec ce principe. Bien que pouvant augmenter la charge de travail humain, le fractionnement alimentaire, en privilégiant les périodes les plus fraîches de la journée, est donc une solution simple à mettre en œuvre. Chez le poulet de chair, Trévidy (1999) parle d'une meilleure viabilité (+1% à 7 semaines) avec le fractionnement alimentaire.

b) Changer la composition

La réduction d'ingestion face à la chaleur se traduit par une diminution de la consommation d'énergie. Pour le porc, Renaudeau *et al.* (2002) montrent que la composition des repas influence la quantité ingérée et l'activité d'ingestion. Quiniou *et al.* (2000d) énoncent la possibilité de modifier la composition des rations afin de favoriser une meilleure résistance à la chaleur. Pour diminuer les effets de la chaleur, une augmentation de l'énergie de la ration ingérée pourrait être une solution. La modification de l'énergie de la ration peut passer soit par ajout d'acides gras et/ou par diminution de la teneur en protéines, la digestion des protéines nécessitant une forte production d'extra-chaleur. Quiniou (2003) montre qu'un aliment concentré en énergie et enrichi en acides aminés essentiels a tendance à être meilleur, car il permet une ingestion plus forte et une moindre mobilisation des réserves corporelles. Néanmoins, pour les truies en lactation, Renaudeau *et al.* (2004) constatent qu'il y a peu ou pas d'effet sur la croissance de la portée et les performances de reproduction ultérieures de la truie quand l'aliment est enrichi en matières grasses.

3) Agir sur l'animal

Au-delà des solutions environnementales et nutritionnelles précédemment évoquées, une alternative originale pour atténuer les effets négatifs de la chaleur sur les performances des animaux consisterait à agir directement sur l'animal afin d'obtenir par la voie génétique des animaux adaptés à l'environnement. On peut envisager d'améliorer génétiquement les animaux pour les rendre mieux adaptés aux contraintes climatiques soit en améliorant par croisement entre type génétique, soit en sélectionnant à l'intérieur d'un même type génétique.

a) Le croisement

En règle générale, les races locales sont mieux adaptées à leur environnement que les races exotiques via des adaptations morphologiques ou physiologiques (Berbigier, 1988). Cependant cela s'accompagne souvent d'une production plus faible (pour le mouton voir Marai *et al.* (2007); pour les ruminants voir Morand-Fehr et Doreau (2001) ; pour la vache voir Hansen et Arechiga (1999) et le porc (Canope et Raynaud, 1981; Gourdine, 2006)). Une solution courante consiste à croiser une souche productive avec une souche locale afin de profiter de la vigueur hybride (hétérosis) et ainsi obtenir une souche plus productive que la souche locale. Cette technique a un défaut principal : les aspects positifs issus du croisement ne sont pas forcément transmissibles à la descendance (Renaudeau *et al.*, 2004).

b) La sélection génétique

Si l'on veut sélectionner des animaux dont la descendance portera également les critères d'adaptation, il convient de sélectionner sur des critères transmissibles génétiquement. Cette sélection est lente mais ses résultats permanents. On peut envisager de sélectionner uniquement sur critères de production ou de combiner à la fois caractères de production et d'adaptation.

1. La sélection sur critères de production

En sélectionnant sur les performances au chaud, on peut effectuer une première sélection (West, 2003). Néanmoins, le milieu de sélection doit être proche du milieu de production afin d'optimiser l'expression du potentiel acquis par l'amélioration génétique (Frisch, 1981).

2. La sélection sur critères de production et sur critères physiologiques

Plus fine et plus efficace bien que plus difficile, la sélection combinée portant à la fois sur des caractères de production et de résistance physiologique, permet d'obtenir de meilleurs résultats. La complexité des mécanismes physiologiques rend cette méthode complexe, mais elle permet de mieux diriger le choix des animaux. Cependant, il est nécessaire de connaître la variabilité génétique des réponses physiologiques des animaux à la chaleur et leurs relations avec les critères de production. Il existe des études montrant la faisabilité de cette sélection pour les bovins (Turner, 1982 ; Burrow, 2001) ou les volailles (Taouis *et al.*, 2002). A notre connaissance, il existe peu de travaux sur les porcs (Gourdine *et al.*, 2006d). Dans une étude préliminaire, ces auteurs obtiennent une valeur assez forte de l'héritabilité de la température rectale (entre 0,28 et 0,32), mais des liaisons génétiques négatives et peu précises entre ce caractère et les performances.

II. MATERIEL ET METHODES

Objectifs

Les truies réagissent différemment à la chaleur. On s'interroge sur les mécanismes sous-jacents qui font qu'une truie allaitante souffre davantage du stress thermique qu'une autre ainsi que sur la méthode de sélection qui permettrait le choix d'animaux adaptés au climat sans réduire les performances. Le travail réalisé au cours de ce stage a pour principal objectif de décrire les réponses physiologiques de la truie allaitante élevée en conditions tropicales humides. Il a aussi pour but de fournir des éléments de réponses sur la pertinence des paramètres physiologiques mesurés pour quantifier et comparer les réponses des truies. Gourdine J.L. (2006) semble montrer une meilleure adaptation au climat tropical des truies Créoles comparativement aux truies Large White mais sans préciser les raisons physiologiques. Gourdine J.L. *et al.* (2006d) tend à montrer une héritabilité de température rectale ce qui pourrait permettre une sélection des truies les plus adaptées par ce critère.

A. Dispositif expérimental et conduite des animaux

L'ensemble des mesures de ce stage a été réalisé à l'élevage porcin de l'Unité Expérimentale de Production et de Santé Animale (UEPSA) du centre INRA Antilles-Guyane situé en Basse Terre (Domaine de Duclos, Guadeloupe, Latitude 16° Nord, Longitude 61° Ouest). Le bâtiment d'élevage est de type semi ouvert, d'une superficie d'environ 1000 m² en caillebotis intégral. La durée d'éclairage, aussi bien que la température et l'hygrométrie ambiantes varient donc naturellement et les animaux sont directement soumis aux aléas journaliers et saisonniers du climat. Deux saisons ont été déterminées d'après les résultats préalables de Gourdine *et al.* (2006a), à partir des données climatiques enregistrées dans une station météorologique proche de l'unité expérimentale. On distingue une saison dite fraîche entre novembre à avril, et une seconde dite chaude entre mai et octobre.

Un total de 63 lactations portant sur 53 truies a été utilisé dans cette expérience. Les animaux utilisés sont des truies Large White de race pure (LW) et des truies de race Créole (CR) (13 truies Créoles et 40 Large White). Le type génétique CR est la race locale la plus répandue dans la Caraïbe. Il a été réintroduit en 2000 dans la station expérimentale afin de disposer d'un variant génétique dans l'étude de l'adaptation du porc au chaud. La race CR de Guadeloupe est la résultante de nombreux croisements effectués à partir d'une souche ibérique importée dès le début de la colonisation européenne (Canope et Raynaud, 1981). Comparée aux races exotiques améliorées de type LW, la race porcine CR se caractérise par une plus faible productivité, une forte adiposité et une apparente bonne adaptation aux conditions extrêmes que l'on peut rencontrer dans les régions tropicales (Rinaldo *et al.*, 2003).

Les truies sont conduites en bandes de 12 truies environ espacées de 3 à 6 semaines avec une introduction de 20 à 25% de nullipares dans chaque bande. L'entrée en maternité des truies en gestation s'effectue une semaine avant la mise bas. Dans les 48 heures suivant la mise bas, la taille de portée est équilibrée via des adoptions entre des truies du même type génétique. Après la mise bas, les truies reçoivent un plan d'alimentation afin d'homogénéiser l'augmentation de la prise alimentaire en début de lactation et d'éviter les problèmes d'agalaxie. Pour les besoins d'une expérimentation couplée à la nôtre, les truies sont alimentées à partir de la mise bas avec trois aliments de teneur protéique différente : un aliment de faible teneur protéique, un aliment de teneur normale, et un aliment enrichi en acides aminés essentiels. Quelle que soit la teneur protéique, les aliments utilisés sont tous formulés à base de maïs, de tourteau de soja, de remoulage et son de blé et donnés sous forme

de granulés. L'aliment est distribué une fois par jour entre 6 et 8 h et les animaux ont libre accès à l'eau via une sucette. La durée de lactation est d'environ 28 jours.

B. Mesures physiologiques réalisées

Les mesures usuelles pour évaluer les performances des truies allaitantes sont effectuées en routine (poids et épaisseur de lard dorsal des truies avant et après la mise bas, taille et poids de la portée à la naissance et au sevrage, consommation alimentaire journalière de la truie). Outre ces mesures, des mesures physiologiques (températures corporelles et rythme respiratoire) sont effectuées tous les lundis et jeudis matin à 7 h et 11h30 sur toutes les truies de la bande, de la semaine de mise bas à la semaine du sevrage (soit durant 5 semaines). Les heures de début et de fin de mesures sont notées ainsi que la température et l'humidité ambiante de début et de fin de mesures à l'aide d'un thermo-hygromètre digital (Newport Omega®, Manchester, Royaume-Uni). Les paramètres physiologiques représentent près de 7950 mesures effectuées sur la totalité de l'expérience.

1) Rythme respiratoire

La mesure du rythme respiratoire est une donnée importante en termes de régulation thermique du porc. Il s'agit de la principale voie de dissipation de chaleur par évaporation puisque les porcs disposent de peu de glandes sudoripares fonctionnelles. La mesure de rythme respiratoire (RR) est la première des mesures physiologiques effectuées dans notre expérimentation. Elle est déterminée visuellement, à distance de l'animal de manière à ne pas le stresser, par comptage des mouvements de flancs pendant trois périodes d'une durée d'une minute pour chaque horaire (i.e. à 7h et à 11h30). Les interruptions pendant le comptage, quelque soit leur origine, conduisent à un recomptage des mouvements respiratoires, voire dans certains cas à l'annulation du comptage pour la truie. Dans le but de déterminer la précision de la mesure du RR, trois mêmes expérimentateurs ont été choisis pour effectuer chacun un comptage par animal et par horaire sur deux des cinq bandes mesurées. Cela représente un total de 1 458 observations (486 données par expérimentateur).

2) Températures corporelles

Dans cette expérience, la température rectale (TR) est mesurée sur toutes les truies à l'aide d'un thermomètre digital classique (Microlife Corporation®, Paris, France). Elle permet d'estimer la température interne de l'animal, qui est le résultat des processus de thermorégulation mis en place par la truie. La mesure de la température cutanée en différents sites permet d'évaluer les pertes de chaleur par voie sensible et d'estimer l'apport sanguin de ces différentes zones. Dans notre expérience, la température cutanée des truies est mesurée sur trois sites: le dos (Tdos, au niveau de la vertèbre de la dernière côte), le flanc (Tflanc, au niveau du milieu de la dernière côte) et la glande mammaire (Tmam, au niveau d'une mamelle active et si possible centrale) à l'aide d'une sonde de surface-thermocouple de type K (Newport Omega®, Manchester, Royaume-Uni).

3) Mesures sur 24 heures

Afin de déterminer le comportement des truies sur un palier de 24h, trois journées spéciales de mesures physiologiques ont été réalisées sur trois bandes différentes de truies (soit un total de 32 animaux dont 5 Créoles). Il s'agissait d'effectuer les mesures physiologiques habituelles (rythme respiratoire et températures corporelles) toutes les heures. Il a été choisi de réaliser ces mesures spéciales au moment du pic de production laitière (environ à la moitié de la lactation), sensé être la période la plus critique pour la truie en termes de thermorégulation. La première série de mesures n'a concerné que les mesures de RR et de TR. Pour les deux bandes suivantes, la mesure des températures cutanées (Tdos, Tflanc, Tman) et un relevé du comportement (mange, boit, allaite) et de la position de chaque truie (assis, debout, couché sur le flanc ou le ventre) toutes les dix minutes ont été ajoutés. Les manipulateurs travaillaient en binôme afin de se répartir les mesures à accomplir. Cela représente un total de 4 608 mesures physiologiques réalisées.

C. Calculs et analyses statistiques

L'ensemble des données a été traité à l'aide du logiciel de statistiques SAS/STAT (Version 8.1, SAS® Inst., Inc., Cary, NC, 1999). La répétabilité et la reproductibilité de la mesure du RR sont des indicateurs de la précision de la mesure souvent utilisée pour déterminer la précision d'un instrument. On entend par répétabilité la variation résultant des mesures prises sur le même animal par le même expérimentateur et par la reproductibilité, la variation résultant d'un expérimentateur à l'autre. Pour déterminer ces critères de précision de la mesure, les variations des mesures du RR ont été traitées par une analyse de variance (PROC MIXED, SAS) par date et heure de mesure incluant les effets aléatoires dus à l'expérimentateur et dus à l'animal. A partir des résultats obtenus, les paramètres de reproductibilité et de répétabilité habituellement utilisés dans des analyses de répétabilité - reproductibilité ont été calculés à savoir : la part de la variation due à la répétabilité de la mesure dans la variation totale de la mesure (EV), la part de la variation due à la reproductibilité de la mesure dans la variation totale de la mesure (AV), la part de la variation due à la truie dans la variation totale de la mesure (PA), le paramètre répétabilité-reproductibilité (R&R, en pratique si R&R est inférieure à 30% alors on considère que la mesure est répétable et reproductible). Dans un second temps, l'effet fixe du stade de lactation, les effets de la température et de l'humidité en covariables ont été testés sur ces paramètres de répétabilité-reproductibilité par une analyse de variance (PROC GLM, SAS).

Les données physiologiques obtenues sur une période de 24 heures ont été traitées par une analyse de variance à l'aide d'un modèle mixte (PROC MIXED) prenant en compte les effets fixes de l'heure de mesure, du type génétique, de la bande, et les effets aléatoires de l'animal pour tenir compte des éventuelles corrélations entre les différentes mesures réalisées sur un même animal.

Les effets du type génétique (CR vs. LW), de la saison (fraîche vs. chaude) et du stade de lactation ont été testés sur la cinétique des paramètres physiologiques mesurés pendant la lactation (Proc Mixed, SAS, 1997). L'effet répété du stade de lactation est aussi testé en effet aléatoire afin de tenir compte des corrélations entre les mesures réalisées sur un même animal à des stades de lactation différents. Afin d'évaluer l'évolution des paramètres physiologiques moyens en lactation avec l'élévation de la température ambiante, des classes de températures ambiantes ont été réalisées (5 classes de 22 à 30°C). Les données sont traitées par une analyse de variance dans un modèle mixte prenant compte les effets fixes de la classe de température ambiante et en covariable l'effet du stade de lactation. L'effet répété du stade de lactation est également testé en effet aléatoire.

Afin d'estimer les transferts de chaleur entre le noyau et la surface du corps, le gradient de température interne a été estimé en effectuant la différence de température entre la TR et les températures cutanées (Tdos, Tflanc, Tmam). Les paramètres physiologiques moyens mesurés (RR, TR, Tdos, Tflanc, Tmam, les gradients) sur la totalité de la lactation ont été soumis à une analyse de variance (PROC GLM) en tenant compte des effets de la saison (fraîche vs. chaude), du type génétique (CR vs. LW) et de l'interaction saison × type génétique. L'effet du groupe de truies a été testé intra saison. L'effet du type d'aliment sur ces paramètres physiologiques n'étant pas significatif, ce facteur a été omis dans les analyses statistiques. Les relations entre les paramètres physiologiques et les performances en lactation ont été testées avec une analyse des corrélations de Spearman (PROC CORR).

III. RESULTATS

A) Paramètres climatiques

Saison ⁽¹⁾	Fraîche	Chaude
Température, °C		
Minimale	22,0	24,5
Maximale	29,0	27,0
Moyenne	24,5	26,0
Hygrométrie, %		
Minimale	45,5	63,5
Maximale	96,0	77,5
Moyenne	73,5	68,3

Tableau 2. Caractéristiques moyennes des saisons

(1) Moyennes obtenues à partir de mesures de 7h00 et 11h30 de températures et d'humidité relative ambiantes dans le bâtiment d'élevage entre Février 2007 et Août 2007. La saison fraîche est déterminée entre Novembre et Avril. La saison chaude est déterminée entre Mai et Octobre.

Les relevés de température et d'humidité effectués au sein même de l'élevage lors des mesures physiologiques de 7h00 et 11h30 nous permettent de caractériser les moyennes pour les saisons. La saison fraîche présente une température moyenne de 24,5°C et une hydrométrie moyenne de 73,5% alors que les valeurs de la saison chaude sont respectivement de 26,0°C et 68,3% (Tableau 2). L'amplitude de variation est plus importante en saison fraîche.

B) Effet de l'heure sur les réponses physiologiques de la truie allaitante: mesures sur 24 heures

La Figure 6 présente les variations journalières de la température ambiante et de l'humidité relative en saison chaude. La température ambiante a une amplitude de 4,5°C entre des températures minimale et maximale de 24,5 et 29,0°C obtenues respectivement à 04h00 et à 14h00. L'humidité relative évolue de manière similaire, mais inversée avec des valeurs comprises entre 57 et 83%. Son minimum se trouve vers 14h00 et son maximum vers 05h00.

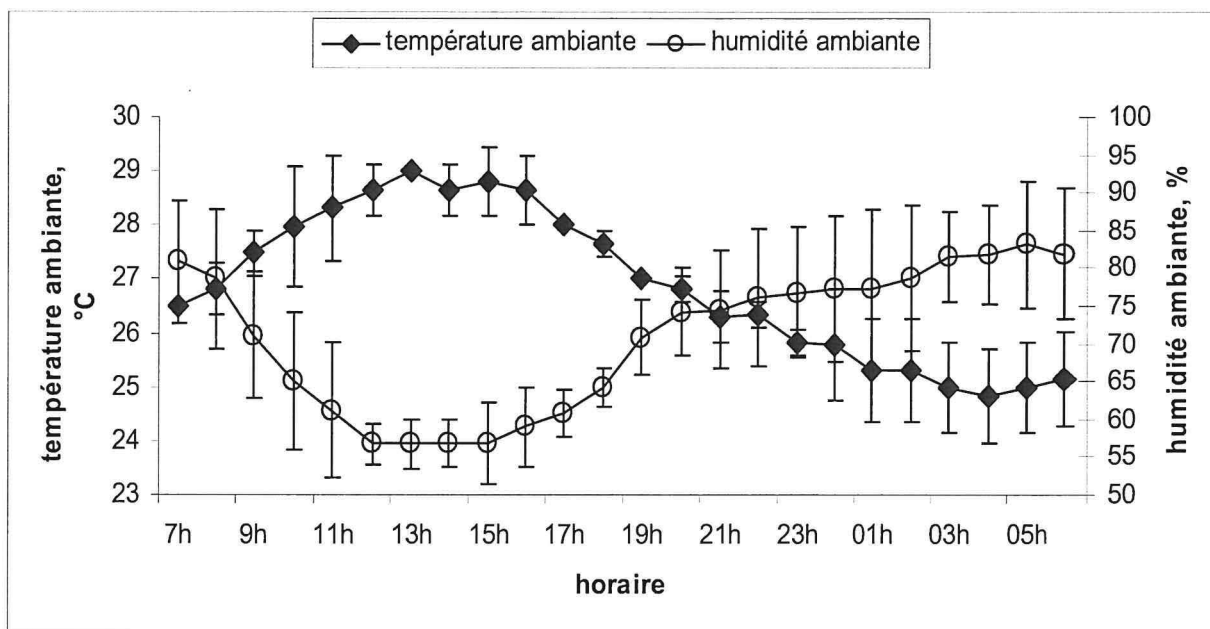


Figure 6. Variations journalières de la température ambiante et de l'humidité relative

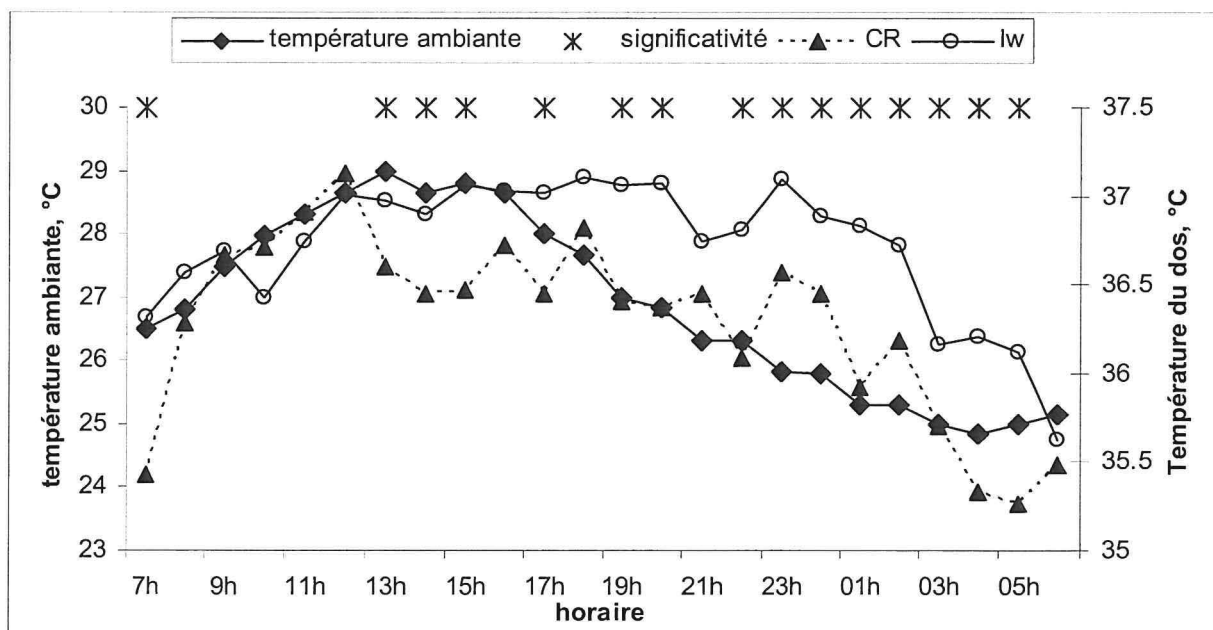


Figure 7. Variations journalières de la température ambiante et de la température du dos de la truie allaitante en fonction du type génétique

Les variations de la température du dos (Tdos) et du flanc (Tflanc) ont un profil proche de la température ambiante (Figures 7 et 8). Elles augmentent en début de journée (Tdos entre 05h00 et 12h00: +1,7°C pour les truies CR et ; +1,1°C pour les LW; Tflanc : + 2°C entre 5h00 et 12h00 pour CR, + 1,3°C entre 6h00 et 18h00 LW). Tdos se stabilise entre 13h00 à 23h00 malgré la baisse de température ambiante (36,5°C pour les truies CR et 36,8°C pour les LW). Un décalage entre les sommets est visible (Tdos : -2 heures CR, + 9 heures LW ; Tflanc : - 1 heure CR ; + 5 heures LW). Tdos et Tflanc redescendent ensuite au moment où la température ambiante est la plus fraîche (Tdos de 23h00 à 5h00 : - 1,2°C CR ; - 1,1°C LW ; Tflanc : - 0,7°C entre 12h00 et 15h00 et - 1,5°C entre 15h00 et 5h00 pour les CR ; - 1.3°C entre 18h00 et 6h00 pour les LW). Les courbes des CR et LW ont des profils proches, mais les valeurs sont supérieures pour les LW (+0,5°C Tflanc).

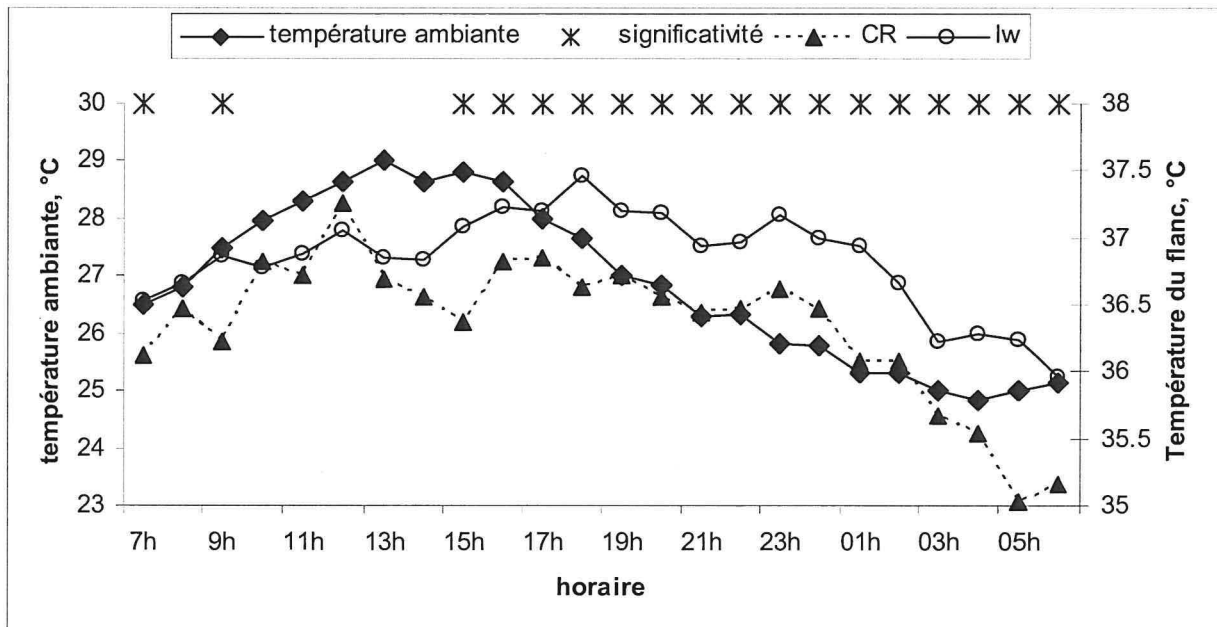


Figure 8. Variations journalières de la température ambiante et de la température du flanc de la truie allaitante en fonction du type génétique

Entre 1 heure et 11 heures, les Tmam suivent celles de la température ambiante. (Figure 9). Les courbes des deux types génétiques diminuent (entre 3h00 et 6h00 -0,9°C pour les CR ; entre 0h00 et 6h00 - 1,7°C pour les LW). Puis elles augmentent (+0,5°C CR et LW entre 7h00 et 11h00). Les CR ont un grand nombre de valeurs significativement inférieures aux LW. L'écart entre CR et LW n'est cependant pas constant. A 12h00, la Tmam des LW continue d'augmenter tandis que celle des CR commence à diminuer. De 12h00 à 18h00, la Tmam des CR fluctue entre 37 et 37,5°C tandis que la Tmam des LW baisse légèrement entre 13h00 et 15h00 (- 0,5°C), mais ré-augmente jusqu'à minuit au delà de 38,5°C (maxima). La Tmam des CR augmente à 38,5°C à 19h00 et fluctue à nouveau de 20h00 à 3h00 entre 37,5 et 38°C.

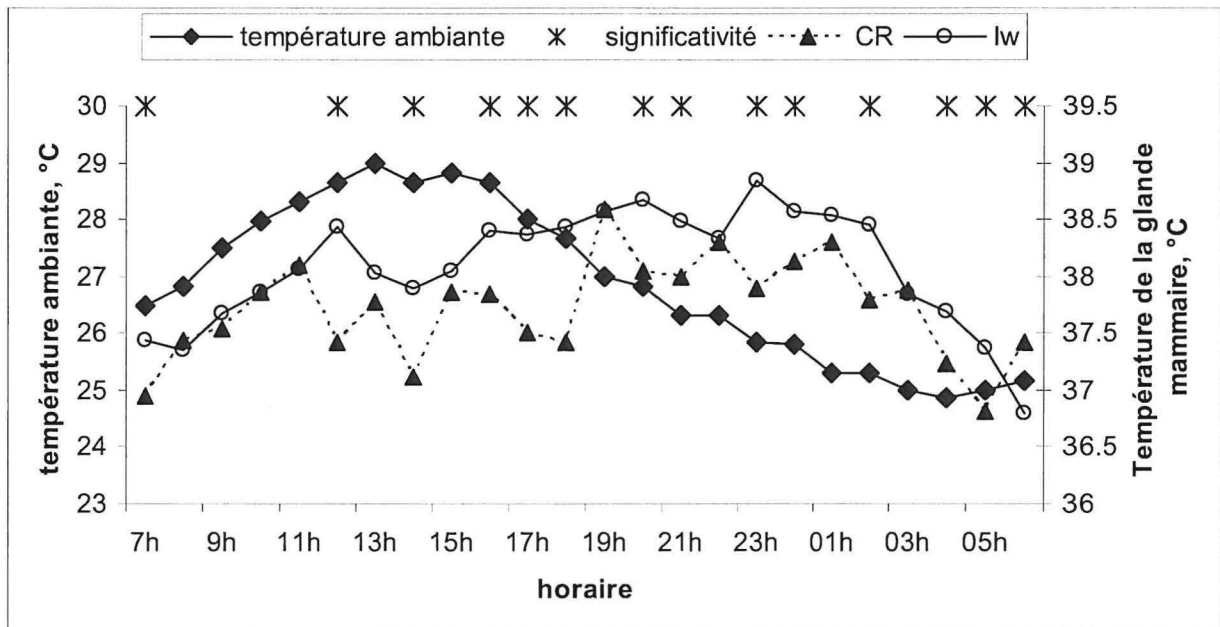


Figure 9. Variations journalières de la température ambiante et de la température de la mamelle de la truie allaitante en fonction du type génétique

Le rythme respiratoire varie également en fonction de l'heure (Figure 10). Ces valeurs sont comprises entre 40 et 85 vpm. Le RR suit la baisse de température entre 17 et 21 heures. Les courbes sont formées de 3 successions d'augmentation puis de diminution. Mais les horaires et l'amplitude sont très différents selon les types génétiques. Chez les LW, les pics sont plus marqués. De plus, les valeurs sont plus élevées et ne descendent pas en dessous de 50 vpm alors que les CRs ont des valeurs inférieures à 50 vpm entre 19 et 5 heures.

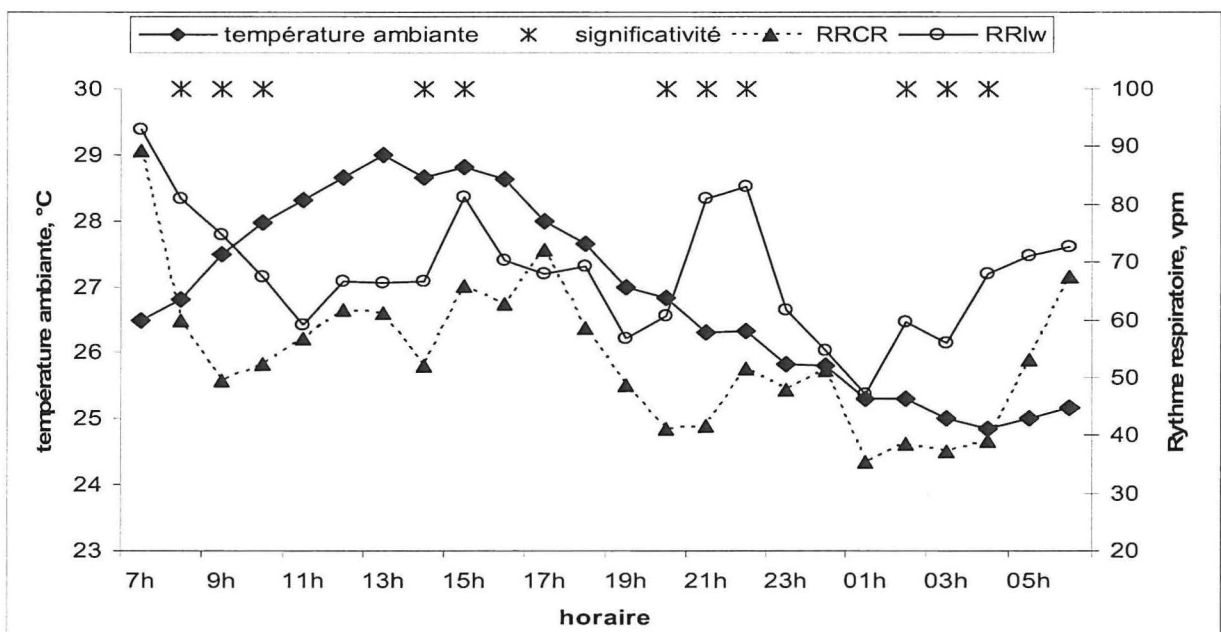


Figure 10. Variations journalières de la température ambiante et du rythme respiratoire de la truie allaitante en fonction du type génétique

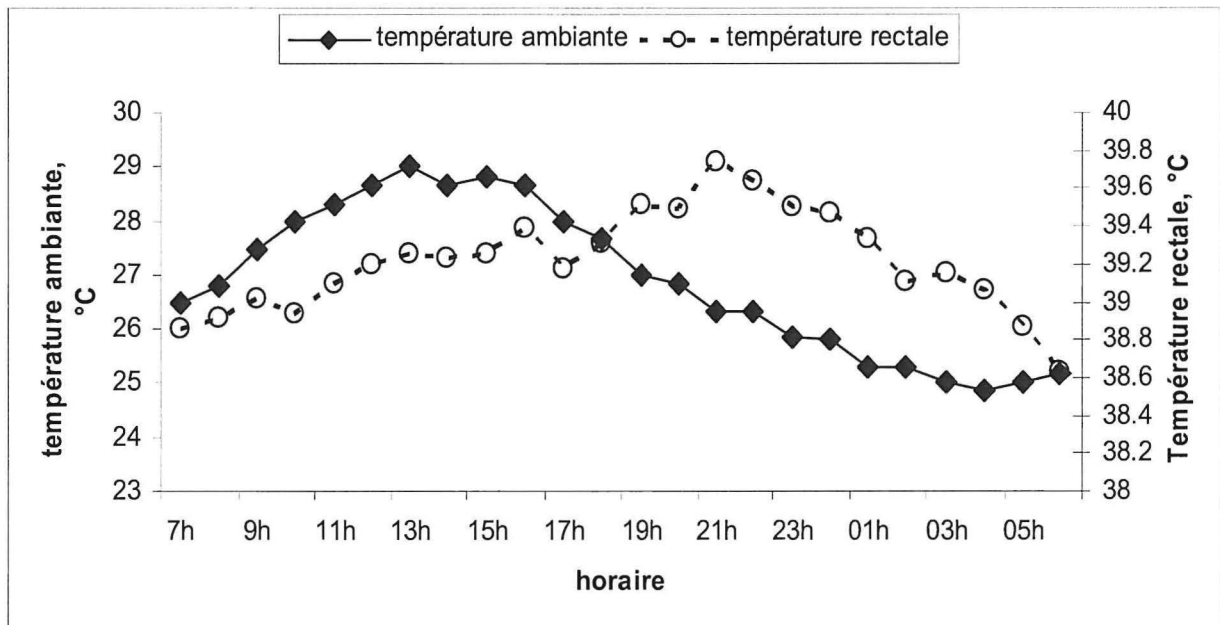


Figure 11. Variations journalières de la température ambiante et de la température rectale de la truie allaitante, types génétique confondus

Aucune différence significative de température rectale n'a été observée entre type génétique. De ce fait les moyennes ajustées inter-type génétique sont présentées dans la Figure 11. La TR suit une évolution sinusoïdale en fonction de l'heure de la journée. Elle augmente en moyenne de 38,8 à 39,7°C de 07:00 et à 21:00 et diminue ensuite entre 21:00 et 06:00 (environ -0,1°C/h). La TR suit l'augmentation de la température ambiante, mais elle continue d'augmenter après le maximum de température ambiante (à 13 :00) et son évolution présente un décalage de 8 heures entre son maximum et le maximum de température ambiante.

C) Effet du stade de lactation sur les réponses physiologiques de la truie allaitante

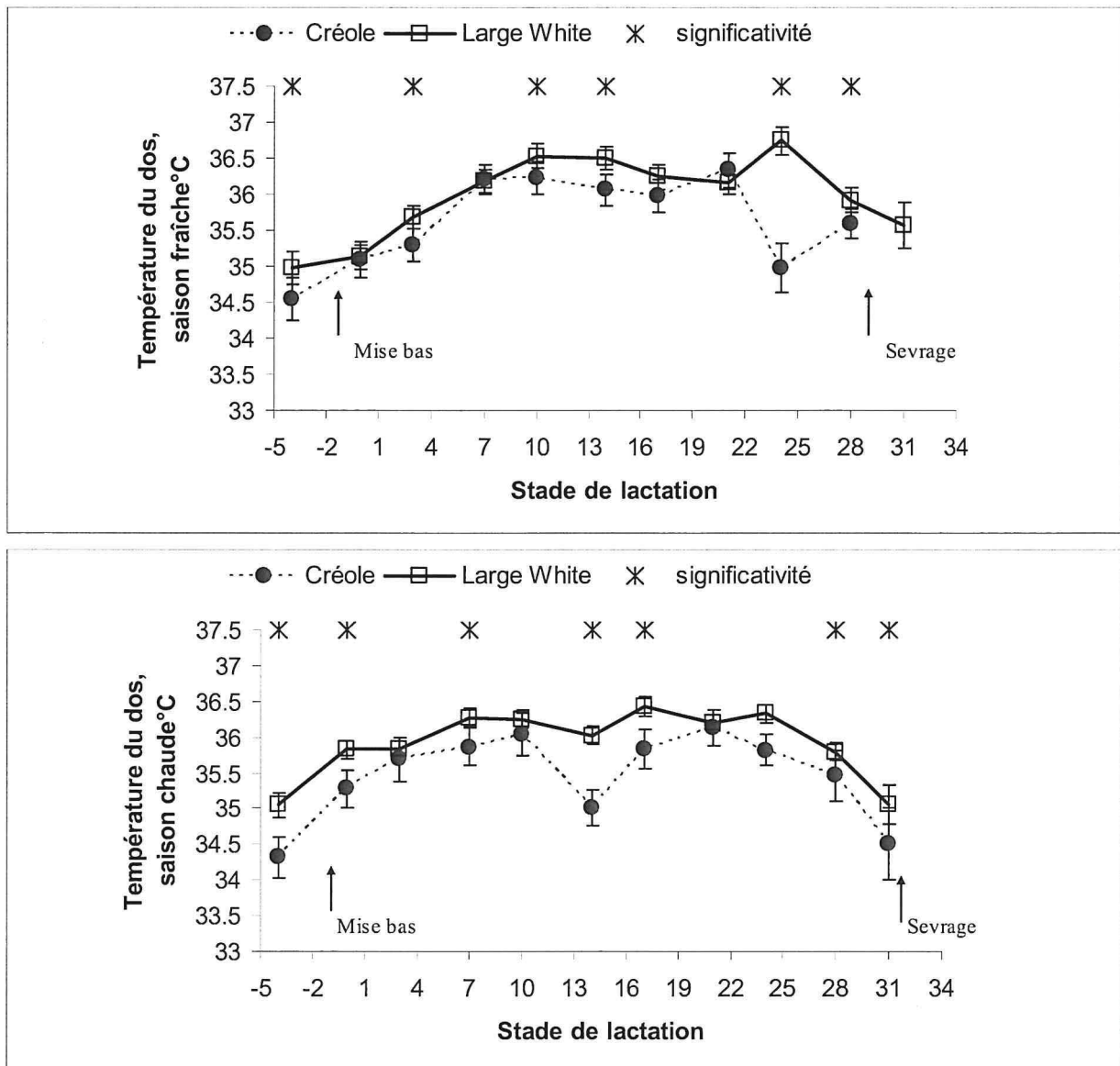


Figure 12. Effets du stade de lactation sur la température du dos des truies Créoles et Large White en saison fraîche et en saison chaude

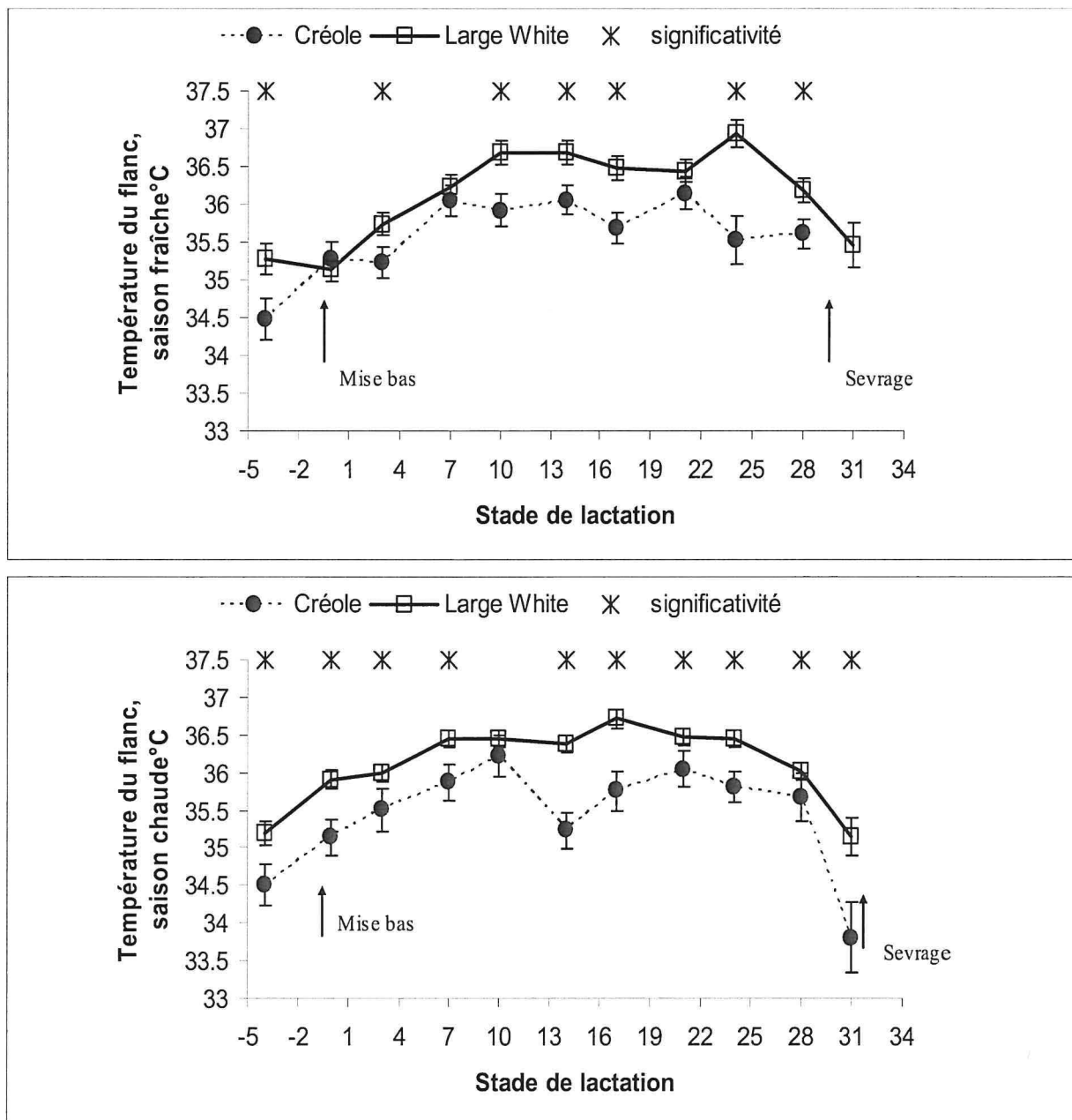


Figure 13. Effets du stade de lactation sur la température du flanc des truies Créoles et Large White en saison fraîche et en saison chaude.

L'évolution des températures du dos et du flanc en fonction du stade de lactation (jour de mise bas : J) montre une forme en cloche centrée vers le 13-16^{ème} jour de lactation (Figures 12 et 13). Les températures cutanées augmentent avant le début de la lactation (Tdos : + 1°C J-5 et J+4 en saison fraîche, J-5 et J+2 en saison chaude ; Tflanc : +1 à 1,5°C entre J-5 et J+10). Ensuite, les valeurs semblent suivre un plateau à 36°C pour la Tdos (J+22 en saison fraîche, J+25 en saison chaude) et un plateau entre 36°C (CR) et 36,5°C (LW) pour la Tflanc (J+22) puis elles chutent.

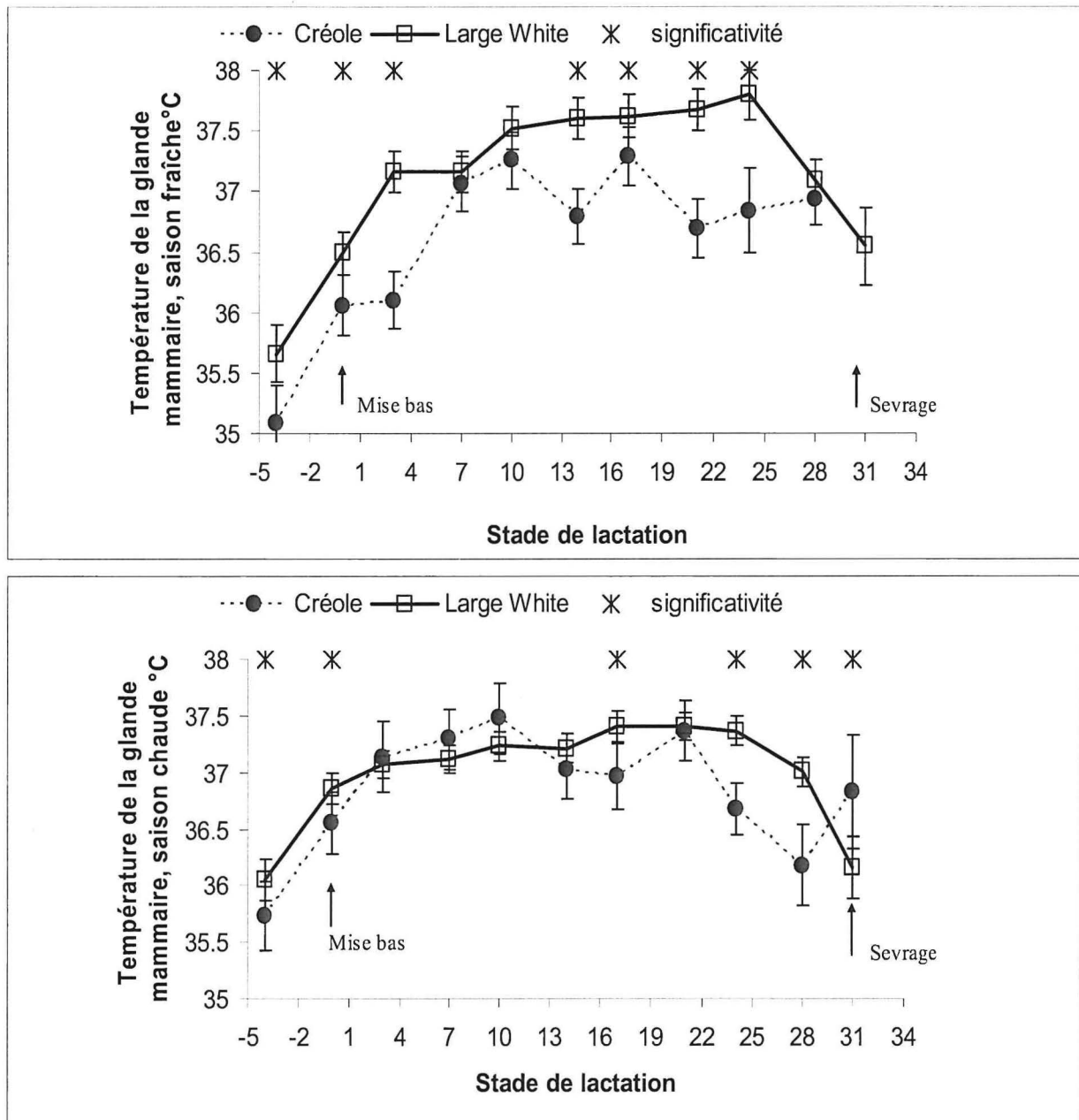


Figure 14. Effets du stade de lactation sur la température de la glande mammaire des truies Créoles et Large White en lactation, en saison fraîche et en saison chaude

La température de la glande mammaire varie en fonction du stade de lactation (Figure 14). Après la mise bas, T_{mam} augmente de 1 à 2°C, reste constant entre le 3^{ème} et le 25^{ème} jour de lactation et diminue ensuite. Les amplitudes sont plus fortes en saison fraîche qu'en saison chaude (2 vs. 1°C). Les CR ont globalement des valeurs plus basses que les LW bien qu'en saison chaude cela soit moins évident.

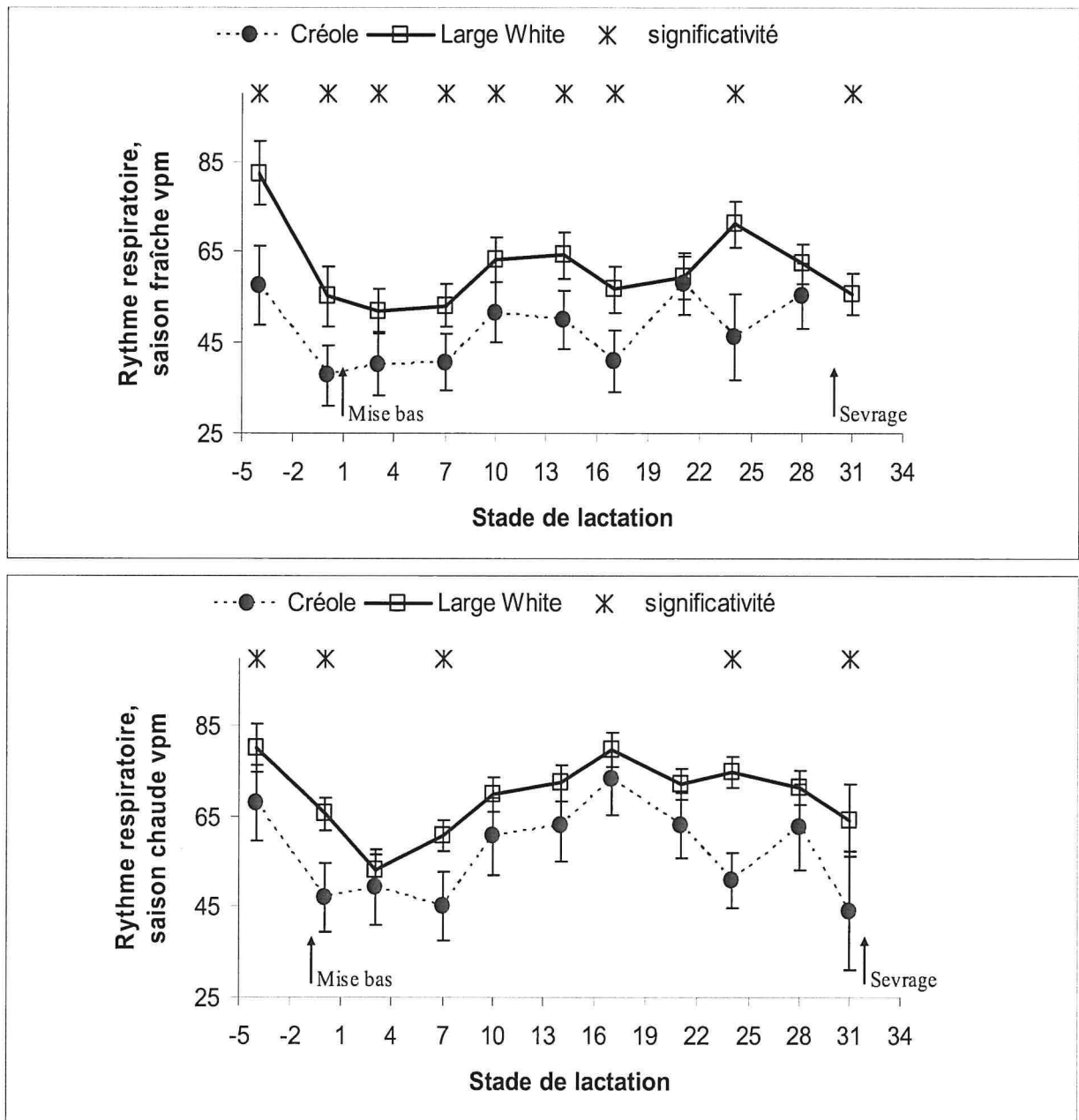


Figure 15. Effets du stade de lactation sur le rythme respiratoire des truies Créoles et Large White en saison chaude en saison fraîche

Le rythme respiratoire est affecté par l'évolution de la lactation (Figure 15). On observe une baisse du RR quelques jours avant la mise bas jusqu'à 4 jours après. Ensuite, la courbe prend une forme en cloche plus visible en saison chaude avec un pic vers les 13-16^{ème} jours de lactation. Les valeurs en saison fraîche sont plus faibles (en moyenne environ 55 vpm en saison fraîche contre 65 vpm en saison chaude). Les différences entre types génétiques sont plus souvent significatives en saison fraîche.

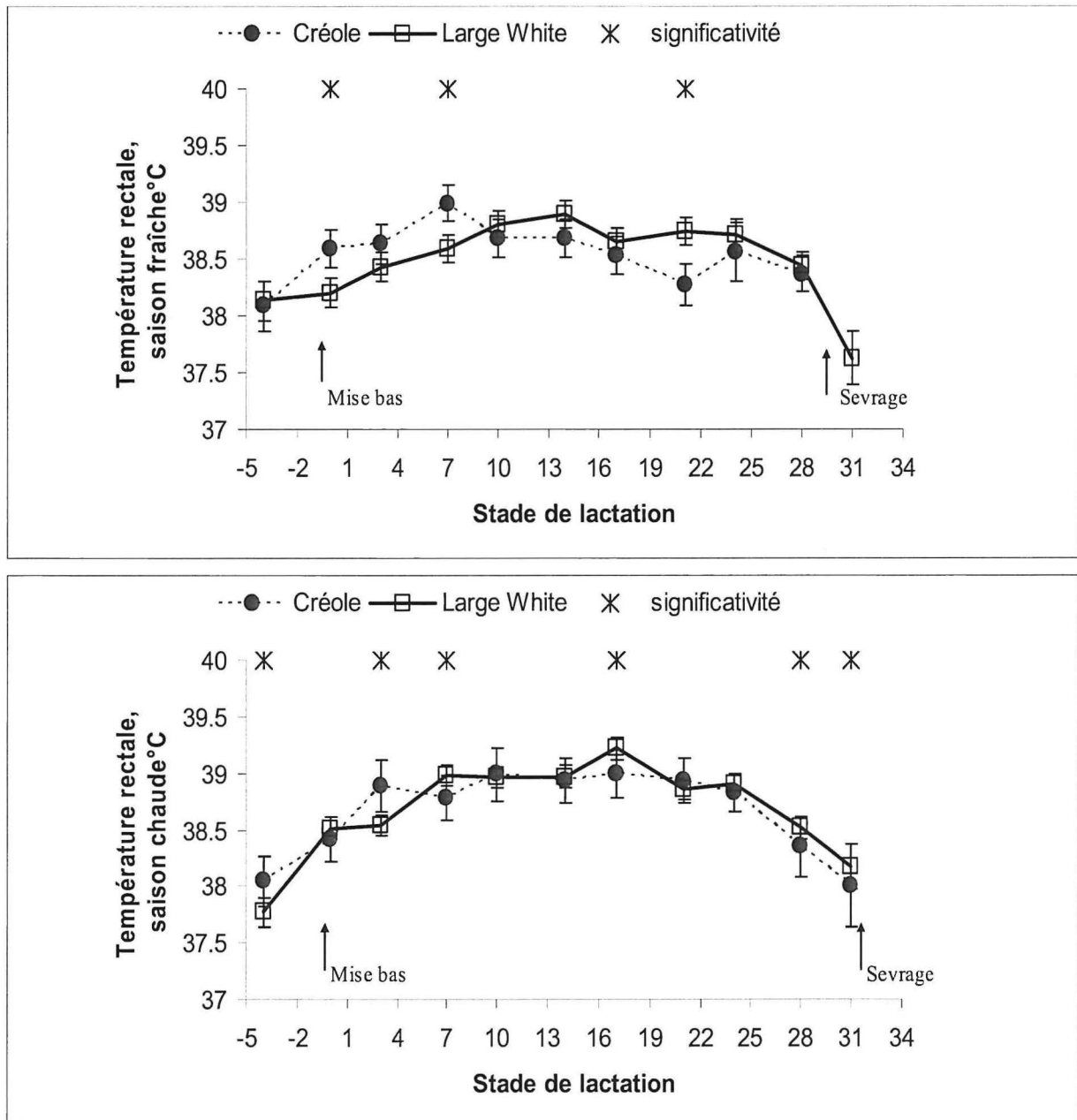


Figure 16. Effets du stade de lactation sur la température rectale des truies Créoles et Large White en saison fraîche en saison chaude

La température rectale est affectée par le stade de lactation (Figure 16). Le profil de la TR en fonction du stade de lactation diffère selon la saison. En saison fraîche, la TR avant la lactation est d'environ 38°C. Une hausse légère (+ 0,5°C) se produit de J -5 à J +13 et la TR redescend graduellement ensuite à 38°C. En saison chaude, l'amplitude de variation est plus grande (+ 1,5°C). Les valeurs de TR des deux types génétiques sont très proches, à l'exception des stades de lactation J+1, J+7 et J+22 en saison fraîche et J-5, J+4, J+7, J+19, J+28 et J+31 en saison chaude.

D) Effet de la saison et du type génétique sur les réponses physiologiques moyennes de la truie allaitante

Type génétique	Créole		Large White		ETR	Statistique (1)
Saison	Fraîche	Chaude	Fraîche	Chaude		
<i>Nombre de lactations</i>	10	6	17	30		
Température corporelle, °C						
<i>Dos</i>	36,0 ^a	35,8 ^a	36,1 ^a	36,1 ^a	0,4	
<i>Flanc</i>	35,8 ^a	35,8 ^a	36,3 ^b	36,3 ^b	0,4	TG**, B*
<i>Glande mammaire</i>	37,0 ^a	37,0 ^a	37,4 ^b	37,2 ^a	0,4	TG*
<i>Rectum</i>	38,6 ^a	39,0 ^b	38,6 ^a	38,9 ^b	0,3	S**, B*
<i>Gradient de température corporelle, °C</i>						
<i>rectal-dos</i>	2,7 ^a	3,1 ^b	2,5 ^c	2,7 ^a	0,3	S**, TG**, B [†]
<i>rectal-flanc</i>	2,8 ^a	3,2 ^b	2,3 ^c	2,5 ^c	0,3	S*, TG**, B*
<i>rectal-glande mammaire</i>	1,7 ^a	1,9 ^b	1,2 ^c	1,6 ^a	0,3	S**, TG**, B**
<i>Rythme respiratoire</i>						
<i>Nombre d'observations</i>	411	280	745	1370		
Nombre de ventilations/min	47 ^a	60 ^b	57 ^b	68 ^c	8	S**, TG**, B**

Tableau 3. Effets du type génétique et de la saison sur les paramètres physiologiques des truies en lactation. ⁽¹⁾ Analyse de variance incluant les effets du type génétique (TG), de la saison (S) et de la bande de truies (B). Niveau de signification : ** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$, [†] : $P < 0,01$. ETR : écart type résiduel.

Les effets de la saison et du type génétique sur la température rectale (TR), les températures cutanées (dos : Tdos ; flanc : Tflanc), la température de la glande mammaire (Tmam), le rythme respiratoire (RR) et les gradients internes sont présentées dans le tableau 3. Les effets de l'interaction entre la saison et le type génétique ne sont pas significatifs.

Sur l'ensemble de la lactation et de la totalité des animaux, la TR moyenne augmente en saison chaude comparativement à la saison fraîche (39,0 vs. 36,0 °C, $P < 0,01$). Les températures cutanées moyennes sont influencées par le type génétique ($P < 0,05$). La truie LW a une température du flanc et de la glande mammaire plus élevée que la truie CR (+ 0,5 et +0,3°C, respectivement, $P < 0,05$). Par contre, quoique légèrement plus élevée chez la LW, aucune différence entre type génétique n'a été observée pour la température du dos. Les gradients internes (TR-Tdos ; TR-Tflanc ; TR-Tmam) sont affectés par la saison et le type génétique ($P < 0,01$). Quelque soit le site considéré, le gradient interne est en moyenne plus élevé en saison chaude qu'en saison fraîche. En saison fraîche, la température moyenne de la glande mammaire et les températures cutanées moyennes (dos et flanc) sont plus faibles que la TR, respectivement de 1,5 et 2,6°C. En saison chaude, les valeurs correspondantes sont respectivement de 1,8 et 2,9°C. Les gradients internes sont significativement plus élevés chez les CR que chez les LW (+ 0,4°C en moyenne). Enfin, le RR moyen en lactation est significativement plus élevée en saison chaude qu'en saison fraîche (65 vs. 50 vpm, $P < 0,01$) et plus élevée chez la truie LW que chez la CR (+ 10 vpm ; $P < 0,01$).

E) Effet de la température ambiante sur les réponses physiologiques moyennes de la truie allaitante

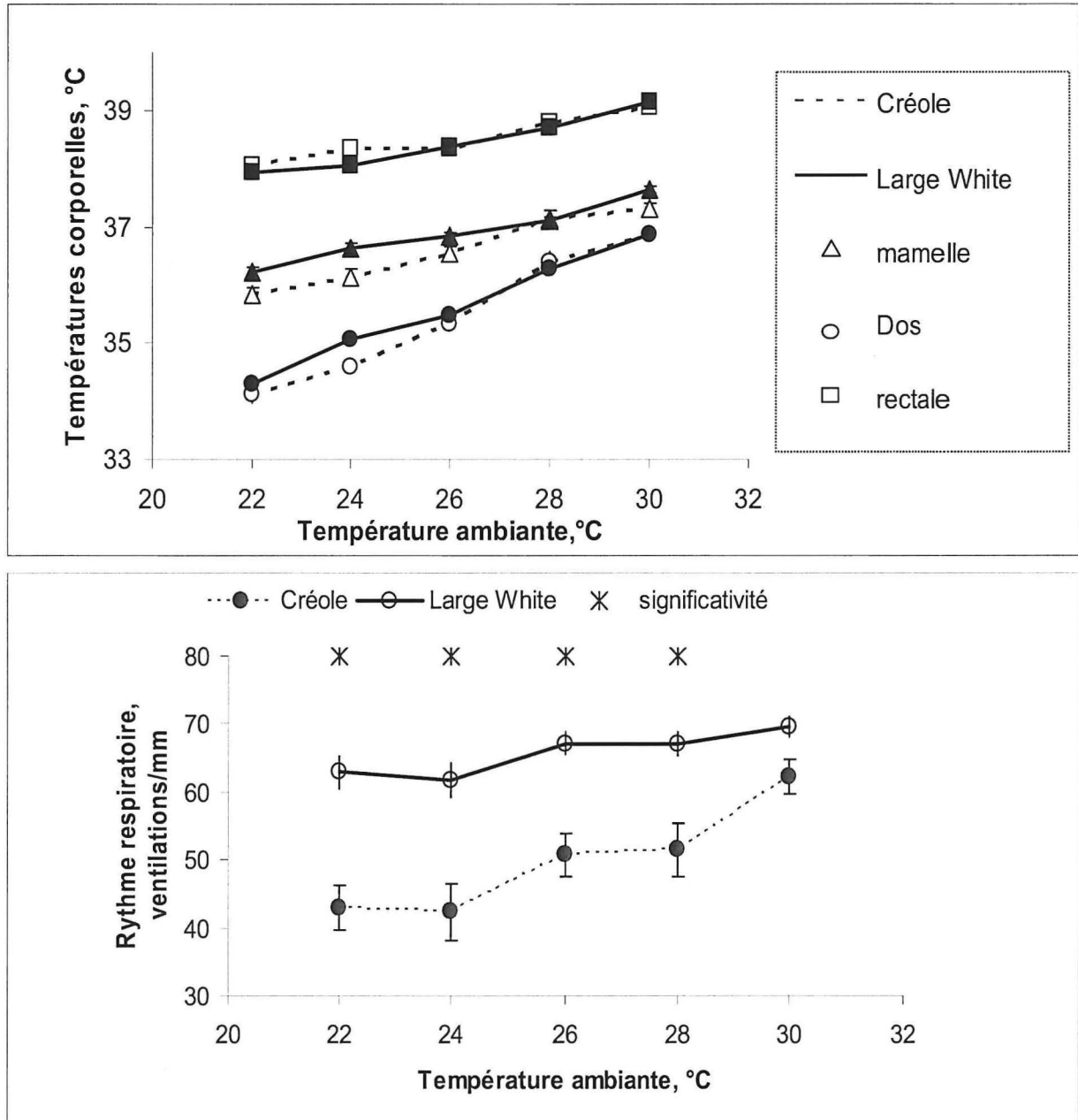


Figure 17. Effet de la température ambiante sur les températures corporelles et le rythme respiratoire des truies Créoles et Large White en lactation

Les températures cutanées augmentent avec la température ambiante entre 22 et 30°C (Figure 17 ; T_{dos} : + 2,5°C ; T_{mam} : + 1,4°C). Conformément aux valeurs moyennes en lactation (Tableau 4), T_{mam} CR est inférieure à T_{mam} LW pour la quasi-totalité des niveaux de température ambiante considérés. On observe une élévation du RR entre 22 et 30°C plus importante chez la truie CR (+ 20 vpm/min) que chez la truie LW (+ 10 vpm/min). Néanmoins, les valeurs moyennes des CR sont plus basses que celles des LW. L'écart de RR entre les deux types génétiques diminue avec l'augmentation de la température ambiante (20 vpm à 22°C à 5 vpm à 30°C). Quel que soit le type génétique, la TR augmente légèrement entre 22 et 26°C (+0,3°C), mais plus fortement entre 26 et 30°C (+0,9°C).

F) Relation entre les performances moyennes de la truie en lactation et ses réponses physiologiques moyennes

Type génétique ⁽¹⁾	Créole	Large White
Truie		
Parité	3 ± 2	3 ± 2
Nombre de lactations	16	47
Durée de la lactation, j	27,7 ± 1,7	28,7 ± 1,7
Consommation moyenne journalière, kg/j	3,56 ± 0,74	4,41 ± 0,86
Poids à la mise bas, kg	175 ± 28	237 ± 32
Perte de poids en lactation, kg/j	0,54 ± 0,43	0,81 ± 0,55
Épaisseur de lard à la mise bas, mm	33 ± 7	15 ± 3
Perte de lard en lactation, mm/j	0,15 ± 0,10	0,11 ± 0,09
<i>Porcelets</i>		
Nés vivants	9,6 ± 1,9	12,8 ± 2,2
Nombre de porcelets sevrés	8,0 ± 1,8	10,2 ± 1,9
Poids du porcelet à la naissance, kg	0,84 ± 0,17	1,36 ± 0,23
Vitesse de croissance du porcelet, g/j	185 ± 26	208 ± 27

Tableau 4. Performances moyennes des truies en lactation

⁽¹⁾Moyennes brutes obtenues sur un total de 63 lactations portant sur 13 truies Créoles et 40 truies Large White.

Les moyennes brutes et les écart-types des performances moyennes des truies allaitantes Créoles (CR) et Large White (LW) utilisées pour les besoins de l'expérimentation sont présentés dans le tableau 4. Dans nos conditions expérimentales, les truies CR ont de plus faibles performances moyennes en lactation que les LW. Le poids à la mise bas, la consommation moyenne journalière en lactation et le niveau de production (prolificité et vitesse de croissance de la portée) sont plus faibles que chez les LW. Cependant les femelles CR sont en moyenne plus grasses et perdent davantage de lard au cours de la lactation.

		Paramètres physiologiques				Performances en lactation			
		Tdos	Tflanc	Tmam	TR	PVMB	ELDMB	CMJ	GMQ
<i>Rythme respiratoire</i>	RR	0,36**	0,46**	0,20	0,39**	0,39**	-0,41**	0,44**	0,31*
Température du dos, °C	Tdos	-	0,89**	0,64**	0,57**	-0,15	-0,31*	0,08	0,17
Température du flanc, °C	Tflanc	-	-	0,65**	0,52**	0,06	-0,50**	0,21	0,30*
Température des mamelles, °C	Tmam	-	-	-	0,54**	-0,15	-0,42**	0,08	0,26*
Température rectale, °C	TR	-	-	-	-	-0,17	-0,19	-0,08	0,08
Poids vif à la mise bas, kg	PVMB	-	-	-	-	-	-0,41**	0,46**	0,45**
Épaisseur de lard dorsal à la mise bas, mm	ELDMB	-	-	-	-	-	-	-0,45**	- 0,46**
Consommation moyenne journalière, kg/j	CMJ	-	-	-	-	-	-	-	0,48**
Gain de poids de la portée, g/j	GMQ	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 5. Corrélations entre les paramètres physiologiques et les performances en lactation des truies en lactation ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Coefficient de corrélation significativement différent de zéro à ** P < 0,01, * P < 0,05.

Les corrélations entre les paramètres physiologiques moyens en lactation et les performances des truies en lactation sont présentées dans le Tableau 5. Le rythme respiratoire est significativement et positivement corrélé avec le poids à la mise bas, le gain de poids de la portée et la consommation moyenne journalière (P < 0,05). La vitesse de croissance de la portée est aussi positivement corrélée avec les températures corporelles (hormis la température rectale). Il existe une liaison négative entre l'épaisseur de lard dorsal de la truie à la mise bas et l'ensemble des paramètres physiologiques de la truie.

G) Répétabilité et reproductivité du rythme respiratoire (effet expérimentateur et effet animal)

Paramètres ⁽²⁾	Moyennes ajustées	covariable T	R ²	Statistique ⁽³⁾
Répétabilité, EV, %	78 ± 16	12	0,44	T*
Reproductibilité, AV, %	11 ± 14	-	0,17	
Variation due à l'animal, PA, %	55 ± 20	-17	0,37	T*,
Répétabilité-reproductibilité, R&R, % ⁽²⁾	80 ± 14	12	0,45	T*

Tableau 6. Reproductibilité et répétabilité⁽¹⁾ de la mesure du rythme respiratoire des truies en lactation

⁽¹⁾On entend par la répétabilité : la variation résultant des mesures prises sur le même animal par le même expérimentateur et la reproductibilité : la variation résultant d'un expérimentateur à l'autre.

⁽²⁾ EV : part de la variation due à la répétabilité de la mesure dans la variation totale de la mesure; AV : part de la variation due à la reproductibilité de la mesure dans la variation totale de la mesure ; PA : part de la variation due à la truie dans la variation totale de la mesure ; RandR : c'est la mesure de répétabilité-reproductibilité (si RandR < 30% la mesure est répétable et reproductible)

⁽³⁾. Analyse de variance incluant les effets du stade de lactation (J) et en covariables les effets de la température ambiante moyenne (T), de l'humidité relative ambiante moyenne (H) et. Niveau de signification : ** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$, ' : $P < 0,01$.

Le tableau 6 récapitule l'analyse de la répétabilité et de la reproductibilité du rythme respiratoire (RR). Les différents expérimentateurs semblent obtenir des résultats équivalents (AV de 11%) sans que la température ambiante influence les données obtenues ($P = 0,74$). Il y a un effet de la température sur la quasi-totalité des paramètres de répétabilité-reproductibilité. Par contre, l'humidité relative ambiante et le stade de lactation n'ont pas d'effets marqués sur ces paramètres. Quand la température ambiante augmente, la mesure du RR devient moins répétable ($P < 0,05$). La variation imputable à l'expérimentateur augmente de 12% par degré. En revanche, l'augmentation de la température ambiante a un effet inverse sur la variation due à l'animal ($P < 0,05$). Celle-ci diminue de 17% par degré. En se basant strictement sur les critères des études de répétabilité et de reproductibilité de l'instrumentation, on peut dire que la mesure du rythme respiratoire n'est pas répétable et non reproductible (RandR supérieur à 30%).

IV. DISCUSSION

A. Effet des variations climatiques

1) Variation nycthémerale des réponses physiologiques de la truie allaitante

Beaucoup de paramètres physiologiques oscillent autour de leur valeur moyenne sur l'échelle du nycthémer et suivent un rythme circadien (Mortola, 2007). Dans nos conditions expérimentales, la cinétique des températures cutanées (T_{dos} , T_{flanc} , T_{mam}) montre une augmentation des températures avec celui de la température ambiante, mais un décalage intervient entre le début de la diminution de la température ambiante et celui des températures cutanées. Quoique nos résultats sur l'évolution des paramètres physiologiques mesurés sur 24 heures chez la truie allaitante soient préliminaires (3 répétitions sur 32 truies en saison chaude), ils sont originaux, car, à notre connaissance, il n'existe pas de résultats disponibles dans la littérature chez la truie en lactation. Pour les porcs en croissance (données non publiées, Renaudeau D.), une augmentation des températures cutanées avec l'heure de mesure (7, 12 et 18 heures) est observée, ce qui serait en accord avec nos résultats.

Nos résultats montrent que le RR varie selon l'heure avec trois phases d'augmentations successives. De la même manière, chez le porc en croissance, on observe une diminution du RR à midi comparativement à 7 et 18 heures (données non publiées, Renaudeau D.). L'activité métabolique influençant le RR des animaux (Mortola et Seifert, 2002), il est possible qu'en plus de son rythme circadien, le RR soit aussi affectée par la cinétique de la prise alimentaire de la truie. Gourdine *et al.* (2006b) montrent que la truie LW réduit sa prise alimentaire durant les périodes les plus chaudes de la journée (10h00-16h00) et augmente sa consommation durant les périodes fraîches de la journée (17h00-24h00 et 01h00-08h00). Bien que nous n'ayons pas étudié le comportement alimentaire dans cette expérience, nous pouvons supposer qu'en plus de l'influence de la température ambiante, le rythme circadien du RR est affecté par le comportement alimentaire de la truie.

D'après Ingram et Legge (1971), chez les porcelets, la température rectale serait davantage soumise aux variations provoquées par l'ingestion ou l'activité qu'au rythme circadien. Sachant que plus de 40% de la production de chaleur de la truie allaitante est liée à l'utilisation des nutriments (Gourdine, 2006), la température rectale pourrait être influencée par l'ingestion. Si l'on se base sur les résultats de comportement alimentaire obtenus en saison chaude par Gourdine *et al.* (2006b), on peut supposer que la continuation de la hausse au-delà de 18h00 pourrait être aussi due à l'ingestion. Le profil obtenu pour le rythme circadien de la TR est proche des profils de production de chaleur chez les porcs en croissance (Henken *et al.*, 1993).

En somme, l'activité physique de l'animal, de son processus de thermorégulation, son activité métabolique, et les variations journalières climatiques de l'environnement affecteraient le rythme circadien des paramètres physiologiques, et les variations journalières des réponses physiologiques d'un animal seraient la résultante d'une combinaison d'effets (Verwoerd *et al.*, 2006).

Les mesures physiologiques sur 24 heures peuvent aider à comprendre les mécanismes de régulation mis en place sur la journée et connaître les périodes les plus critiques pour l'animal. Le peu de bibliographie disponible pour le porc et l'absence d'études, à notre connaissance, sur la truie allaitante rendent difficile la comparaison de nos résultats. Il serait intéressant de poursuivre les études sur ce sujet. En s'appuyant sur le décalage entre la température ambiante maximale et les valeurs des paramètres physiologiques maximaux, on peut conclure que le choix de l'horaire de mesures de 11h30 n'est pas le plus pertinent. Ce choix était établi en supposant des valeurs maximales de températures ambiantes aux environs de 12h00 (Gourdine *et al.*, 2006c). Nos résultats montrent que, si en général (sauf pour RR) les valeurs les plus basses ont été obtenues entre 05h00 et 07h00, les maximums des réponses physiologiques se situent le soir entre 19h00 et 23h00. Par conséquent, même si on note une hausse significative des paramètres physiologiques entre 7h00 et 11h30, on sous-estime l'amplitude des variations en utilisant ces horaires.

2) Effet du stade de lactation sur les réponses physiologiques de la truie allaitante

Nos courbes de températures cutanées, RR et TR en fonction du stade de lactation ont une forme en cloche. La courbe semble centrée et maximale vers le milieu de la lactation (J+13 à J+16). Cette forme est en accord avec les formes des courbes obtenues pour la température rectale par Gourdine *et al.* (2006c) et pour les températures cutanées et rectales chez la truie allaitante par Renaudeau (2001). Ces auteurs émettent l'hypothèse que sur l'échelle de la lactation, les températures rectales suivent les variations de production laitières. Il en est peut être de même pour l'ensemble des paramètres physiologiques chez les truies allaitantes.

Un fait remarquable est à noter : le RR diminue au début de la lactation. Kelley et Curtis (1978) montrent également une diminution du RR des truies avant la mise bas. Cette diminution du RR pourrait être imputable au « bouleversement » hormonal qui a lieu aux alentours de la mise bas.

3) Effet de la saison et de la température ambiante sur les réponses physiologiques moyennes de la truie allaitante

D'après Black *et al.* (1993), la zone de thermo-neutralité de la truie allaitante se situe entre 16 et 22°C. Dans nos conditions expérimentales, quelque soit la saison considérée, la température ambiante moyenne excède les températures de cette zone, ce qui suggère que les truies sont continuellement en situation de stress thermique.

L'amplitude de variation de la température ambiante (24 à 29°C) est supérieure à la TCs de la truie allaitante. De ce fait, nos résultats sont en accord avec ceux de Quiniou et Noblet (1999) qui observent également une hausse des paramètres physiologiques (Tdos, TR, RR) au-delà de 25°C. Néanmoins, ces auteurs observent entre 26°C et 29°C une valeur constante de la glande mammaire (38°C). Ces différences entre études peuvent s'expliquer par le fait que dans notre expérimentation, les truies étaient soumises aux variations climatiques tandis que Quiniou et Noblet (1999) ont maintenu les truies à une température constante. L'évacuation de chaleur par voie sensible semble plus importante lorsque la truie est soumise à une chaleur plus élevée. Cela explique d'autant plus les valeurs supérieures de la saison chaude.

Nos résultats montrent des valeurs moindres du RR en saison fraîche. La voie latente semble davantage utilisée en saison chaude. L'accroissement du RR avec la température est également montré par Quiniou et Noblet (1999). Entre 25 et 29°C, le RR passe de 81 à 124 vpm pour Quiniou et Noblet (1999). Cette hausse est plus importante que celle trouvée pour les LW (entre 24 et 30°C de 60 à 70 vpm). Cependant, nos truies ont été élevées sous ce climat et l'adaptation possible pourrait réduire les impacts de la chaleur.

Nos résultats montrent une élévation de TR élevée à partir de 26°C. La TCs (25°C d'après Quiniou et Noblet (1999) est la valeur pour laquelle l'animal ne parvient plus à se réguler et où la température interne augmente. Nos résultats sont donc en accord avec Quiniou et Noblet (1999) et Silva *et al.* (2007). Ces résultats peuvent être mis en parallèle avec le plateau de RR chez les LW (Figure 17). Les truies ne pouvant plus se refroidir via l'accélération du RR, la température interne augmente. Le stress thermique est avéré à partir de 26°C.

Lorsque nous avons étudié l'effet de la température ambiante, nous n'avons pas pris en compte l'effet de l'humidité. Or la température et l'hygrométrie ambiantes n'agissent pas individuellement, mais ensemble, sur l'animal et ces paramètres climatiques sont étroitement liés par le bilan de chaleur du corps (Berbigier, 1988). La forte humidité limite les pertes par évaporation (Holmes *et al.*, 1977). A titre indicatif, nos résultats montrent que pour une température ambiante de 28°C, le RR des truies LW augmente 30 vpm/min lorsque l'humidité relative passe de 50 à 80%. Toutefois, l'effet de l'humidité est difficile à quantifier pour le porc dont le potentiel de sudation est faible, car les pertes de chaleur latente dépendent plus de facteurs physiologiques que physiques (Berbigier, 1988). De plus, il est statistiquement difficile de prendre en compte l'effet combiné de la température et de l'humidité ambiante. Chez d'autres espèces, un index combinant ces deux paramètres (THI) existe, mais pour le porc, il n'est pas encore établi.

4) Relation entre les performances moyennes de la truie en lactation et ses réponses physiologiques moyennes

La corrélation positive entre le poids de la truie à la mise bas et RR suggère que plus un animal est lourd, plus il produit de chaleur et donc plus il a de chaleur à évacuer. Les travaux sur l'alimentation (voir paragraphe I. E.2) montrent que plus l'animal ingère, plus il produit une extra chaleur de digestion de l'aliment. La production de lait et le GMQ sont liés, la croissance des porcelets dépendant de la quantité de lait produite. Les accroissements de production de chaleurs liées à la production de lait doivent être évacués. Ainsi, la corrélation positive du RR avec le poids, l'ingestion journalière et le GMQ ainsi qu'entre le GMQ, Tflanc et Tman s'explique et semble appuyer les données disponibles.

L'épaisseur de lard dorsal est corrélée négativement avec les paramètres physiologiques et les performances moyennes de production. Deux explications sont possibles et complémentaires. Premièrement, l'épaisseur de lard « isole » thermiquement l'animal (Knut-Schmidt et Dunod, 1998) et réduit sa capacité à évacuer la chaleur par voie sensible. Deuxièmement, la corrélation négative entre les différents paramètres physiologiques et l'épaisseur de lard dorsal (ELD) pourrait être une indication indirecte d'une baisse de la production de chaleur métabolique avec l'adiposité. Dourmad *et al.* (1999) montrent que l'état corporel à la mise bas influence la prise alimentaire de la truie allaitante. L'adiposité des truies diminuerait leur ingestion d'autant plus qu'elles sont soumises à un stress thermique (Corrélation négative entre ELD et ingestion moyenne journalière).

B. Effet du type génétique sur les réponses physiologiques de la truie allaitante

Nos résultats sur les performances moyennes en lactation sont en accord avec les résultats de Gourdine *et al.* (2004 ; 2006a) obtenus dans les mêmes conditions climatiques et sur le même type d'animaux. L'effet du type génétique sur les réponses physiologiques de la truie allaitante est peu documenté (Gourdine *et al.*, 2006c). Chez le porc en croissance, Renaudeau (2005) n'observe pas de différences significatives entre CR et LW sur les températures cutanées. En désaccord avec ces résultats, notre étude montre une température du flanc moins élevée chez la truie CR (-0,5°C). Cela est peut être due à la différence de stade physiologique. L'effet du type génétique est aussi visible à l'échelle du nyctémère et à l'échelle du stade de lactation, les valeurs des paramètres physiologiques des CR étant inférieures à celle des LW. Le gradient de température TR-Tflanc est plus élevé chez la truie CR que chez la LW entre 22°C et 26°C, mais il est identique entre type génétique au-delà de 26°C. Cela suggère qu'en-dessous de 26°C, les pertes de chaleur par la voie sensible contribuent davantage à la régulation de la température interne chez la truie CR que chez la truie LW.

Nos résultats montrent un effet du type génétique sur le rythme respiratoire, avec des valeurs supérieures chez les LW. Chez le porc en croissance, Renaudeau (2005) montre qu'au-delà de la TCs, les porcs LW ont des RR supérieurs à ceux des CR. Il est intéressant de noter que lorsque la température devient trop élevée (26°C), les truies LW semblent avoir atteint une vitesse de ventilation maximale au contraire des CR dont le RR ne cesse d'augmenter avec la température ambiante jusqu'à 30°C. On peut donc penser que quelque soit le type génétique, la voie latente s'active au fur et à mesure de l'augmentation de la température ambiante pour pallier le stress thermique, mais aussi que la température critique d'évaporation semble différer entre les deux types génétiques.

Dans notre étude, la TR des truies ne diffère pas selon le type génétique considéré. Au contraire, Gourdine *et al.* (2006c) observent une interaction type génétique × saison, avec une plus grande accentuation de l'augmentation du TR chez les LW (+0,4°C) que pour les CR (+0,2°C). Les différences observées sur la TR entre leur étude et la nôtre sont sans doute liées à la différence d'effectifs qui ne permet pas d'appréhender convenablement l'effet de l'interaction (43 CR et 42 LW vs. 13 CR et 40 LW dans la nôtre).

Les différences de réponses physiologiques observées entre les CR et les LW sont probablement dues à des différences de conditions physiques (poids, épaisseur de lard dorsal) et des niveaux de production. En effet, plus une truie est productive, plus elle produit de la chaleur et donc ses températures corporelles et son rythme respiratoire sont plus élevés. Les LW étant issues d'une lignée hyper productive au contraire des CR, les valeurs supérieures observées ne sont peut être attribuables qu'aux différences de production. Néanmoins, on peut aussi penser que les meilleures réponses physiologiques de la truie CR sont en partie liées à une plus grande capacité à perdre de la chaleur. Dans tous les cas, les différences de niveau de production entre les deux types génétiques rendent les comparaisons difficiles pour distinguer la part imputable à la génétique par rapport à celle due au niveau de production.

Nous avons étudié les effets de la chaleur au niveau d'organes comme la peau (températures cutanées) ou les poumons (RR). Pour approfondir les résultats, il conviendrait d'étudier les effets de la chaleur au niveau cellulaire. Pour cela, il faudrait effectuer une prise de sang afin de doser les concentrations de différents métabolites sanguins (hormones, cortisol, ...). Dans ce but, une prise de sang par bande et par animal est possible en routine. Elle pourrait se faire avant le sevrage afin que le stress du sevrage n'interfère pas avec les résultats. Cette prise de sang permettrait de comparer aussi bien l'effet de la saison fraîche que celui du type génétique.

CONCLUSION

Les truies allaitantes élevées sous un climat tropical présentent des réponses physiologiques au stress thermique différentes selon la saison. Une hausse des paramètres physiologiques avec la température ambiante est visible, expliquant l'accentuation du stress thermique en saison chaude. Outre la température ambiante, notre étude montre que les réponses physiologiques des truies sont aussi affectées par le rythme circadien et le stade de lactation. De plus, les réponses physiologiques sont influencées par le type génétique de la truie. Nos résultats suggèrent que les mesures des températures cutanées et rectales sont de bons indicateurs de la thermorégulation de la truie et qu'elles permettent la distinction des animaux les mieux adaptés au climat. La mesure du rythme respiratoire, bien que peu répétable, reste une mesure importante, car elle est la seule indicatrice facilement mesurable des pertes de chaleur par voie latente chez le porc. Les mesures physiologiques effectuées sur 24 heures étant *a priori* une première étude sur la truie allaitante, ces résultats méritent d'être approfondis et poursuivis par d'autres études afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la variation nyctémérale des réponses physiologiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Al-Tamimi H. J. 2007. Thermoregulatory response of goat kids subjected to heat stress. *Small Ruminant Research* 71: 280-285.
- Bal A., Calemand C., Cotton C., Hachette E. 1992. Régulation: La régulation des fonctions. Hachette Education, Collection Synapses. 156p.
- Barb C. R., Estienne M.J., Kraeling R.R., Marple D.N., Rampacek G.B., Rahe C.H., Sartin J.L. 1991. Endocrine changes in sows exposed to elevated ambient temperature during lactation. *Domestic Animal Endocrinology*. 8: 117-127.
- Berbigier P. 1988. Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale. INRA, Paris. 238 p
- Black J.L., Mullan B.P., Lorschy M.L., Giles L.R. 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Production Science* 35: 153-170.
- Bouraoui, R., Mondher L., Majdoub A., Djemali M., Belyea R. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a mediterranean climate. *Animal Research* 51: 479-491.
- Canope I., Raynaud Y. 1981. Etude comparative des performances de reproduction, d'engraissement et de carcasse des porcs créoles et large white en guadeloupe. *Journée des Recherches Porcines en France* 13: 307-316.
- Cruz, V. F., Barbosa J.C. 2006. Animal housing in hot climates : A multidisciplinary view. In: *Animal housing in hot climates Brazil*. 16-19.
- D'Allaire S., Drolet R., Brodeur D. 1996. Sow mortality associated with high ambient temperatures. *Canadian Veterinary Journal* 37: 237-239.
- Delgado C., Rosegrant M., Steinfeld H., Siméon E., Courbois C. 1999. Livestock to 2020: The next food revolution. Vision initiative food, agriculture, and the environment discussion paper 28. Paper 28, International Food Policy Research Institute, Washington D.C. 74p
- Dourmad J.Y. 1993. Standing and feeding behaviour of the lactating sow : Effect of feeding level during pregnancy. *Applied Animal Behaviour Science* 37: 311-319.
- Dourmad J.Y., Père M.C, et Etienne M.. 1999. Impact de la nutrition sur les événements de la mise bas chez la truie, St-Malo, Palais du Grand Large.
- Dutertre C., Massabie P., Ginestet S., Granier R. 1998. Effects of evaporative cooling on pig house ambience and on fattening pig growth performance. [french]. *Journées de la Recherche Porcine en France* 30: 337-342.
- Frisch J.E. 1981. Changes occurring in cattle as a consequence of selection for growth rate in stressful environment. *Journal of Agricultural Sciences* 96: 23-38.
- Gourdine J.L. 2006. Analyse des facteurs limitant les performances de reproduction des truies élevées sous un milieu tropical humide. Phd., Institut national agronomique Paris-Grignon. 186p
- Gourdine J.L., Bidanel J.P., Noblet J., Renaudeau D. 2006a. Effects of breed and season on performance of lactating sows in a tropical humid climate. *Journal of Animal Science* 84: 360-369.
- Gourdine J.L., Bidanel J.P., Noblet J., Renaudeau D. 2006b. Effects of season and breed on the feeding behavior of multiparous lactating sows in a tropical humid climate. *Journal of Animal Science* 84: 469-480.
- Gourdine J.L., Bidanel J.P., Noblet J., Renaudeau D. 2006c. Rectal temperature in lactating sows: Effects of breed, season, and parity in tropical humid climate. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 20: 832-841.
- Gourdine J.L., Mandonnet N., Naves M., Bidanel J.P., Renaudeau D. 2006d. Genetic parameters of rectal temperature in sows in a tropical humid climate and its

- association with performance during lactation: Preliminary results, Belo Horizonte, MG, Brazil. p Communication 16-09.
- Gourdine J.L., Renaudeau D., Noblet J., Bidanel J.P. 2004. Effects of season and parity on performance of lactating sows in a tropical climate. *Animal Science* 79: 273-282.
- Hahn G.L., Nienaber J.A., Eigenberg R.A. 1993. Environmental influences on the dynamics of thermoregulation and feeding behavior in cattle and swine, Coventry, England. 1106-1116.
- Hansen P.J., Arechiga C. F. 1999. Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science* 77: 36-50.
- Henken A.M., Brandsma H.A., Van der Hel W., Verstegen M.W.A. 1993. Circadian rhythm in heat production of limit-fed growing pigs of several breeds kept at and below thermal neutrality. *Journal of Animal Science* 71: 1434-1440.
- Holmes C.W., Close W.H., Haresign W., Swan H., Lewis D. 1977. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. In: Butterworths (ed.) *Nutrition and the climatic environment. Studies in the agricultural and food sciences.* p 51-73.
- Huynh T.T.T., Aarnink A., Gerrits W., Heetkamp M., Canh T., Spoolder H., Kemp B., Verstegen M. 2005. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Applied Animal Behaviour Science* 91: 1-16.
- Ingram D.L., Legge K.F. 1971. The influence of deep temperatures and skin temperatures on peripheral blood flow in the pig. *Journal of physiology* 215: 693-707.
- Kamada T., Notsuki I. 1987. Effects of environmental temperature, humidity and air movement on heat loss particularly that of latent heat, from the pig. *Japanese Journal of Zootechnical Science* 58: 147-154.
- Kelley K.W., Curtis S.E. 1978. Effects of heat stress on rectal temperature, respiratory rate and activity rates in periparturient sows and gilts. *Journal of Animal Science* 46: 356-361.
- Knut Schimdt Nielsen, 1998. *Physiologie Animale : Adaptation et milieux de vie.* DUNOD. 611p.
- Larrouy D., Ambid L., Richard D. 1995. La thermoregulation. *Sciences* 128 No. Nathan Université. p 1-128. Nathan, Toulouse.
- Laspiur J.P., Trottier C. 2001. Effect of dietary arginine supplementation and environmental temperature on sow lactation performance. *Livestock Production Science* 70: 159-165.
- Le Dividich J., Noblet J., Herpin P., Van Milgen J., *et al.* 1998. Thermoregulation Progress in pig science. p 229-263. Nottingham University Press, Nottingham.
- Lorschy M.L., Giles L.R., Smith C.R., Gooden J.M., Black J.L. 1991. Food intake, heat production and milk yield of lactating sows exposed to high temperature. p 81.
- Lynch P.B. 1977. Effect of environmental temperature on lactating sows and their litter. *Irish Journal of Agricultural Research* 16: 123-130.
- Marai I.F.M., El-Darawany A.A., Fadiel A., et Abdel-Hafez M.A.M.. 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep - a review. *Small Ruminant Research* 71: 1-12.
- Massabie P., Granier R., Gasc A. 2001. Effet de la vitesse d'air sur le comportement et les performances du porc charcutier en fonction de la température ambiante. *Journées Rech. Porcine en France* 33: 1-7.
- McGlone J.J., Stansbury W. F., Tribble L. F. 1988. Management of lactating sows during heat stress: Effects of water drip, snout coolers, floor type and a high energy-density diet. *Journal of Animal Science* 66: 885-891.
- Messias de Bragança M., Mounier A.M., Prunier A. 1997. La sous-nutrition explique-t-elle les effets d'une température ambiante élevée sur les performances des truies? *Journées de la Recherche Porcine en France* 29: 81-88.

- Messias de Bragança M., Mounier A. M., Prunier A. 1998. Does feed restriction mimic the effects of increased ambient temperature in lactating sows? *Journal of Animal Science* 76: 2017-2024.
- Messias de Bragança M., Quesnel H., Mounier A. M., Prunier A. 1995. Influence de la température ambiante sur les performances zootechniques et certains paramètres sanguins chez des truies large white primipares. p 37-44.
- Morand-Fehr P., Doreau M. 2001. Ingestion et digestion chez les ruminants soumis à un stress à la chaleur. *INRA Production Animales* 14: 15-27.
- Mortola J.P. 2007. Correlations between the circadian patterns of body temperature, metabolism and breathing in rats. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 155: 137-146.
- Mortola J.P., Seifert E.L. 2002. Circadian patterns of breathing. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 131: 91-100.
- Noblet J., Dourmad J.Y., Le Dividich J., Dubois S. 1989. Effect of ambient temperature and addition of straw or alfalfa in the diet on energy metabolism in pregnant sows. *Livestock Production Science* 21: 309-324.
- Noblet J., Etienne M. 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *Journal of Animal Science* 67: 3352-3359.
- Peng J.J., Somes S.A., Rozeboom D.W. 2007. Effect of system of feeding and watering on performance of lactating sows. *Journal of Animal Science* 85: 853-860.
- Prunier A., Messias de Bragança M., Le Dividich J. 1997. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livestock Production Science* 52: 123-133.
- Quiniou N. 2003. Performances et longévité de la truie selon les conditions d'ambiance et d'alimentation en maternité. *Techni Porc* 26: 19-27.
- Quiniou N., Dubois S., Noblet J. 2000a. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science* 63: 245-253.
- Quiniou N., Noblet J. 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *Journal of Animal Science* 77: 2124-2134.
- Quiniou N., Noblet J., Renaudeau D. 2000b. Une source de stress pour la truie allaitante : La température ambiante. *Techni Porc* 23: 23-30.
- Quiniou N., Noblet J., Renaudeau D., Dubois S. 2000c. Influence of high ambient temperature on feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Animal Science* 70: 471-479.
- Quiniou N., Renaudeau D., Collin A., Noblet J. 2000d. Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques. *INRA Production Animales* 13: 233-245.
- Renaudeau D. 2001. Adaptation nutritionnelle et physiologique aux températures ambiantes élevées chez la truie en lactation. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1.
- 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., Huc E., Noblet J. 2007. Acclimation to high ambient temperature in large white and Caribbean creole growing pigs. *Journal of Animal Science* 85: 779-790.
- Renaudeau D., Huc E., Kerdoncuff M., et. Gourdine J.L. 2006. Acclimation to high ambient temperature in growing pigs: Effects of breed and temperature level, Tainan, Taiwan (ROC). p 177-182.
- Renaudeau D., Mandonnet N., Tixier-Boichard M., Noblet J., Bidanel J. P. 2004. Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs : La voie génétique (attenuate the

- effects of high ambient temperature on pig performance: The genetic selection). *INRA Productions Animales* 17: 93-108.
- Renaudeau D., Noblet J., Dourmad J.Y. 2003. Effect of ambient temperature on mammary gland metabolism in lactating sows. *Journal of Animal Science* 81: 217-231.
- Renaudeau D., Quiniou N., Dubois S., et Noblet J. 2002. Effect of high ambient temperature and dietary protein level on feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Animal Research* 51: 227-243.
- Renaudeau D., Quiniou N., Noblet J. 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *Journal of Animal Science* 79: 1240-1249.
- Rinaldo D., Canope I., Christon R., Rico C., Ly J., *et al.* 2003. Creole pigs in Guadeloupe and Cuba: A comparison of reproduction, growth performance and meat quality in relation to dietary and environmental conditions. *Pig News and Information* 24: 17-26.
- Schoenherr W.D., Stahly T.S., Cromwell G.L. 1989. The effects of dietary fat or fiber addition on yield and composition of milk from sows housed in a warm or hot environment. *Journal of Animal Science* 67: 482-495.
- Silva B.A.N., Oliveira R.F.M., Donzele J.L., Fernandes H.C., Abreu M.L.T., Noblet J., Nunes C.G.V. 2006. Effect of floor cooling on performance of lactating sows during summer. *Livestock Science* 105, Issues 1-3 : 176-184
- Thiel P.K., Jorgensen H., Jakobsen K. 2004. Energy and protein metabolism in lactating sows fed two levels of dietary fat. *Livestock Production Science* 89: 265-276.
- Trévidy J. J. 1999. La conduite de l'alimentation du poulet de chair en climat chaud. In: Itavi (ed.) *La production de poulets de chair en climat chaud*. p 78-81, Paris.
- Van Milgen J., Noblet J., Dubois S., Bernier J.F. 1997. Dynamic aspects of oxygen consumption and carbon dioxide production in swine. *British Journal of Nutrition* 78: 397-410.
- Verstegen M.W.A., Mesu J., Van Kempen G.J.M., Geerse C. 1985. Energy balance of lactating sows in relation to feeding level and stage of lactation. *Journal of Animal Science* 3: 731-740.
- Verwoerd W., Wellby M., Barrell G. 2006. Absence of a causal relationship between environmental and body temperature in dairy cows (*bos taurus*) under moderate climatic conditions. *Journal of Thermal Biology* 31: 533-540.
- Von Borell E., Langbein J., Després G., Hansen S., Leterrier C., Minero M., Mohr E., Prunier A., Marchant-Forde J., Marchant-Forde R., Valance D., Veissier I. 2007. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals -- a review. *Physiology & Behavior* In Press, Corrected Proof.
- West J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86: 2131-2144.
- Xin H. 1999. Assessing swine thermal comfort by image analysis of postural behaviors. *Journal of Animal Science* 77: 1-9.

SITE IFIP : septembre 2007

<http://www.itp.asso.fr/eco/esspro.htm#monde>

SITE INRA ANTILLES GUYANE : septembre 2007

http://www.antilles.inra.fr/les_recherches/unite_de_recherche_en_productions_animales