



Analysis of factors affecting performance of reproductive sows in a tropical humid climate.

Jean-Luc Gourdine

► To cite this version:

Jean-Luc Gourdine. Analysis of factors affecting performance of reproductive sows in a tropical humid climate.. Life Sciences [q-bio]. INAPG (AgroParisTech), 2006. English. NNT : 2006INAP0011 . pastel-00002320

HAL Id: pastel-00002320

<https://pastel.hal.science/pastel-00002320>

Submitted on 3 Apr 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INA Paris-Grignon
Département des Sciences
Animales



Ecole Doctorale
ABIès



Institut national de la recherche
agronomique
SRZ Station de Recherches
Zootechniques

Thèse

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON

Discipline : Génétique animale et adaptation

présentée et soutenue publiquement par

Jean-Luc Bertrand GOURDINE

Le 24/04/2006

Analyse des facteurs limitant les performances de reproduction des truies élevées sous un milieu tropical humide

Co-directeurs de thèse : Jean-Pierre BIDANEL et David RENAUDEAU

Jury :

Jean-Yves DOURMAD	Ingénieur de Recherches, I.N.R.A.	Rapporteur
Jean-Paul POIVEY	Directeur de Recherches, I.N.R.A.	Rapporteur
Amadou BA	Professeur à l'U.A.G. (Pointe-à-Pitre)	Examineur
David RENAUDEAU	Chargé de Recherches, I.N.R.A.	Examineur
Etienne VERRIER	Professeur à l'INA P-G (Paris)	Président du jury

*Pou gangann an mwen, honè é respé
misié mèt a manniok Jozèf Goudinn épi fanm poto mitan man Kolèt Balou Goudinn
pou fòs a lanmou a yo pou mwen, pou sa yo apwand mwen limilité pou viv évè sajès.*

A mes parents, honneur et respect
Monsieur Joseph Gourdine et Madame Colette Balourd Gourdine
Pour m'avoir donné leur amour, pour leurs enseignements de la vie.

*Pou fanmi an mwen (Balou, Goudinn, Kanselié), ekspwézéman dé fwè an mwen, Joël é
Janfilip Goudinn pou lanmou a yo é fòs yo ban mwen pou mwen kimbé
chak jou, vi, fòs é santé*

*Pou sikakoko an mwen, manzèl Sandya Féras, pou lanmou ou ka poté mwen é pas ou ka
konpwand mwen... ni lontan i ja tan pou nou fè tan.. ♥*

A ma grande famille (Balourd, Gourdine, Cancelier), en particulier à mes frères Joël et
Jean-Philippe Gourdine, pour leur amour et leurs encouragements quotidiens,
vie, force et santé.

A ma douce, Mademoiselle Sandhya Feras, pour son amour et sa compréhension... ♥

**Je dédie cette thèse à Monsieur Alain Xandé qui nous a quitté cette année, que
votre rigueur, votre enthousiasme, votre dynamique, vos qualités humaines nous
servent à tous et à toutes de repères et de références.**

Remerciements

Davwa « tout biten vinn on biten pa rapòt on biten » (Puisque « une chose est devenue ce qu'elle est grâce à une autre chose »), je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'ensemble de l'équipe de la Station de Recherches Zootechniques, permanents et temporaires. Ces travaux de recherches dans le cadre de cette thèse sont les résultats d'un travail collectif. Ma profonde gratitude va donc naturellement à toute l'équipe « porcs » de l'Unité Expérimentale en Production et Santé Animale, Messieurs **Brun Racon, Ascens Gérard Gravillon, Félix Silou, Bruno Bocage, Mélain Bructer, Mario Giorgi** et Mesdames **Caroline Anaïs et Katia Benony**.

Merci à Monsieur **Harry Archimède**, pour m'avoir proposé le sujet de thèse, en tant que Directeur de la Station de Recherches en Zootechnie, pour sa disponibilité, son écoute et ses conseils à la résolution des mes tracasseries quotidiennes. Vous êtes allé souvent au-delà de votre rôle administratif et scientifique, et vous m'avez été d'un très grand soutien moral. Je vous suis très reconnaissant.

Merci à Monsieur **David Renaudeau**, mon co-directeur de thèse, pour son encadrement, sa patience, sa disponibilité, son enthousiasme et sa rigueur scientifique et la confiance qu'il m'a accordée tout au long de ce travail. Merci d'avoir consacré une très grande partie de votre temps à l'élaboration de ce présent manuscrit.

Merci à Monsieur **Jean-Pierre Bidanel**, mon deuxième co-directeur de thèse, pour avoir accepté de co-diriger la thèse, pour son suivi à distance des travaux et ses conseils avisés pour la rédaction des articles.

Merci à Monsieur **Jean Noblet**, pour sa disponibilité, son encadrement scientifique, sa rigueur scientifique, sa participation active dans mes travaux de recherches, ses aides précieuses malgré ses activités prenantes.

Merci à Monsieur **Etienne Verrier**, mon enseignant tuteur, pour le suivi du bon déroulement de ma thèse, vos conseils avisés et vos cours en génétique quantitative.

Je tiens à remercier vivement les membres du jury de cette thèse :

- Messieurs **Jean-Yves Dourmad** et **Jean-Paul Poivey** pour m'avoir fait l'honneur d'être rapporteurs de cette thèse,
- Monsieur **Amadou Ba** pour avoir accepté d'être membre du jury.

Merci à Monsieur **Michel Naves**, pour m'avoir tout d'abord initié à la recherche zootechnique, et à la recherche scientifique tout court, en acceptant de m'encadrer pendant mon stage de DEA. Ce fut la genèse de mon aventure à la Station.

Merci à Monsieur **Alberto Menendez-Buxadera** pour m'avoir initié à la génétique quantitative lors de mon stage de DEA et pour m'avoir donné le goût à cette discipline ; merci par ailleurs pour vos conseils et vos suggestions tout le long de mon parcours initiatique de doctorant, pour vos qualités humaines.

Merci à Madame **Gisèle Alexandre**, pour ses conseils avisés, sa bonne humeur et son attention pendant mon marathon doctoral.

Merci à Madame **Hélène Quesnel**, pour ses conseils avisés et particulièrement pour la correction de certaines parties du mémoire de thèse et sa participation à une des publications.

Merci à Madame **Nathalie Mandonnet** pour sa collaboration dans les aspects génétiques.

Merci à Monsieur **Maurice Mahieu**, pour ses conseils avisés et pour la relecture du manuscrit.

Merci à Madame **Maryline Boval** pour ses conseils et ses encouragements.

Merci à Mademoiselle **Mélanie Flainville** pour la relecture du manuscrit et les corrections de construction et d'orthographe.

Merci aux doctorants et doctorantes de la Station. Particulièrement à **Audrey Fanchone** et **Xavier Xandé** « fôs pou vansé a tèt a zot, kimbé sé moli ki rèd », pour leurs conseils et leur soutien moral; les belles drôles de dames, **Caroline Assoumaya** « môso fè-la » pour ta disponibilité et ton soutien moral, **Carine Marie-Magdeleine** et **Léticia Liméa** pour leur soutien, leur bonne humeur qui m'ont permis de travailler dans un cadre convivial et agréable.

Merci au post-doctorant **Jean-Christophe Bambou** pour ses conseils. Il m'a fait part de son expérience, ce qui m'a été d'une grande aide en fin de thèse.

Merci à tous les étudiants et étudiantes qui ont effectués des stages à la Station, en particulier **Alain Mannetier, Régis Alexandre, Pierre-Justin Dumoulin, Sophia Vardin, Elisabeth Huc.**

Merci à Monsieur **Nanette** et Monsieur **Ode Coppry** pour l'obtention des données météorologiques.

Merci à l'ensemble du personnel de l'Unité de Recherches Zootechniques, pour avoir collaboré de près ou de loin à l'avancée de ce travail, particulièrement Madame **Marie-Josée Noel-Bevis**, Monsieur **Elin Calif**, Monsieur **Charles Paul-Urbain-Georges**, Madame **Arlette Le Pêcheur**, Monsieur **Luber Tel**.

Merci à la **Région Guadeloupe**, au **Département de Génétique Animale** (D.G.A. I.N.R.A) pour la prise en charge de la bourse de thèse et à la communauté Européenne (F.E.O.G.A.-F.E.D.E.R) pour le soutien financier à la réalisation de ce travail.

Liste des publications

Ce travail a été réalisé à la Station de Recherches Zootechniques (I.N.R.A, Petit-Bourg, Guadeloupe), au sein de l'équipe « Physiologie et Génétique à l'Adaptation au Stress » (P.G.A.S) et il s'inscrit dans deux des trois grands axes de recherche de l'équipe de la S.R.Z. Il s'agit de l'étude de la production porcine en milieu tropical et de l'amélioration génétique des populations animales locales. Les différents travaux de recherches menés au cours de cette thèse ont fait l'objet des publications suivantes :

Articles Scientifiques intégrés dans la thèse

Gourdine, J.L., Renaudeau, D., Noblet, J., Bidanel, J.P. *Effect of season and parity on performance of lactating sows in a tropical climate. **Animal Science**, 79:273-282, 2004*

Gourdine, J.L., Bidanel, J.P., Noblet, J., Renaudeau, D. *Effect of breed and season on performance of lactating sows in a tropical humid climate. **Journal of Animal Science**, 84:360-369, 2006*

Gourdine, J.L., Bidanel, J.P., Noblet, J., Renaudeau, D. *Effect of season and breed on the feeding behaviour of multiparous lactating sows in a tropical humid climate. **Journal of Animal Science**, 84:469-480*

Gourdine, J.L., Quesnel, H., Bidanel, J.P., Renaudeau, D. *Effect of season, parity and lactation on reproductive performance of sows in a tropical humid climate. **Asian-Australian Journal of Animal Science**, 19 (7).*

Gourdine, J.L., Bidanel, J.P., Noblet, J., Renaudeau, D. *Rectal temperature of lactating sows in a tropical humid climate according to breed, parity and season. (soumis à **Asian-Australian Journal of Animal Science**).*

Gourdine, J.L., Mandonnet, N., Naves, M., Bidanel, J.P., Renaudeau, D. *Genetic parameters of rectal temperature in sows in a tropical humid climate and its association with*

performance during lactation: preliminary results. accepté au 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 2006

Autres articles Scientifiques

Gourdine, J.L., Renaudeau, D., Anaïs, C., Benony, K., Bocage, B. *A comparison of of lactating performance of Creole and Large White sows in a tropical humid climate: preliminary results. Archivos de Zooetnia, 54:423-428, 2005*

Gourdine, J.L., Renaudeau, D., Anaïs, C. and Benony, K. *Influence du climat tropical et du type génétique sur les performances et le comportement alimentaire de la truie en lactation. Journees de la Recherche Porcine en France 37:179-186, 2005.*

Renaudeau, D., **Gourdine, J.L.**, Quiniou, N., Noblet, J. *Feeding behaviour of lactating sows in hot conditions. Pig News and Information, 26:17N-22N, 2005.*

Tables des matières

Remerciements	1
Liste des publications	5
Tables des matières	7
Liste des tableaux	10
Listes des figures	11
Introduction générale	13
1. La thermorégulation chez le porc	17
<i>1.1. La production de chaleur ou la thermogenèse</i>	17
<i>1.2. Les pertes de chaleur ou la thermolyse</i>	20
1.2.1. Les pertes de chaleur par voie sensible	21
1.2.2. Les pertes de chaleur par voie latente	21
<i>1.3. L'équilibre gain de chaleur / pertes de chaleur</i>	22
1.3.1. Définition de la zone de thermoneutralité	22
1.3.2. Régulation thermogenèse / thermolyse	24
2. Effets de la température ambiante élevée sur les performances de la truie reproductrice	26
<i>2.1. Effets de la température sur la consommation et le comportement alimentaire de la truie en lactation</i>	27
<i>2.2. Effets de la température sur la croissance des porcelets</i>	30
<i>2.3. Effets de la température sur la mobilisation des réserves de la truie en lactation</i>	32
<i>2.4. Les performances de reproduction de la truie</i>	33
<i>2.5. L'effet des températures élevées sur l'état sanitaire de la truie</i>	35
3. Les facteurs de variation des performances de la truie reproductrice	36
<i>3.1. Facteurs de variation des performances de lactation de la truie</i>	36
3.1.1. Facteurs liés à la truie	36
<i>a. Etat corporel de la truie</i>	36
<i>b. Rang de portée</i>	37
<i>c. Génotype</i>	39
3.1.2. Facteurs liés aux conditions d'élevage.	41
<i>a. Les facteurs climatiques autres que la température ambiante</i>	41

<i>b. Les facteurs liés à l'alimentation</i>	42
<i>c. Les facteurs liés à la conduite d'élevage</i>	43
3.2. <i>Facteurs de variations des performances de reproduction au chaud</i>	44
3.2.1. <i>Facteurs liés à la truie</i>	44
<i>a. Etat corporel et numéro de portée de la truie</i>	44
<i>b. Génotype</i>	45
3.2.2. <i>Facteurs liés à l'environnement</i>	46
<i>a. Les facteurs climatiques</i>	46
<i>b. Les facteurs liés à la conduite d'élevage</i>	47
Etudes expérimentales	49
Dispositif expérimental	50
1. <i>L'environnement climatique</i>	50
2. <i>La conduite de l'élevage</i>	52
2.1. <i>La conduite générale de l'élevage</i>	52
2.2. <i>La conduite alimentaire</i>	53
<i>a. Alimentation en gestation</i>	53
<i>b. Alimentation en lactation</i>	54
3. <i>Description des mesures réalisées</i>	55
3.1 <i>Les mesures en gestation</i>	55
3.2. <i>Les mesures en lactation et en période post sevrage</i>	55
4. <i>Description de la base de données</i>	56
1. Etude expérimentale 1	58
1.1. <i>Introduction à l'étude expérimentale 1</i>	59
1.2. <i>Publication n°1</i>	60
1.3. <i>Principaux enseignements de l'étude expérimentale 1</i>	71
2. Etude expérimentale 2	72
2.1. <i>Introduction à l'étude expérimentale 2</i>	73
2.2. <i>Publication n°2</i>	74
2.3. <i>Principaux enseignements de la Publication 2</i>	85
2.5. <i>Publication n°3</i>	86
2.6. <i>Principaux enseignements de la Publication 3</i>	99
3. Etude expérimentale 3	100
3.1. <i>Introduction à l'étude expérimentale 3</i>	101

3.2. Publication n°4	102
3.3. Principaux enseignements de l'étude expérimentale 3	112
4. Etude expérimentale 4	113
4.1. Introduction à l'étude expérimentale 4	114
4.2. Publication n°5	115
4.3. Publication n°6	137
4.3. Principaux enseignements de l'étude expérimentale 4	142
Synthèse et Discussion générale	143
1. Performances la truie Large White en milieu tropical humide	144
1.1. La consommation et le comportement alimentaire	144
1.1.1. La consommation d'aliment de la truie en lactation	144
1.1.2. Le comportement alimentaire de la truie en lactation	145
1.2. Les performances de lactation et de reproduction	146
1.2.1. La mobilisation des réserves corporelles	146
1.2.2. La production laitière et la croissance des porcelets	147
1.2.3. Les performances de reproduction	149
2. Facteurs de variation des performances de la truie reproductrice en milieu tropical humide	150
2.1. Effets du rang de portée de la truie et de son interaction avec la saison	150
2.1.1. Les performances de lactation	150
2.1.2. La température interne de la truie en lactation	151
2.1.3. Les performances de reproduction	152
2.2. Effets du type génétique et de son interaction avec la saison	153
2.2.1. La consommation et le comportement alimentaire	154
2.2.2. Les performances de lactation	155
2.2.3. Les performances de reproduction	156
3. Existe-t-il une variabilité inter et intra type génétique de l'adaptation à la chaleur ?	157
3.1. Entre type génétique	157
3.2. Intra type génétique	158
Conclusions et Perspectives	161
Références bibliographiques	163
Formations suivies	179

Liste des tableaux

Etude bibliographique

Tableau 1. Synthèse bibliographique des études disponibles sur la mesure de la PC totale, des besoins d'entretien et des rendements d'utilisation de l'énergie chez la truie en lactation 18

Tableau 2. Estimation de l'effet du niveau de mobilisation des réserves sur la PC totale chez une truie de 250 kg produisant 10 kg/j de lait 20

Tableau 3. Effet de la température ambiante sur la performance de lactation de la truie 28

Tableau 4. Effet de la température ambiante sur les performances de lactation chez la truie en alimentation égalisée (pair feeding) 30

Tableau 5. Effet de la température ambiante sur la composition du lait chez la truie 32

Tableau 6. Héritabilités et corrélations génétiques avec le nombre de nés vivants des caractères de reproduction de la truie 40

Tableau 7. Effets de la concentration énergétique sur la consommation quotidienne d'énergie nette de la truie en lactation élevée au chaud. 42

Tableau 8. Effets de la teneur en protéines de l'aliment sur les performances des truies en lactation élevées au chaud 43

Dispositif expérimental

Tableau 1. Caractéristiques principales des saisons (1994-2005) 51

Tableau 2. Composition chimique de l'aliment de lactation 54

Tableau 3. Base de données zootechniques du troupeau de truies de l'Unité expérimentale en Production et Santé Animales (UEPSA) 57

Discussion générale

Tableau 1. Comparaison des résultats concernant les travaux disponibles sur les effets de la température élevée sur le comportement alimentaire de la truie multipare en lactation 145

Tableau 2. Effet de la saison sur la composition corporelle et chimique de la mobilisation des réserves corporelles de la truie Large White en lactation en milieu tropical humide 147

Listes des figures

Etude bibliographique

Figure 1. Représentation de la thermorégulation par un équilibre entre le gain de chaleur et la production de chaleur (thermogenèse), et les pertes de chaleur (thermolyse) chez le porc 17

Figure 2. Répartition des différentes composantes de la production de chaleur (PC_j, PC_{ali} et PC_{act}, respectivement, pour PC à jeun, PC associée à l'utilisation de l'aliment et PC liée à l'activité physique) selon le stage physiologique. 19

Figure 3. Représentation du transport de la chaleur par la voie sensible du milieu interne du corps de l'animal vers la peau et de la peau vers le milieu ambiant 20

Figure 4. Relation entre la fréquence respiratoire et l'évaporation d'eau dans le tractus respiratoire 22

Figure 5. Influence de la température ambiante sur la température rectale, la production de chaleur et les pertes de chaleur par voie latente ou sensible de la truie en lactation (TC_i, TC_e et TC_s, respectivement, pour températures critiques inférieure, d'évaporation et supérieure. 23

Figure 6. Représentation mécanistique du système thermorégulateur 24

Figure 7. Evolution de la fréquence des ventilations pulmonaires de la truie en lactation avec l'augmentation de la température ambiante 25

Figure 8. Evolution de la température rectale de la truie en lactation avec l'augmentation de la température ambiante 26

Figure 9. Principales conséquences de l'augmentation de la température ambiante pendant la lactation et des principaux facteurs de variation sur les performances de la truie, susceptibles de moduler l'impact du stress thermique 27

Figure 10. Effet de la température ambiante sur la consommation d'aliment de la truie en lactation 28

Figure 11. Effet de la température sur l'évolution de la prise alimentaire au cours de la journée 29

Figure 12. Effet de la température ambiante sur la fréquence des tétées 31

Figure 13. Evolution de la perte de poids vif pendant la lactation de la truie avec l'augmentation de la température ambiante 33

Figure 14. Relation entre l'épaisseur de lard à la mise bas et la consommation moyenne journalière de la truie en lactation 37

Figure 15. Evolution de la consommation moyenne journalière d'aliment de la truie en lactation avec le numéro de portée 38

Figure 16. Effet du numéro de portée sur la production laitière de la truie 38

Figure 17. Effet du niveau d'hygrométrie ambiante sur la vitesse de croissance (GMQ) des porcs 42

Figure 18. Effet de la perte de poids vif relativement au poids à la mise bas de la truie sur l'intervalle entre le sevrage et l'oestrus selon le numéro de portée 45

Dispositif expérimental

Figure 1. Températures minimale, moyenne et maximale mensuelles (1994-2005) 50

Figure 2. Hygrométries minimale, moyenne et maximale mensuelles (1994-2005) 51

Figure 3. Variations journalières de la température ambiante et de l'humidité relative en fonction des saisons 52

Discussion générale

Figure 1. Effet du type génétique et de la saison sur les performances de reproduction des truies primipares. 156

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les données de la FAO (FAO, <http://faostat.fao.org/faostat>) indiquent que l'augmentation du cheptel porcin mondial est principalement due au fort développement de la production porcine dans les pays dit « émergents » relativement aux pays industrialisés (Europe, Amérique du Nord). A l'heure actuelle, près de 20% du cheptel porcin mondial se trouve dans les régions tropicales, essentiellement en Asie du Sud et en Amérique du Sud. Dans ces régions, les projections de la FAO indiquent que la production de viande porcine passera de 13,0 à 17,5% de la production porcine mondiale entre 2004 et 2020 (Delgado et al., 1999). D'après ces auteurs, l'augmentation de la production va s'accompagner d'une intensification des élevages dans les zones périurbaines et le recours à des génotypes exotiques importés d'Europe ou des Etats-Unis d'Amérique. Les régions tropicales sont caractérisées par des contraintes climatiques importantes (températures ambiantes et humidités élevées) pour la production porcine pouvant induire une diminution des performances et, par conséquent une réduction possible du revenu de l'éleveur (St-Pierre et al., 2003).

Sous l'effet de la chaleur, la truie en lactation diminue sa consommation d'aliment, ce qui constitue un des mécanismes les plus efficaces pour réduire sa production de chaleur et maintenir son homéothermie. Cette chute de l'appétit induit une diminution la production de lait avec des conséquences négatives à court et moyen terme sur la croissance de la portée. Par ailleurs, la réduction de la prise alimentaire accentue le déficit énergétique auquel est généralement soumise la truie en période de lactation. Ceci peut dans certains cas avoir des répercussions sur les performances de reproduction ultérieures, et plus généralement, sur la carrière de la truie.

Ces trente dernières années, le nombre d'études ayant traité des effets du stress thermique sur les performances des truies reproductrices est particulièrement élevé, que ce soit sur les performances de reproduction des truies (Christenson, 1981; Love et al., 1995; Tast et al., 2001) ou sur les performances en lactation (Lynch, 1977; Stansbury et al., 1987; Laspiur et Trottier, 2001). Cependant, les travaux ont été le plus souvent réalisés en chambre climatique avec deux ou plusieurs niveaux de températures élevées maintenues constantes sur toute la journée et pendant toute la période expérimentale, avec une faible hygrométrie. Pratiquement, les résultats obtenus dans ces conditions ne sont pas facilement transposables à celles existant en milieu tropical humide où la température et l'humidité ambiante varient au cours du nyctémère et au cours de l'année. Par ailleurs, les travaux disponibles dans la bibliographie

ont été le plus souvent menés sur un seul type génétique et sans prendre en compte l'effet du rang de portée. En fait très peu d'informations sont disponibles sur les performances des truies reproductrices élevées dans les régions tropicales (Steinbach, 1976; Singh et al., 1989; Christon et al., 1999; Tantasuparuk et al., 2000).

Le premier objectif de ce travail de thèse est de quantifier les effets du climat tropical et de ses variations saisonnières sur le comportement alimentaire et les performances de la truie reproductrice. Le second objectif est de caractériser les effets du rang de portée ou du type génétique sur les performances de la truie reproductrice élevée en milieu tropical.

Dans un premier temps, afin de déterminer les principaux effets du « chaud » sur les performances de reproduction des truies, la première partie de ce document sera consacrée à une synthèse des données de la bibliographie sur les effets de la température ambiante élevée et de son interaction avec d'autres facteurs (numéro de portée, type génétique, humidité,...) sur les performances de lactation et de reproduction de la truie. Etant donné le faible nombre d'études en milieu tropical humide, l'essentiel de ce travail de synthèse bibliographique a porté sur des études menées en bâtiments climatisés.

Les résultats du travail expérimental seront présentés dans la seconde partie sous forme d'articles scientifiques. Notre hypothèse de travail est que la variation saisonnière rencontrée dans nos conditions d'élevage en milieu tropical humide est le principal facteur explicatif de la réduction des performances de la truie. L'effet du climat est susceptible d'interagir avec d'autres facteurs d'élevages. Pour cette raison, nous nous sommes intéressés à l'interaction entre le climat tropical, le rang de portée, et le type génétique. Nous disposons de deux types génétiques, un génotype « exotique », la race Large White utilisée dans nos expériences comme la race de référence puisqu'elle fait partie des races de grande diffusion - que ce soit en race pure ou en croisement - et un génotype local, la race Créole, réintroduite dans l'unité expérimentale dans laquelle nous avons travaillé, pour disposer d'un modèle d'adaptation au climat tropical.

Nous nous sommes d'abord intéressés aux effets du climat tropical humide et à ses interactions avec le rang de portée et le type génétique sur les performances de lactation de la truie. La lactation est une période particulièrement critique pour la truie reproductrice, étant données l'importance de ses besoins nutritionnels pour satisfaire la croissance de sa portée et les éventuelles conséquences néfastes sur les performances de reproduction post-sevrage,

notamment sur le retour à la cyclicité de la truie. De plus, puisque la réduction de l'appétit est l'une des principales réponses des truies face à un stress thermique, il nous a semblé pertinent de s'attarder sur le comportement alimentaire de la truie allaitante afin de mieux comprendre le contrôle et la régulation de la prise alimentaire et d'envisager d'établir une stratégie alimentaire appropriée. Ensuite, nous nous sommes intéressés aux performances de reproduction après le sevrage. Etant donné le nombre relativement important de performances chez les truies de race Large White (11 années d'enregistrements, 1 181 saillies), nous avons cherché à les valoriser en étudiant d'abord les performances de reproduction de la truie Large White (celles des truies Créoles seront abordées dans la discussion générale). Ensuite, nous nous sommes focalisés sur les aspects physiologiques, en étudiant les variations de la température interne de la truie, mesurée par sa température rectale, en fonction de la saison, du rang de portée et du type génétique. Nous nous sommes notamment attachés à déterminer les liens entre les performances zootechniques des animaux et leur température rectale, ce qui nous a conduit, de part la forte variabilité inter-individuelle, à déterminer dans une étude préliminaire les paramètres génétiques de la température rectale de la truie allaitante.

Enfin, dans une troisième partie, l'ensemble des résultats obtenus dans ce travail de thèse sera discuté et des perspectives de recherches seront développées.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. La thermorégulation chez le porc

Comme tout animal homéotherme, le porc est capable de maintenir sa température interne dans des limites étroites (i.e., autour de 38,6°C chez la truie en lactation) malgré des variations importantes de la température ambiante. L'équilibre entre les pertes de chaleur par l'organisme (thermolyse) et la production de chaleur (thermogenèse) et/ou le gain de chaleur provenant de l'extérieur est maintenu par la fonction de thermorégulation (Figure 1). Dans cette section, les principes généraux de la production et de la perte de chaleur du porc sont décrits en mettant l'accent sur la truie en lactation.

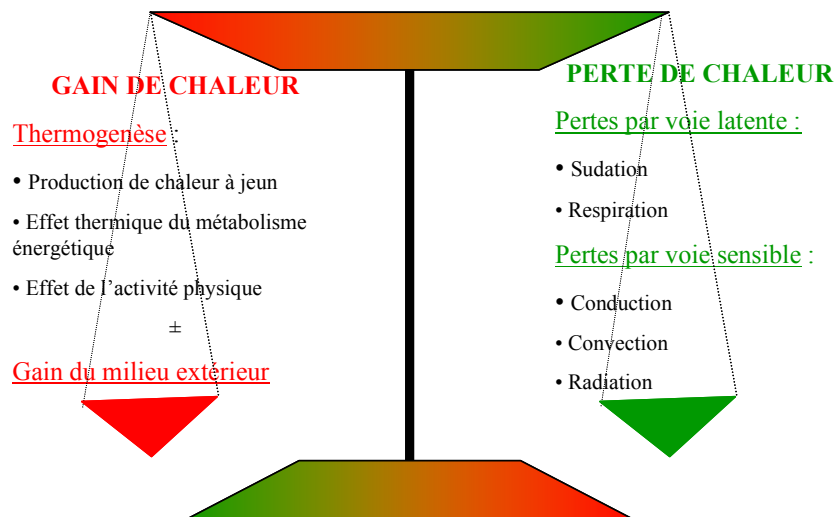


Figure 1. Représentation de la thermorégulation par un équilibre entre le gain de chaleur et la production de chaleur (thermogenèse), et les pertes de chaleur (thermolyse) chez le porc (adapté de Holmes et Close, 1977)

1.1. La production de chaleur ou la thermogenèse

La production de chaleur (PC) est la résultante de l'activité métabolique de différents tissus ou organes qui participent de façon plus ou moins importante à la balance thermique. Ainsi, bien que représentant 4 à 6% de la masse corporelle, les composants de l'appareil digestif tels que le foie, l'estomac, l'intestin grêle ou le mésentère, contribuent à 40% de la thermogenèse de base. Au contraire, les muscles squelettiques qui représentent environ 50% de la masse corporelle, produisent seulement 20 à 30% de la PC basale (Larrouy et al., 1995).

D'un point de vue zootechnique, la thermogenèse correspond à la production de chaleur associée à l'utilisation de l'énergie ingérée pour répondre aux besoins d'entretien et de production (dépôt de tissus et/ou production laitière). Expérimentalement, seule la PC totale

peut être mesurée sur un animal. Contrairement au porc en croissance ou à la truie gestante, il est relativement difficile de mesurer la PC totale chez la truie allaitante notamment à cause de la présence des porcelets sous la mère. Ces difficultés expliquent le faible nombre d'études disponibles sur le sujet (Tableau 1).

Tableau 1. Synthèse bibliographique des études disponibles sur la mesure de la PC totale, des besoins d'entretien et des rendements d'utilisation de l'énergie chez la truie en lactation^a

	Valeur	Rang de portée	Génotype	Références
PC totale, kJ/kg ^{0.75}	731	multipare	LR	Verstegen et al. (1985)
	816	primipare	LW	Noblet et Etienne (1987a)
	776	NC	NC	Babinsky et al (1993) cité par Thiel et al. (2004)
	686	multipare	LR × LW	Thiel et al. (2004)
Besoin d'entretien, kJ EM/kg ^{0.75}	445	primipare	LW × LR	Burlacu et al. (1983)
	456	primipare	LW	Noblet et Etienne (1987a)
Rendement d'utilisation de l'énergie, %				
A partir de l'EM de l'aliment	71	primipare	LW × LR	Burlacu et al. (1983)
	72	multipare	LR	Verstegen et al. (1985)
	72	primipare	LW	Noblet et Etienne (1987a)
A partir de l'EM des réserves	88	multipare	LR	Verstegen et al. (1985)
	88	primipare	LW	Noblet et Etienne (1987a)

^a PC et EM, respectivement pour production de chaleur et énergie métabolisable ; M et P pour respectivement multipares et primipares ; TP, LR et LW pour respectivement type génétique, Landrace et Large White ; NC pour non communiqué

Par des techniques de modélisation (Noblet et al., 1990; van Milgen et al., 1997a), il est possible de décomposer la production de chaleur en trois composantes principales chez le porc en croissance: **la PC à jeun, la PC liée à l'activité physique et la PC liée à l'effet thermique de l'aliment. La PC à jeun** est la composante la plus importante de la PC totale. Cette composante varie en fonction du poids vif ou du stade physiologique de l'animal. Elle représente selon le stade physiologique environ 55 à 70% de la PC totale (Figure 2). La PC à jeun varie en fonction de facteurs liés à la conduite d'élevage, comme le niveau alimentaire précédant la mise à jeun et la durée de cette mise à jeun, et des facteurs liés à l'animal comme le poids relatif du tube digestif et/ou la composition corporelle (van Milgen et al., 1997b et 1998). En effet, des travaux montrent une PC à jeun plus élevée chez les animaux « maigres » (Large White, Piétrain) que chez les animaux « gras » (Meishan) (de Lange et al., 2003). Cet effet du type génétique est en partie expliqué par une augmentation du poids des viscères et une réduction de la teneur en muscle chez les animaux « gras ».

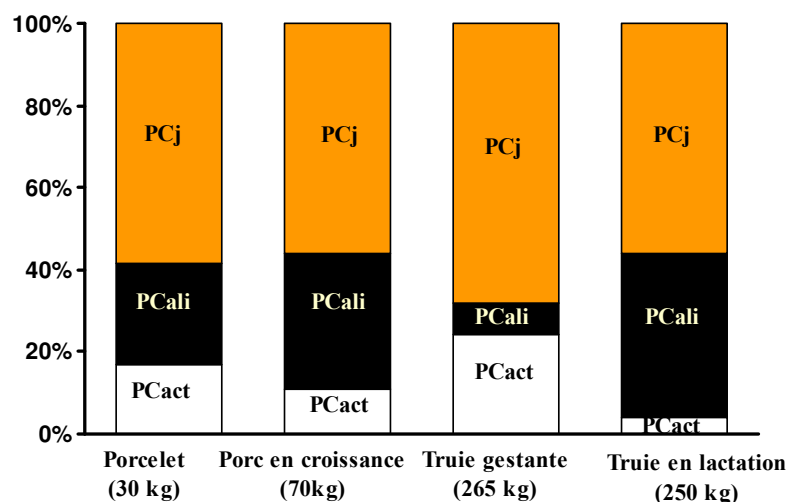


Figure 2. Répartition des différentes composantes de la production de chaleur (PCj, PCali et PCact, respectivement, pour PC à jeun, PC associée à l'utilisation de l'aliment et PC liée à l'activité physique) selon le stage physiologique (d'après van Milgen et al., 2000).

La décomposition de la PC totale chez la truie en lactation est estimée pour une truie de 250 kg, produisant 10 kg/j de lait, consommant 13,45 MJ/kg d'énergie métabolisable et ne perdant pas de poids pendant la lactation. Pour cela, nous avons utilisé la valeur de 0,72 pour le rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la synthèse de lait, une valeur des besoins d'entretien de 0,46 MJ/kg de poids métabolique (Noblet et Etienne, 1987b et Noblet et al., 1990). Nous avons utilisé une valeur de 27 kJ/kg de poids métabolique pour le coût énergétique de l'activité physique et une valeur moyenne de 113 min/j d'activité physique estimée par Dourmad (1993); la PC à jeun est estimée par différence entre la PC à l'entretien et à la PC liée à l'activité physique.

La PC liée à l'activité physique varie essentiellement en fonction des conditions de logement, d'alimentation, des conditions climatiques et du stade physiologique (Noblet et al., 1993 et 1997a et b). Elle représente environ 2 à 7% de la PC totale chez la truie en lactation (voir revue de Renaudeau, 2001).

La PC associée à l'utilisation des nutriments pour les dépôts de tissus corporels correspond classiquement aux dépenses énergétiques liées à l'ingestion, la digestion et l'utilisation métabolique de l'aliment chez le porc. Par conséquent, cette composante de la PC est fonction du niveau d'ingestion et de la composition de l'aliment. En effet, d'après le système « énergie nette » développé par Noblet et al. (1994), l'effet thermique de l'aliment augmente avec un aliment riche en protéines ou en parois végétales et diminue avec un régime riche en matières grasses ou en amidon. Chez la truie en lactation, les réserves corporelles sont également utilisées pour la production de lait. Compte tenu de la différence de rendement d'utilisation de l'énergie pour la synthèse de lait provenant de l'aliment et des réserves (respectivement 72 et 88%, Noblet et Etienne, 1987a), la PC de la truie allaitante varie probablement en fonction du niveau de mobilisation des réserves corporelles (Tableau 2).

Par ailleurs, avec l'amélioration de la prolificité des truies et la création de lignées synthétiques sino européennes, les besoins d'entretien et de production, et donc la PC totale, de la truie en lactation ont augmenté. En d'autres termes, les lignées de truies disponibles actuellement pourraient être plus sensibles à l'augmentation de la température ambiante.

Tableau 2. Estimation de l'effet du niveau de mobilisation des réserves sur la PC totale chez une truie de 250 kg produisant 10 kg/j de lait. ^a

Ingestion d'aliment, kg/j	3,2	4,2	5,0	6,0	7,0	7,5
Perte de poids, kg/j	2,0	1,5	1,1	0,6	0,2	0,0
Production de chaleur, MJ/j						
PC à l'entretien ^b	27,1	27,5	27,9	28,4	28,8	28,9
PC production						
PC aliment ^c	4,3	8,1	11,1	14,9	18,3	19,4
PC réserves ^d	5,3	4,0	2,9	1,6	0,4	0,0
PC totale	36,7	39,6	41,9	44,9	47,5	48,3

^a EM pour énergie métabolisable; ^b PC pour production de chaleur; PC à l'entretien estimée à partir d'une valeur des besoins d'entretien de 0,46 MJ/kg de poids métabolique; ^c PC liée à l'effet thermique de l'aliment estimée en considérant une teneur moyenne en EM de 13,45 MJ/kg avec un rendement d'utilisation de l'EM de l'aliment de 72%; ^d PC réserves estimée en considérant une teneur en énergie des réserves de 22,18 MJ/kg de perte de PV et un rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable des réserves corporelles de 88% (Noblet et Etienne, 1987b; Noblet et al., 1990).

1.2. Les pertes de chaleur ou la thermolyse

Les échanges de chaleur entre l'animal et son milieu peuvent s'opérer selon deux voies principales : la voie sensible (non évaporative) et la voie latente (évaporative) (Figure 3).

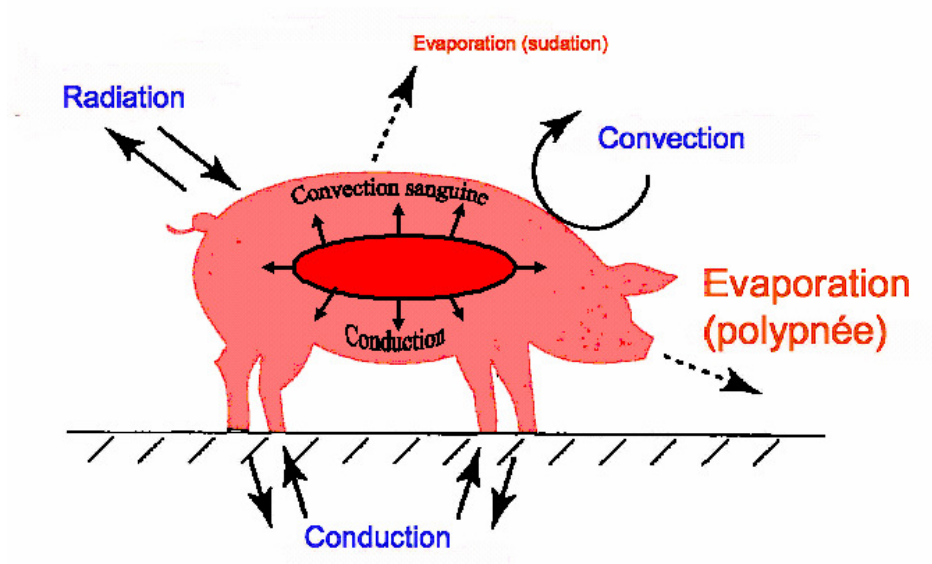


Figure 3. Représentation du transport de la chaleur par la voie sensible du milieu interne du corps de l'animal vers la peau et de la peau vers le milieu ambiant (d'après Larrouy et al., 1995)

1.2.1. Les pertes de chaleur par voie sensible

Les pertes de chaleur par la voie sensible ou non évaporative sont basées sur des phénomènes physiques peu coûteux en énergie et peuvent être décomposées en deux étapes (Ingram, 1973). La première étape consiste à transporter la chaleur des organes internes (ou noyau) vers la peau et la seconde étape consiste à éliminer la chaleur de la peau vers le milieu extérieur. Le transport de la chaleur du noyau vers la peau est réalisé par deux voies principales : 1/ un transport de chaleur par conduction à travers les différents tissus en fonction de leurs différentes conductivités thermiques ; 2/ un transport de chaleur par convection sanguine (Larrouy et al., 1995). Ce dernier mode de transport dépend principalement des ajustements cardiovasculaires et de la différence de température entre le sang artériel et le sang veineux cutané (Meyer, 1983). Le transport de chaleur entre la peau et le milieu extérieur est effectué par conduction, convection et/ou radiation (Larrouy et al., 1995). Les pertes de chaleur par conduction et convection varient en fonction des propriétés isolantes de la peau (pilosité, tissu adipeux) (Dauncey et Ingram, 1986; Rinaldo et Le Dividich, 1991), de la conductivité thermique du milieu extérieur (air, sol, congénères) (Mount, 1967; Xin, 1999) et de la surface de contact entre la peau et le milieu extérieur. Ces pertes fluctuent également en fonction d'autres facteurs climatiques (vitesse de l'air, humidité relative) (Verstegen et van der Hel, 1974; Holmes et Close, 1977). Les pertes par radiation sont une propriété de tout corps chaud d'émettre des ondes électromagnétiques dans le domaine infrarouge. Ces pertes sont essentiellement fonction du gradient de température entre le milieu ambiant et la peau (Meyer, 1983).

En résumé, les pertes de chaleur par la voie sensible varient en fonction de la surface d'échange, du gradient de température entre la peau et le milieu extérieur, de la conductivité thermique de l'animal (adiposité corporelle, pilosité), et du milieu (vitesse du vent, type de sol).

1.2.2. Les pertes de chaleur par voie latente

L'animal peut également dissiper de la chaleur par évaporation d'eau (voie latente). Le passage de l'état liquide à l'état vapeur s'accompagne d'une consommation de chaleur (refroidissement) de 2,5 kJ/g d'eau à 25°C (Larrouy et al., 1995). La vitesse de vaporisation de l'eau dépend de la température et de l'hygrométrie ambiante (Ingram, 1973). Les pertes de chaleur par évaporation peuvent se faire par sudation et/ou par une accélération du rythme respiratoire (polypnée). Comparativement aux bovins, le porc dispose d'un nombre

peu élevé de glandes sudoripares fonctionnelles (soit 20 à 200 fois moins) (Ingram, 1965). Par conséquent, la plus grande partie des échanges par évaporation se fait au niveau des poumons. D'après Kamada et Notsuki (1987, cité par Collin (2000)), il est possible d'estimer les pertes par évaporation au niveau du tractus respiratoire en mesurant le rythme respiratoire (Figure 4). Enfin, l'augmentation de la fréquence respiratoire se traduit par une activité accrue des muscles associés à la respiration, ce qui peut provoquer une augmentation de la production de chaleur (Quiniou et al., 2000a).

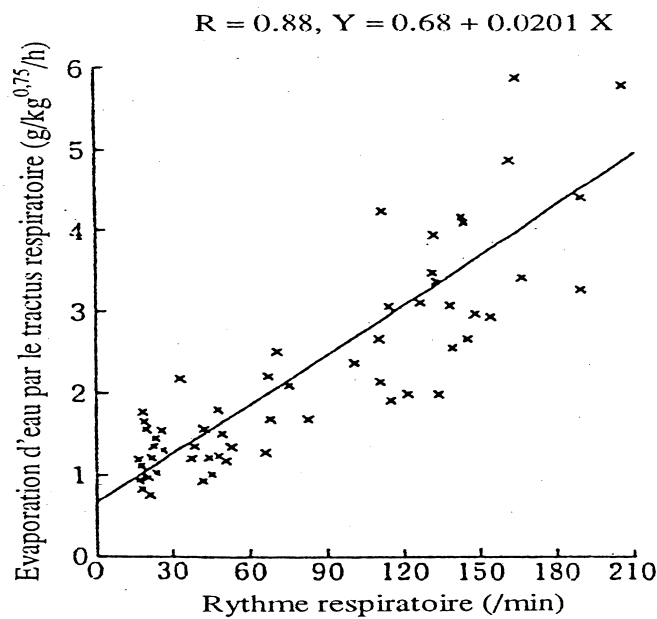


Figure 4. Relation entre la fréquence respiratoire et l'évaporation d'eau dans le tractus respiratoire (d'après Kamada et Notsuki, 1987)

1.3. L'équilibre gain de chaleur / pertes de chaleur

1.3.1. Définition de la zone de thermoneutralité

Les principes de la thermorégulation sont bien décrits dans la bibliographie (Holmes et Close, 1977; Quiniou et al., 2000b; Renaudeau et al., 2004). La zone de thermoneutralité est définie par Mount (1979) comme la zone de températures dans laquelle la dépense énergétique de l'animal est minimale, constante et indépendante de la température ambiante. Dans cette zone, pour un niveau d'ingestion donné, l'énergie disponible pour les besoins de production est donc maximale. La zone de thermoneutralité est limitée par la température critique inférieure (TCi) et la température critique supérieure (TCs) (Figure 5). Lorsque la température ambiante est inférieure à la TCi, la production de chaleur augmente pour assurer le maintien de l'homéothermie. Au-delà de la TCs, les mécanismes mis en place dans le

cadre de la thermorégulation sont saturés et la température interne de l'animal augmente jusqu'à ce qu'elle devienne létale (environ 41°C, revue de Quiniou et al. (2000c)). A l'intérieur de la zone de thermoneutralité, la température critique d'évaporation (TCe) est définie comme la température ambiante à partir de laquelle les pertes de chaleur par évaporation augmentent. La plage de températures comprise entre la TCi et la TCe est appelée la zone de confort thermique.

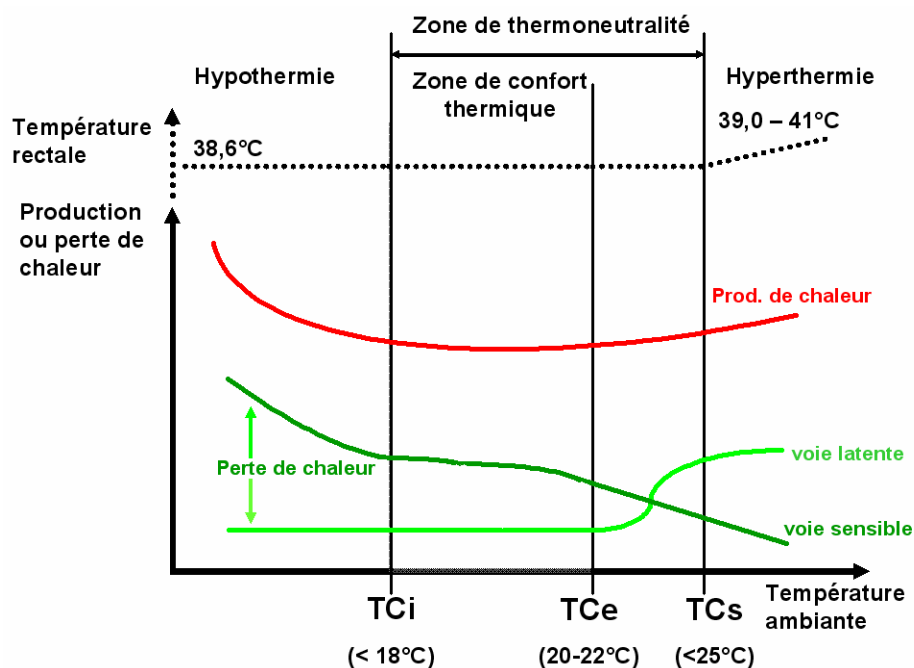


Figure 5. Influence de la température ambiante sur la température rectale, la production de chaleur et les pertes de chaleur par voie latente ou sensible de la truie en lactation (TCi, TCe et TCs, respectivement, pour températures critiques inférieure, d'évaporation et supérieure. (adapté de Renaudeau et al., 2004)

La TCi et la TCs peuvent varier en fonction de facteurs liés à l'animal tels que le poids vif, le génotype, le stade physiologique (Holmes et Close, 1977; Henken et al., 1991; Renaudeau, 2005) ou de facteurs liés aux conditions d'élevage comme la température ambiante, la vitesse de l'air, l'humidité relative, la consommation d'aliment, la taille du groupe ou le type de sol (Ingram, 1965; Morrison et al., 1968; Verstegen et van der Hel, 1974; Close et Heavens, 1981). Comparée aux autres stades physiologiques, la truie en lactation est particulièrement sensible aux températures ambiantes élevées, en relation avec sa faible température critique inférieure (TCi ; inférieure à 18°C selon Quiniou et Noblet (1999)) par rapport à la truie en gestation (20-23°C d'après Noblet et al. (1989)) ou le porc en croissance (23-24°C selon Quiniou et al. (2000d)).

1.3.2. Régulation thermogénèse / thermolyse

L'équilibre entre la production et les pertes de chaleur est régulé principalement par des centres nerveux situés dans l'hypothalamus antérieur et postérieur (Chatonnet, 1983; Larrouy et al., 1995). Les mécanismes mis en jeu lors de la thermorégulation peuvent être représentés comme une boucle de régulation (Figure 6). Une modification de la température ambiante entraîne la transmission d'informations provenant des thermorécepteurs aux centres de contrôle, où elles sont comparées à une valeur de consigne. Ces récepteurs thermosensibles sont présents au niveau de la périphérie (principalement dans la peau et les muqueuses) et au niveau central (dans l'aire pré-optique de l'hypothalamus et dans la moelle épinière) (Larrouy et al., 1995). Si un écart est perçu avec la température de consigne, le centre de la thermorégulation agit sur des effecteurs de la thermolyse ou de la thermogénèse pour permettre au système de revenir à des valeurs de base.

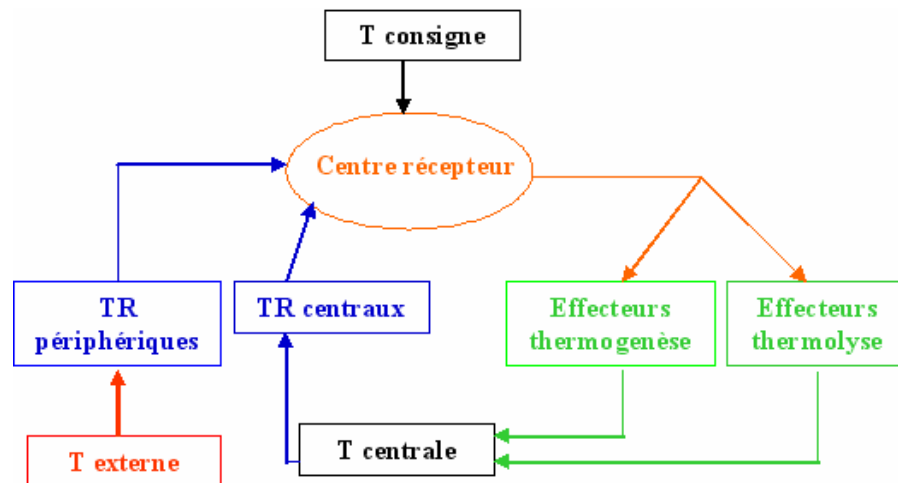


Figure 6. Représentation mécanistique du système thermorégulateur (d'après Larrouy et al. (1995); T et TR, respectivement pour température et thermorécepteur)

Dans la zone de confort thermique (Figure 5), des mécanismes peu coûteux, comme les pertes de chaleur par la voie sensible et des adaptations comportementales, sont mis en place pour maintenir l'homéothermie de la truie. A court terme, ils consistent en une augmentation du flux du sang vers la peau au détriment des viscères et des muscles (Collin et al., 2002), une réduction de l'activité physique et une modification du comportement des animaux visant à augmenter la surface d'échange entre l'animal et le milieu ambiant (Ye et Xin, 2000). A moyen et long terme, un changement de la morphologie générale des porcs s'opère pour améliorer les échanges de chaleur. Par exemple, Dauncey et Ingram (1986) observent un allongement du corps de porcs et un développement plus important des extrémités fortement vascularisées (oreilles, pattes, queue et groin) à 35°C par rapport à 10°C. La

distribution des masses adipeuses, en modifiant la conductivité thermique de la peau, peut également être modifiée lors d'une exposition à des températures ambiantes élevées. La quantité de gras déposée dans la bardière (gras externe) diminue au profit de la panne (gras interne) ce qui permet d'augmenter la conductivité des tissus et améliorer le transport de la chaleur du noyau vers la peau (Rinaldo et Le Dividich, 1991). Enfin, la pilosité des porcs est aussi réduite pour accentuer la conductivité thermique de la peau (Dauncey et Ingram, 1986).

Au-delà de la limite supérieure de la zone de confort thermique (TCe; inférieure à 22°C chez la truie allaitante selon Quiniou et Noblet (1999)), la diminution du gradient de température avec le milieu extérieur rend les pertes par la voie sensible (principalement par conduction et convection) inefficaces pour la thermorégulation. Dans ce contexte, seule l'évaporation d'eau (pertes par la voie latente) permet d'éviter l'hyperthermie (Figure 5). A court terme, le rythme respiratoire augmente de manière curvilinéaire en fonction de la température ambiante (Figure 7). Ainsi, chez la truie en lactation, Quiniou et Noblet (1999) montrent une augmentation du rythme respiratoire de 11 ventilations par minute par degré d'augmentation de la température lors du passage de 22 à 25°C alors que cette valeur est quasi doublée (20 ventilations/min/°C) lors du passage de 27 à 29°C.

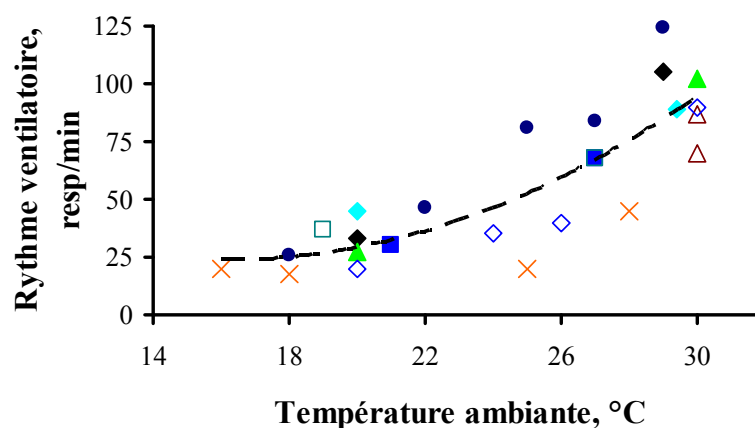


Figure 7. Evolution de la fréquence des ventilations pulmonaires de la truie en lactation avec l'augmentation de la température ambiante (■ Lynch, 1977 ; △ McGlone et al., 1988 ; ▲ Schoenherr et al., 1989 ; ◇ Lorsch et al., 1991 ; × Lorshy et al., 1992 ; □ Johnston et al., 1999 ; ● Quiniou et Noblet, 1999 ; ◆ Laspiur et Trottier, 2001 ; ♦ Renaudeau et al., 2001)

Cette augmentation n'est cependant pas suffisante pour prévenir une élévation de la température interne (Figure 8).

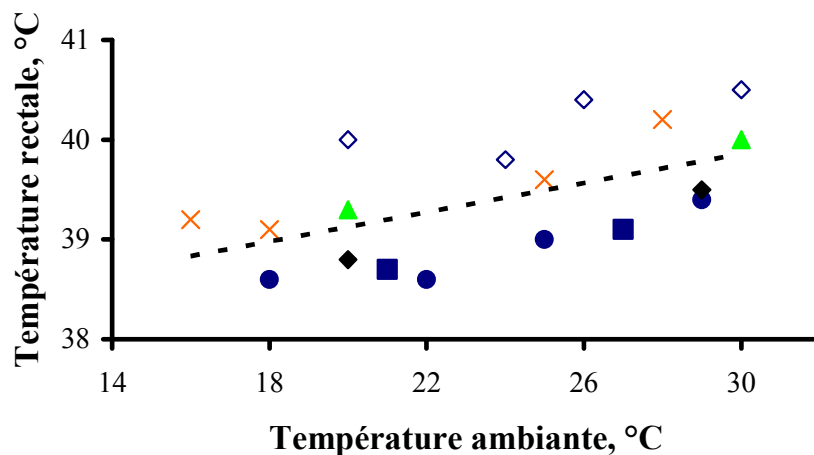


Figure 8. Evolution de la température rectale de la truie en lactation avec l'augmentation de la température ambiante (■ Lynch, 1977 ; △ McGlone et al., 1988 ; ▲ Schoenherr et al., 1989 ; ◇ Lorsch et al., 1991 ; × Lorshy et al., 1992 ; ● Quiniou et Noblet, 1999 ; ◆ Renaudeau et al., 2001)

Des résultats semblables sont également rapportés chez le porc en croissance (Giles, 1992). Cependant, les données concernant la fréquence de ventilation pulmonaire sont très variables d'une étude à l'autre. En effet, une partie non négligeable de la variabilité de la mesure dépend du manipulateur et de l'état de stress de l'animal (Renaudeau, communication personnelle).

2. Effets de la température ambiante élevée sur les performances de la truie reproductrice

Les effets de la température ambiante sur les performances des truies en lactation (Black et al., 1993; Farmer et Prunier, 2002) et, plus généralement, sur les performances de reproduction (Prunier et al., 1996; Quesnel et al., 2005) sont bien décrits dans la littérature. La plupart des études sur les performances de lactation sont réalisées dans des conditions climatiques contrôlées, c'est-à-dire dans des bâtiments climatisés avec deux ou plusieurs niveaux de températures maintenues constantes et une faible humidité (généralement inférieure à 60%).

Comme nous l'avons vu précédemment, la sensibilité de la truie à la chaleur varie en fonction du stade physiologique, en grande partie à cause des différences de niveaux d'ingestion entre la truie gestante et allaitante. En gestation, la truie est le plus souvent rationnée (à environ 1,5 fois le besoin d'entretien, Dourmad et al. (1997)) principalement pour éviter un dépôt excessif de gras et ses conséquences néfastes sur le déroulement de la

mise bas et sur les performances de lactation. En lactation, le niveau d'ingestion est plus important pour satisfaire les besoins nutritionnels élevés liés à la production de lait. Par exemple, une truie de 250 kg ne perdant pas de poids pendant la lactation et allaitant 10 porcelets avec une vitesse de croissance de 2,2 kg/portée/j devra ingérer près de 7,5 kg/j d'aliment à 13,45 MJ d'énergie digestible pour satisfaire ses besoins (voir Tableau 2). En lactation, l'exposition à la chaleur se traduit principalement par une chute importante de l'appétit, qui à son tour a des répercussions négatives sur la production laitière et la mobilisation des réserves (Figure 9). Elle influence aussi, directement ou indirectement, la fonction de reproduction.

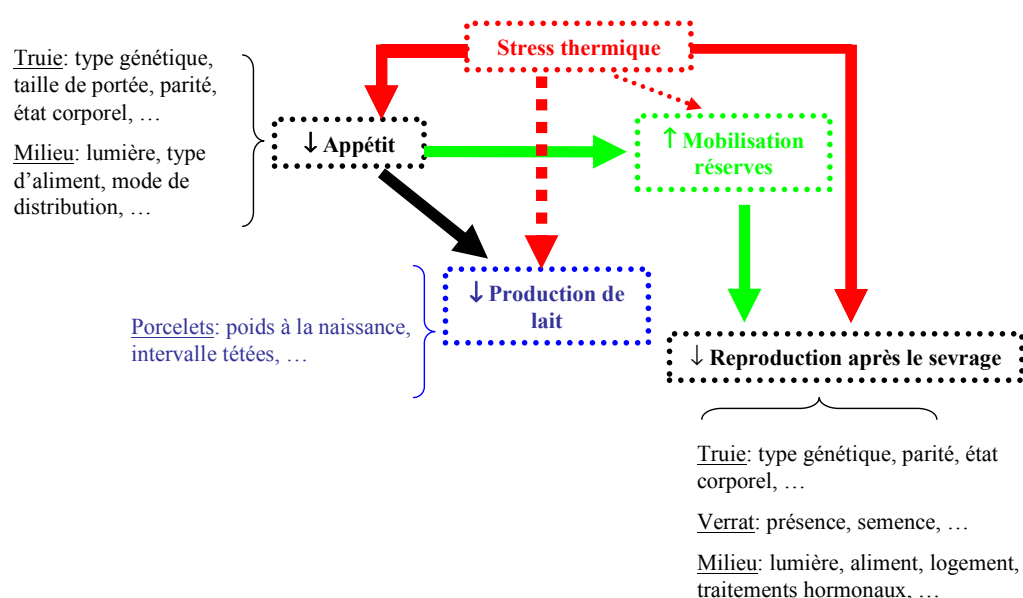


Figure 9. Principales conséquences de l'augmentation de la température ambiante pendant la lactation et des principaux facteurs de variation sur les performances de la truie, susceptibles de moduler l'impact du stress thermique

2.1. Effets de la température sur la consommation et le comportement alimentaire de la truie en lactation

Les effets de la température ambiante sur l'appétit de la truie en lactation sont bien décrits dans la littérature (Tableau 3). Au chaud, la truie diminue sa consommation d'aliment afin de réduire sa production de chaleur métabolique. En moyenne, la diminution de la consommation moyenne journalière de la truie en lactation est de 230 g/°C chez la truie primipare, et de 280 g/°C chez la truie multipare, pour une gamme de températures ambiantes comprise entre 18 et 30°C. Cependant, il existe d'importantes variations d'une étude à l'autre (Tableau 3) qui peuvent s'expliquer par des différences dans les types

génétiques utilisés, dans la durée de la lactation, mais également dans les gammes de variation de températures ambiantes considérées.

Tableau 3. Effet de la température ambiante sur la performance de lactation de la truie

Référence	Rang de portée ^a	Gamme de T ^b , °C	Consommation d'ED ^b , MJ/j	GMQ du porcelet, g/j	Perte de poids, g/j
Lynch (1977)	Mi	21 vs. 27	74 vs. 65	195 vs. 170	480 vs. 760
Stansbury et al. (1987)	Mi	18 vs. 30	86 vs. 56	NC ^b	110 vs. 860
Schoenherr et al. (1989)	Mi	20 vs.30	80 vs. 53	200 vs. 180	170 vs. 690
Vidal et al. (1991)	P	20 vs.30	101 vs. 66	255 vs. 170	230 vs. 770
Black et al. (1993)	P	20 vs.30	58 vs. 45	240 vs. 205	340 vs. 630
Messias de Bragança et al. (1998)	P	20 vs.30	64 vs. 37	240 vs. 190	380 vs. 1 830
Johnston et al. (1999)	Mi	19 vs. 27	91 vs. 60	225 vs. 185	70 vs. 570
Quiniou et Noblet (1999)	M	18 vs.29	87 vs. 47	245 vs. 190	1 100 vs. 1 670
Laspiur et Trottier (2001)	M	20 vs.29,4	94 vs. 75	210 vs. 195	150 vs. 540
Renaudeau et al. (2001)	M	20 vs.29	98 vs. 56	280 vs. 215	580 vs. 1 200
Quiniou et al. (2001)	P	20 vs.26	78 vs. 61	255 vs. 242	1 000 vs 1 070
Quiniou et al. (2001)	M	20 vs.26	95 vs. 76	300 vs. 272	860 vs. 1 140

^a Rang de portée : MI pour mixte, P pour primipare et M pour mulipare ; ^b T et ED, respectivement, pour température ambiante et énergie digestible; ^bNC pour valeur non communiqué

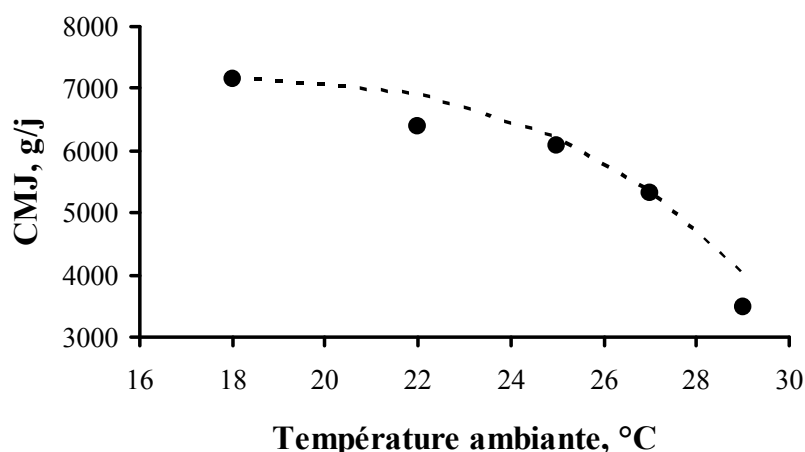


Figure 10. Effet de la température ambiante sur la consommation d'aliment de la truie en lactation (d'après Quiniou et Noblet (1999))

Conformément aux hypothèses de Black et al. (1993), Quiniou et Noblet (1999) montrent une décroissance curvilinéaire de l'ingestion en fonction de la température ambiante (Figure 10). En d'autres termes, la réduction de l'appétit est d'autant plus forte que la température ambiante augmente. Ce résultat peut être interprété comme une saturation progressive des mécanismes impliqués dans la thermorégulation au fur et à mesure de l'élévation de la température ambiante.

Contrairement au porc en croissance (Feddes et al., 1989; Nienaber et al., 1996; Collin et al., 2001), peu de travaux décrivent les effets de la température sur le comportement alimentaire de la truie en lactation (Quiniou et al., 2000e; Renaudeau et al., 2002). A la

thermoneutralité, la truie allaitante, comme le porc en croissance, a un comportement essentiellement diurne (Figure 11), puisque 70 à 80% de sa prise alimentaire à lieu au cours de la journée (Dourmad, 1993; Quiniou et al., 2000e).

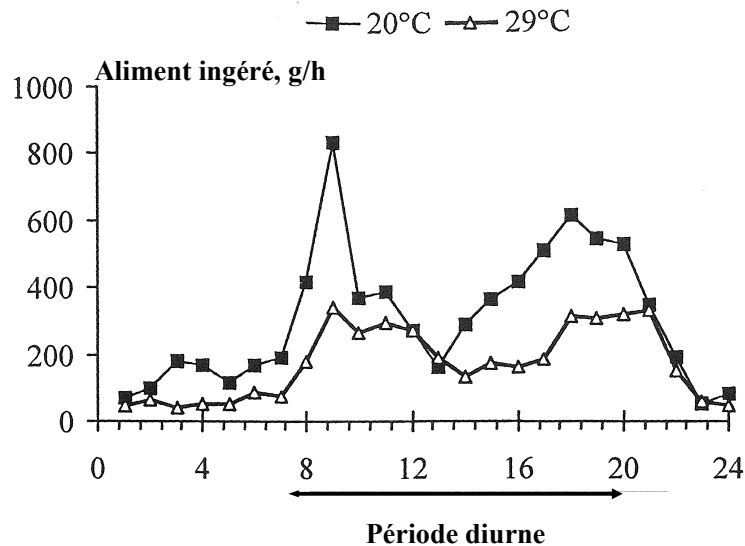


Figure 11. Effet de la température sur l'évolution de la prise alimentaire au cours de la journée (adaptée de Renaudeau et al. (2002))

Au chaud, le comportement diurne des truies s'accroît pour atteindre environ 90% de la quantité totale d'aliment consommé à une température supérieure à 27°C, maintenue constante pendant la totalité de la lactation (Quiniou et al., 2000e; Renaudeau et al., 2002). Par ailleurs, le comportement alimentaire diurne varie pour des températures fluctuantes au cours de la journée. En utilisant un modèle de variation de température relativement simple, Quiniou et al. (2000f) montrent une amélioration de la consommation d'aliment quand la température fluctue autour de 29°C ($\pm 4^\circ\text{C}$) par rapport à celle observée à une température constante de 29°C. Cet effet s'explique principalement par une capacité des truies à compenser leur moindre consommation au cours des périodes chaudes par une consommation accrue au cours des périodes les plus fraîches, même pendant la nuit.

La diminution de la prise alimentaire au chaud s'accompagne d'une diminution de la fréquence des repas alors que leur taille reste relativement constante (Quiniou et al., 2000e; Renaudeau et al., 2002). De plus, la vitesse d'ingestion de l'aliment n'est pas affectée par la température ambiante et, par conséquent, la diminution de la durée d'ingestion au chaud est directement imputable à la chute de la prise alimentaire.

2.2 Effets de la température sur la croissance des porcelets

La plupart des travaux disponibles dans la bibliographie montrent une réduction de la vitesse de croissance des porcelets avec l'élévation de la température ambiante (Tableau 3). Cette réduction peut être attribuée : 1/ à une réduction de la production laitière de la truie et/ ou 2/ à une modification de la composition du lait.

La diminution de la production de lait au chaud pourrait être liée à un effet direct ou indirect de l'augmentation de la température ambiante. Logiquement, en provoquant une chute de l'appétit de la truie, une forte température induit indirectement une diminution de la concentration plasmatique en nutriments indispensables pour la production de lait. Lorsque cette réduction de la consommation n'est pas compensée par une mobilisation suffisante des réserves corporelles, cela entraîne une réduction de la quantité de lait produite (Tableau 3). Par ailleurs, Black et al. (1993) suggèrent un effet direct de la température ambiante sur la synthèse de lait, via une réduction du débit artériel mammaire. Cette modification serait due à une redistribution des flux sanguins de la mamelle vers la peau pour augmenter les pertes de chaleur par voie sensible. Il est possible de vérifier cette hypothèse en comparant la production laitière de truies placées au chaud, avec celles élevées à la thermoneutralité mais recevant la même quantité d'aliment que les truies au chaud (technique de « pair feeding ») (Tableau 4).

Tableau 4. Effet de la température ambiante sur les performances de lactation chez la truie en alimentation égalisée (*pair feeding*)

	Références			
	Messias de Bragança et al. (1998)		Renaudeau et al. (2003a)	
	Primipare		Multipare	
Rang de portée	Piétrain × Large White		Large White × Landrace	
Type génétique				
Température, °C	20	30	20	28
Aliment ingéré, kg/j	3,1	2,8	3,8	3,8
Perte de poids, g/j	1 500	1 010	2 440	1 822
Perte de lard, mm/j	0,17	0,13	0,24	0,25
Taille de la portée (sevrage)	8,3	8,2	12,1	12,1
Poids moyen (sevrage), kg	6,29	5,80	4,64	4,51
Gain de poids de la portée, kg/j	1,97	1,62	2,72	2,68
Production laitière, g/j/porcelet ^a	910	751	860	847

^a Production laitière estimée à partir des équations de Noblet et Etienne (1989) : Matière sèche du lait (g/j) = $0,72 \times \text{GMQ du porcelet (g/j)} - 7$; en estimant une teneur de 18% de matière sèche du lait.

Sur des truies primipares, Messias de Bragança et al. (1998) observent une production laitière plus faible à 30 qu'à 20°C confirmant ainsi un effet direct de la température sur la production laitière. Au contraire, sur des truies multipares, Renaudeau et al. (2003a) ne montrent pas d'effet direct de la température (20 vs. 28°C) sur la production laitière mais ces auteurs mettent en évidence une réduction du débit artériel mammaire. Ces résultats confirmeraient l'existence d'ajustements cardiovasculaires sous l'effet de la température

ambiante. Enfin, Quiniou et Noblet (1999) et Renaudeau et Noblet (2001) observent une légère augmentation du nombre de tétées par 24 h avec la température ambiante. Ces résultats indiquent que la réduction de la production laitière au chaud ne serait pas liée à une diminution de la sollicitation des porcelets (Figure 12).

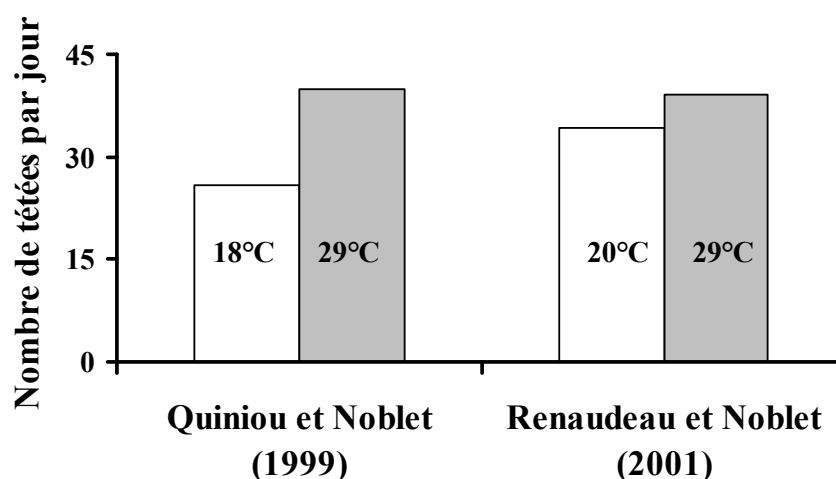


Figure 12. Effet de la température ambiante sur la fréquence des tétées (d'après Quiniou et Noblet (1999) et Renaudeau et Noblet (2001))

A notre connaissance, nous ne disposons que de peu d'informations sur l'effet des températures ambiantes élevées sur la composition du lait (Tableau 5). Prunier et al. (1997) et Spencer et al. (2003) ne mettent pas en évidence d'effet significatif de la température sur la composition du lait de la truie. Au contraire, Schoenherr et al. (1989) et Renaudeau et Noblet (2001) rapportent des changements modérés dans la teneur en matière sèche et en énergie du lait lorsque la température augmente (Tableau 5). Les différences observées entre les études peuvent s'expliquer par des facteurs liés à l'animal (type génétique, taille de la portée, état des réserves corporelles à la mise bas) mais également par des facteurs liés aux conditions de prélèvement du lait (stade de lactation (voir Tableau 5), utilisation ou non d'ocytocine, séparation des porcelets..).

Tableau 5. Effet de la température ambiante sur la composition du lait chez la truie

Référence (Température ambiante)	Matière sèche, %	Protéines, %	Lipides %	Energie, kJ/kg
Schoenherr et al. (1989) ^a				
20°C	NC ^e	5,1	5,7	4,3
32°C	NC ^e	4,8	5,0	4,0
Prunier et al. (1997) ^b				
18°C	19,2	5,1	8,6	5,3
27°C	20,3	5,3	8,2	5,6
Renaudeau et Noblet (2001) ^c				
20°C	18,3	5,0	7,1	4,9
29°C	18,6	5,2	7,3	4,9
Spencer et al. (2003) ^d				
21°C	NC ^e	5,1	7,6	NC ^e
32°C	NC ^e	4,9	7,1	NC ^e

^a Valeurs moyennes obtenues sur 22 j de lactation; ^b prélèvement de lait à 9 j de lactation ; prélèvement de lait à 14 j de lactation ; ^d prélèvement de lait à 15 j de lactation; ^e NC pour valeur non communiquée

En conclusion, la baisse de la vitesse de croissance de la portée au chaud est principalement attribuée à une diminution de la capacité de la truie à produire du lait.

2.3 Effets de la température sur la mobilisation des réserves de la truie en lactation

Dans la zone de thermoneutralité, l'appétit de la truie est souvent insuffisant pour satisfaire la demande en nutriments pour la production laitière; ce déficit nutritionnel est partiellement compensé par une mobilisation de ses réserves corporelles. Au chaud, le déficit nutritionnel et la mobilisation des réserves sont accentués (Figure 13) en relation avec les effets négatifs de la température sur l'appétit. En moyenne, à la thermoneutralité, les truies primipares et multipares perdent pendant la lactation environ 5 et 7% de leur poids vif. Cette perte atteint près de 15% de leur poids vif à la mise bas si la température ambiante dépasse 25°C (voir Tableau 3). D'après les études utilisant la méthode de pair feeding (voir Tableau 4), la perte de poids vif des truies placées au chaud est réduite, ce qui semble indiquer un effet direct de la température sur la capacité des truies à mobiliser leurs réserves. Ce résultat peut être interprété comme une adaptation visant à réduire la production de chaleur supplémentaire associée à l'utilisation des réserves pour la synthèse de lait.

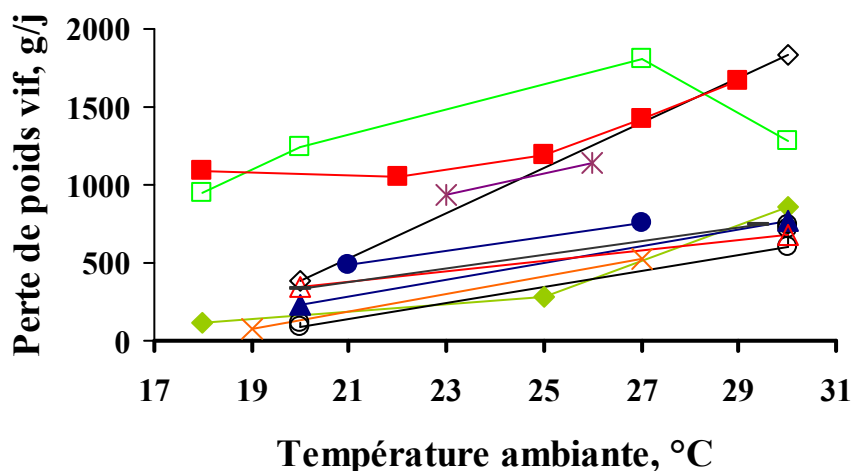


Figure 13. Evolution de la perte de poids vif pendant la lactation de la truie avec l'augmentation de la température ambiante (● Lynch, 1977 ; ◆ Stansbury et al., 1987 ; ○ Schoenherr et al., 1989 ; ▲ Vidal et al., 1991 ; △ Black et al., 1993 ; □ Prunier et al., 1997 ; ◇ Messias de Bragança et al., 1998 ; × Johnston et al., 1999 ; ■ Quiniou et Noblet, 1999 ; — Laspiur et Trottier, 2001 ; * Quiniou, 2004)

La composition tissulaire et chimique des réserves corporelles mobilisées peut être indirectement estimée à partir de la perte de poids vif et de la perte de lard dorsal en lactation (Whittemore et Yang, 1989; Dourmad et al., 1997). En moyenne, la truie perd respectivement 13 et 40% de protéines et de lipides dans la perte totale pendant la lactation (Quiniou et Noblet, 1999; Renaudeau et al., 2001). L'effet de la température ambiante sur la composition de la perte de poids est peu décrit dans la bibliographie. Lynch (1977) et McGlone et al. (1988a) rapportent une augmentation de la perte de poids vif au chaud sans que la perte d'épaisseur de lard dorsal ne soit affectée. Ces résultats suggèrent une mobilisation accrue des tissus maigres par rapport aux tissus gras. Au contraire, Quiniou et Noblet (1999) observent aussi une augmentation des mobilisations corporelles avec celle de la température mais la partition entre les tissus maigres et les tissus gras demeure constante (55 et 27% de poids vif vide, respectivement). Par ailleurs, l'effet du stress thermique sur la quantité et la composition des réserves mobilisées est aussi modulé par la composition de l'aliment, l'état des réserves à la mise bas et la durée de la lactation.

2.4. Les performances de reproduction de la truie

Comme nous l'avons vu précédemment, un stress thermique en lactation se traduit souvent par une perte excessive de poids vif. Or il est bien admis que le niveau de

mobilisation des pertes corporelles en lactation peut influencer le retour en oestrus après le sevrage (intervalle sevrage-oestrus ou ISO) et, plus généralement, la carrière de la truie (Dourmad et al., 1994). A partir d'équations de régression, King (1987) prédit qu'une augmentation d'un kilogramme de la perte de poids vif, de lipides et de protéines induit un allongement de l'ISO de 0,4, 0,6 et 3,4 jours, respectivement. Ces résultats semblent indiquer que des variations dans la durée de l'ISO dépendent à la fois de la quantité et de la composition des réserves mobilisées. Par ailleurs, les variations saisonnières de l'ISO sont également nettement plus marquées pour les truies primipares que pour les truies multipares (Quesnel et al., 2005; voir 3.2.1). Le retour à la cyclicité après le sevrage est principalement lié à la sécrétion moyenne ou épisodique de l'hormone lutéinisante (LH) pendant la seconde moitié de la lactation et avant le sevrage (Shaw et Foxcroft, 1985; Tokach et al., 1992). Plusieurs études montrent qu'une exposition prolongée au chaud induit une inhibition de la sécrétion de LH (Armstrong et al., 1986; Barb et al., 1991) pouvant être liée au déficit nutritionnel de la truie en début de lactation (Koketsu et al., 1996a; Koketsu et Dial, 1997). En conséquence, les ovaires seraient moins développés en fin de lactation et donc moins sensibles à l'augmentation des sécrétions gonadotropes induite par le retrait des porcelets. Le retour est alors retardé (Quesnel et al., 2005).

Les températures élevées ont également un impact direct sur la fertilité de la truie. Ainsi, chez la truie, le développement embryonnaire est compromis dès que la température ambiante dépasse 32°C dans le premier mois de gestation (Omtvedt et al., 1971; Kojima et al., 1996). Une mortalité embryonnaire modérément accrue résultera en une réduction des tailles de portée. Si tous les embryons, ou presque tous, meurent, la gestation sera interrompue. Dans le cas particulier de la station expérimentale nationale porcine de l'ITP à Romillé (France), Quiniou et al. (2004) montrent que la canicule de 2003 a encore accentué la dégradation des performances habituellement observée en été. Ainsi, après la canicule, le taux de fertilité au premier mois de gestation a chuté de plus de 6 points par rapport aux valeurs observées pendant la même période l'année précédente.

Par ailleurs, comme pour la truie, les performances de reproduction du verrat sont sensibles aux variations saisonnières de la température (Wettmann et al., 1976; Wettmann et Bazer, 1985). Ainsi, une partie de la baisse de la fertilité de la truie en saison estivale peut être également attribuée à la diminution de la qualité de la semence, particulièrement dans les élevages qui produisent leurs doses ou qui pratiquent la saillie naturelle (Quesnel et al., 2005).

2.5. L'effet des températures élevées sur l'état sanitaire de la truie

Les effets des températures élevées, et plus généralement du stress thermique, sur le système immunitaire de la truie sont peu connus. Parmi tous les facteurs responsables de la mortalité des truies à la mise bas en période estivale en milieu tempéré ou en saison chaude en milieu tropical, la température ambiante est l'un des plus importants. Ces mortalités sont principalement causées par des problèmes cardiaques, des torsions ou des accidents abdominaux et des troubles urinaires (Chagnon et al., 1991; D'Allaire et al., 1996; Renaudeau et al., 2003b). La réponse physiologique au stress est caractérisée par l'activation de l'axe corticotrope et la libération de nombreuses hormones et neuromédiateurs immunoactifs et immunosuppresseurs (Merlot, 2004). Ainsi, la modification de la formule sanguine et l'altération des réponses prolifératives des leucocytes peuvent être des indications de l'action du stress sur le système immunitaire (Merlot, 2004). Les porcs en croissance soumis à la chaleur ont une moindre capacité à stimuler la production d'anticorps et de neutrophiles pour répondre à un stress immunitaire (Nienaber et al., 1989; Kreukniet et al., 1990; Morrow-Tesh et al., 1994). Chez la truie en lactation, Becker et Misfeldt (1995) observent que les lymphocytes provenant des truies maintenues à 32°C ont une capacité réduite à répondre à la stimulation d'un mitogène par rapport à d'autres animaux placés à 21°C. Il semble donc qu'au chaud, les animaux sont moins aptes à lutter contre les pathogènes.

En conclusion, nous disposons de bonnes connaissances sur l'effet des températures élevées sur les performances de la truie reproductrice, lorsque les conditions climatiques sont contrôlées (chambre climatique). Mais, en pratique, la température dans les maternités fluctue au cours de la journée et au cours de la lactation. De plus, les conditions en chambre climatique ne sont pas transposables facilement aux conditions tropicales humides où la température ambiante et l'humidité sont élevées et varient au cours de la journée et d'une saison à l'autre. A notre connaissance, il y a peu de travaux dans les conditions tropicales humides, et en particulier sur les performances en lactation. Ceci peut s'expliquer principalement par le manque de dispositifs expérimentaux disponibles dans la zone tropicale humide pour réaliser ce type d'étude.

3. Les facteurs de variation des performances de la truie reproductrice

Les performances des truies sont influencées par de nombreux facteurs, qui pour beaucoup, interagissent entre eux. Ainsi l'impact du stress thermique est modulé par divers facteurs. L'ensemble des facteurs de variation des performances de la truie (consommation, production de lait, reproduction) a fait l'objet de nombreuses revues, tant sur les performances de lactation (Dourmad, 1988; Whittemore et Morgan, 1990; Dourmad et al., 1994; Etienne et al., 1998; Etienne et al., 2000; Eissen et Kemp, 2000) que sur les performances de reproduction après le sevrage (Quesnel et Prunier, 1995; Prunier et al., 1996; Soede et al., 2000; Quesnel et al., 2005). Ces facteurs peuvent être classés en deux catégories, même si certains d'entre eux interagissent. On peut distinguer les facteurs qui sont liés à l'animal, comme le numéro de portée, le type génétique ou la taille de portée, et les facteurs liés à l'environnement comme les conditions d'élevage, les facteurs climatiques (température, photopériode, humidité). L'objet de cette partie n'est pas de refaire cet inventaire, mais plutôt de traiter des facteurs susceptibles d'interagir avec les températures élevées sur les performances de lactation et de reproduction des truies.

3.1. Facteurs de variation des performances de lactation de la truie

3.1.1. Facteurs liés à la truie

a. Etat corporel de la truie

D'après les données disponibles dans la bibliographie, il existe une relation inverse entre le niveau d'adiposité de la truie à la mise bas et son appétit durant la lactation (Figure 14). Cette réduction de l'appétit chez les truies grasses n'a pas d'effets notables sur les paramètres du comportement alimentaire (Dourmad, 1993). Par ailleurs, une forte adiposité augmente le risque de problèmes au moment de la mise bas, déjà important lorsque la température ambiante est élevée (D'Allaire et al., 1996). Il est donc très important de mettre en place un plan d'alimentation basé sur l'état des réserves au sevrage précédent, pour une reconstitution optimale des réserves corporelles en gestation, et afin de ne pas accentuer les effets du stress thermique sur les performances de la truie (Dourmad et al., 1996). Les mécanismes qui sous-tendent l'effet de la composition corporelle sur la régulation de l'appétit sont mal connus chez la truie en lactation. Néanmoins, il semble que la sensibilité à l'insuline et la concentration de leptine synthétisée par les cellules adipeuses jouent un rôle primordial (Blundell et Gillett, 2001; Macajova et al., 2004).

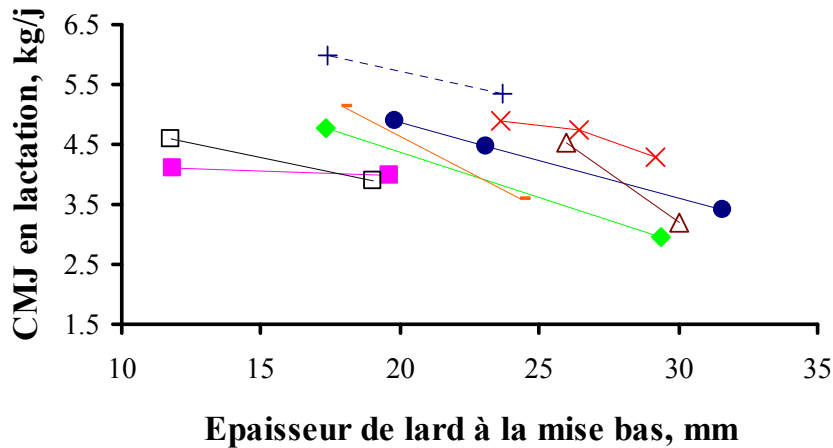


Figure 14. Relation entre l'épaisseur de lard à la mise bas et la consommation moyenne journalière (CMJ) de la truie en lactation (● Mullan et Williams, 1989 ; ■ et □ Yang et al., 1989 ; × Dourmad, 1991 ; ◆ Weldon et al., 1994 ; △ Xue et al., 1997 ; - Revell et al., 1998 ; + Le Colzer et al., 1998)

b. Rang de portée

Les performances de lactation dépendent aussi du rang de portée de la truie. Il est habituellement rapporté une augmentation de l'ingestion spontanée de l'aliment avec le numéro de portée (Eissen et Kemp, 2000). D'après les études disponibles dans la bibliographie (O'Grady et al., 1985; Koketsu et al., 1996b; Neil et al., 1996; Mahan, 1998), l'augmentation de la consommation journalière d'aliment est plus importante entre le premier et le second numéro de portée (+ 800 g), puis cette évolution est moins marquée pour les numéros de portée suivants (+ 300 g) (Figure 15). Cette augmentation de la prise alimentaire peut être attribuée à des besoins d'entretien plus importants liés à l'augmentation du poids vif de la truie. Par ailleurs, la plus forte consommation des truies multipares est également liée à des besoins de production plus importants, résultant principalement d'une augmentation de la taille de portée avec le numéro de portée (Etienne et al., 1998).

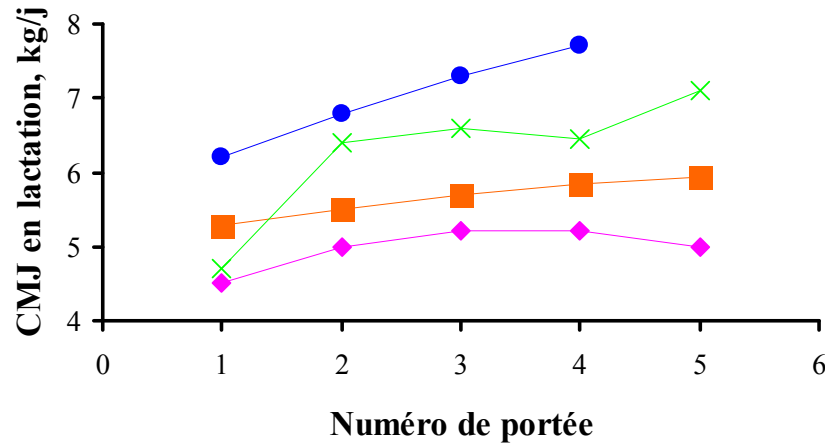


Figure 15. Evolution de la consommation moyenne journalière d'aliment de la truie en lactation (CMJ) avec le numéro de portée (● Neil et al., 1996 : moyennes de deux groupes de truies nourries soit à 14,7 ou soit à 10,8% de matières azotées totales en gestation ; ♦ Koketsu et al., 1996; ■ O'Grady et al., 1985: valeurs estimées à partir de l'équation $CMJ = a + 0,297 \times NP - 0,022 \times NP^2$, où CMJ est la consommation moyenne journalière en lactation en kg, NP est le numéro de portée et a est fixé arbitrairement à 5,0 kg ; × Mahan, 1998)

Ainsi, Salmon-Legagneur (1958 ; cité par Etienne et al. (1998)) montre que la production laitière augmente entre la 1^{ère} et 2^{ème} lactation, reste constante entre la 2^{ème} et la 4^{ème} lactation et diminue ensuite (Figure 16). Compte tenu des différences d'ingestion et de niveau de production selon le numéro de portée, il peut être supposé une plus forte sensibilité aux températures élevées chez la truie multipare par rapport à la primipare.

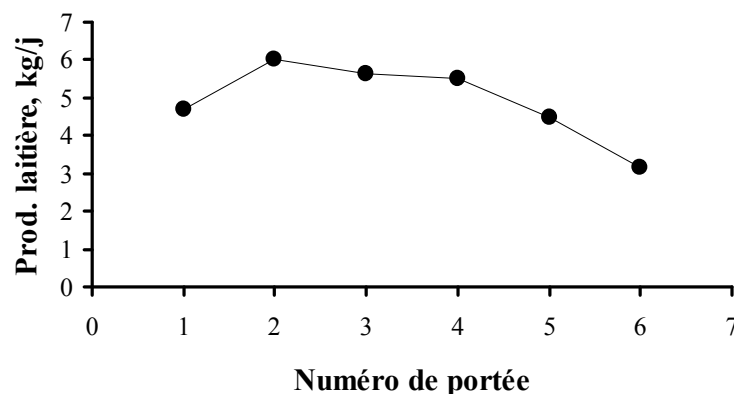


Figure 16. Effet du numéro de portée sur la production laitière de la truie (d'après Salmon-Legagneur, 1958, cité par Etienne et al. (1998))

A notre connaissance, nous ne disposons que de peu d'informations sur l'effet de la température selon le rang de portée de la truie. Dans une simulation basée sur l'hypothèse

d'une même production laitière et d'un même niveau de mobilisation des réserves corporelles, Makkink et Schrama (1998) montrent que la TCs augmente avec le poids vif de la truie. En revanche, Quiniou et al. (2001) ne montrent pas de différences significatives entre rangs de portée pour la consommation moyenne journalière d'aliment; elle diminue en valeur absolue de 21% en moyenne quel que soit le rang de portée, lorsque les truies sont exposées à la température de 26°C par rapport à 20°C. Dans une étude comprenant deux expériences avec la même conduite alimentaire (la première sur des truies multipares maintenues à 18 ou 27°C, et la seconde sur des primipares maintenues à 20 ou 30°C), Prunier et al. (1997) montrent une réduction de la CMJ de 190 g/°C chez les multipares contre 25 g/°C chez les primipares.

c. Génotype

Chez le porc en croissance, Nienaber et al. (1997) montrent une plus grande sensibilité à la température (i.e., seuil de température à partir duquel la consommation d'aliment commence à diminuer) chez une lignée très maigre par rapport à une lignée «conventionnelle». Chez la truie en lactation, il existe à notre connaissance très peu d'études sur l'effet de l'interaction entre le type génétique et la température sur les performances de lactation. Dans des conditions proches de la thermoneutralité, les différences observées pour les performances de lactation entre types génétiques reflètent principalement des variations de poids, de composition corporelle, de production laitière et/ou de taille de portée (Eissen et Kemp, 2000). Par exemple, lorsque les performances de truies de race Meishan sont comparées avec celles des truies de races européennes (Large White ou Landrace), les différences observées au niveau de la production laitière s'expliquent par des différences de niveau d'ingestion et/ou de capacité à mobiliser les réserves corporelles (Sinclair et al., 1999; Farmer et al., 2001).

En milieu tempéré, plusieurs études montrent que les aptitudes maternelles (York et Robison, 1985; McKay et Rahnefeld, 1990; Damgaard et al., 2003; Grandinson et al., 2005), et la prolificité de la truie intragénotype (Bidanel et Ducos, 1994 ; Noguera et al., 2002 ; Lukovic et al., 2004) sont des caractères héréditaires (Tableau 6).

Tableau 6. Héritabilités et corrélations génétiques avec le nombre de nés vivants des caractères de reproduction de la truie^a

Caractères	Héritabilité	Corrélation avec le nombre de nés vivants
Lactation		
Nés vivants	0,1	-
Nombre de sevrés	0,1	0,8
Poids de la portée à la naissance	0,3	-0,5
Poids de la portée au sevrage	0,2	-0,1
Nombre total de tétines	0,3	0,3
Variation du poids en lactation	0,2	0,3
Production laitière	0,2	NC ^b
Comportement maternel	0,2	NC ^b
Agressivité envers les porcelets	0,4	NC ^b
Consommation d'aliment	0,2	NC ^b
Reproduction		
Taux d'ovulation	0,3	0,10
Survie embryonnaire	0,1	NC ^b
Intensité des symptômes vulvaires	0,2	NC ^b
Réflexe d'immobilité au passage du verrat	0,3	NC ^b
Intervalle sevrage - oestrus	0,2	0,0
Incidence d'ISO prolongée	0,3	0,1
Intervalle sevrage – saillie fécondante	0,2	NC ^b

^a Moyenne des valeurs à partir de la revue de Rydhmer (2000) et des valeurs citées par Le Roy (2003); ^bNC pour valeur non communiquée ; ^c Valeur obtenue par Van Erp et al. (1998) cité par Eissen et Kemp (2000)

Il existe à notre connaissance peu d'estimations obtenues chez le porc, sous des contraintes thermiques ou en milieu tropical. Des travaux montrent cependant que la valeur de l'héritabilité n'est pas la même selon la température considérée. Ainsi, Beaumont et al. (1998) montrent que l'estimation de l'héritabilité du gain de poids des poulets de chair est plus faible à 32 qu'à 22°C, alors que pour l'indice de consommation, l'héritabilité ne diffère pas selon le niveau de température. Dans le cas de races porcines à diffusion mondiale comme celles qui sont sélectionnées en milieu tempéré, le problème des éventuelles interactions entre l'environnement et le génotype sélectionné se pose inévitablement. L'estimation des paramètres génétiques des performances réalisées dans deux milieux différents suppose l'identification et le suivi généalogique d'un effectif suffisant (Beaumont et Chapuis, 2004). A notre connaissance, il n'y a pas d'études disponibles chez le porc sur la capacité d'un génotype à modifier l'expression d'un ou de plusieurs caractères en réponse à un changement de température ambiante (plasticité). Cette perspective devrait être envisagée pour sélectionner des animaux «plastiques» et/ou robustes aux changements du milieu climatique.

3.1.2. Facteurs liés aux conditions d'élevage.

a. Les facteurs climatiques autres que la température ambiante

Outre la température, les performances de lactation de la truie sont aussi affectées par d'autres facteurs liés au milieu ambiant, comme l'intensité et la durée d'éclairement, ou l'humidité, en interaction ou non avec la température. Mabry et al. (1983) montrent une augmentation de la fréquence des tétées des porcelets, lorsque les truies sont soumises à 16 h par rapport à 8 h d'éclairement par 24 h et suggèrent une augmentation concomitante de la production laitière avec la durée de la période diurne. Cet effet serait indirectement lié à une augmentation de la prise alimentaire avec l'allongement de la période d'éclairement (Mabry et al., 1983; Stevenson et al., 1983). Au contraire, d'autres travaux (Gooneretne et Thacker, 1990; Prunier et al., 1994) ne mettent pas en évidence d'effet favorable de la photopériode sur les performances de lactation. De plus, Prunier et al. (1994) suggèrent que l'influence des températures élevées sur les performances de la truie allaitante est plus importante que celle de la photopériode.

Par ailleurs, en plus des fluctuations de la température, l'hygrométrie peut interagir avec la température ambiante sur l'appétit de la truie allaitante, et par conséquent sur ses performances de lactation, particulièrement dans les conditions tropicales humides. Cette hypothèse est avancée pour expliquer les faibles performances des truies dans la plupart des travaux effectués en conditions tropicales humides (Steinbach, 1971 et 1976; Renaudeau et al., 2003b). Cependant, la majorité des études disponibles dans la bibliographie sur le sujet se limite souvent aux seuls aspects physiologiques du porc (Heitman et Hughes, 1949; Ingram, 1965; Morrison et al., 1968; Granier et al., 1998; Huynh et al., 2005a et b). Ces études montrent qu'une forte humidité limite la capacité de l'animal à dissiper la chaleur par évaporation et, par conséquent, accentue les effets négatifs de la température sur les performances des porcs. Chez le porc à l'engrais élevé à 28°C, une augmentation de 45 à 75% de l'humidité relative entraîne une chute 140 g/j de la consommation d'aliment (Granier et al., 1998). De plus, Morrison et al. (1968) observent une réduction de 45 g/j et de 90 g/j de la vitesse de croissance des porcs lorsque l'hygrométrie passe respectivement de 45 à 95% à 29°C, et de 30 à 90% à 35°C (Figure 17). A notre connaissance, il n'existe pas de données comparables chez la truie en lactation.

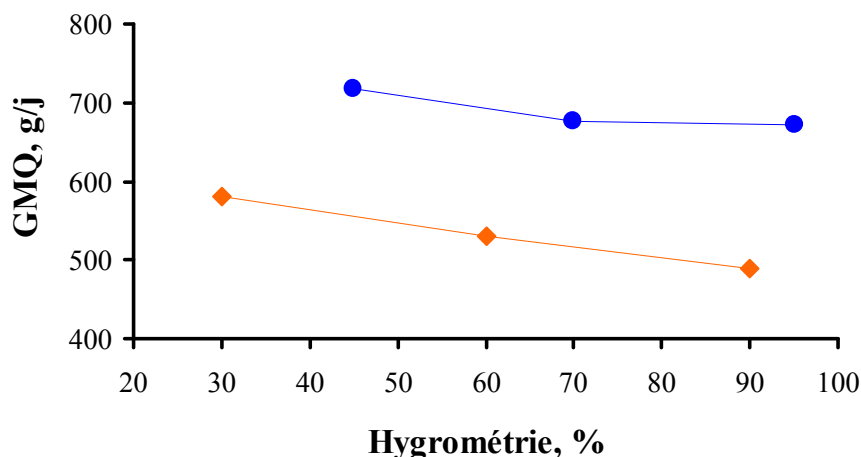


Figure 17. Effet du niveau d'hygrométrie ambiante sur la vitesse de croissance (GMQ) des porcs (Morrison et al., 1968; ● température ambiante de 29°C ; ♦ température ambiante de 35°C)

b. Les facteurs liés à l'alimentation

Comme nous l'avons vu précédemment, la réduction de la consommation d'énergie est l'un des effets les plus importants des températures élevées chez la truie en lactation. L'augmentation de la concentration énergétique de l'aliment pourrait donc, en théorie, permettre d'atténuer les effets de la chaleur sur les performances de lactation. Dans ces conditions, il est possible à la fois d'accroître la concentration en énergie et de diminuer la production de chaleur liée à l'effet thermique de l'aliment par l'ajout de matières grasses dans la ration. L'effet de cette addition de matière grasse sur la consommation quotidienne d'énergie digestible de la truie en lactation diffère selon les études et les effets bénéfiques sur la croissance de la portée et la mobilisation des réserves corporelles n'apparaissent pas très marqués (Tableau 7).

Tableau 7. Effets de la concentration énergétique sur la consommation quotidienne d'énergie nette de la truie en lactation élevée au chaud.

Référence	T ^a , °C	ED, MJ/kg	Lipides ajoutés, %	Consommation d'aliment, kg/j	Consommation d'ED, MJ/j	Perte de PV, g/j	GMQ portée, g/j
1	26	13,5	2,0	4,08	53,0	1 240	2 570
		14,4	4,2	4,34	62,4	1 350	2 660
2	30	13,3	0	5,33	71,1	960	1 400
		14,8	7,5	4,63	68,5	980	1 430
3	31	12,1	NC ^b	4,32	52,4	570	180 ^c
		13,4	NC ^b	4,19	56,1	345	190 ^c
		14,6	NC ^b	4,05	59,3	250	170 ^c
		15,9	NC ^b	4,10	65,2	20	240 ^c
4	32	13,8	0	3,36	47,5	720	1 640
		15,7	10,65	3,54	56,7	740	1 790

1 : Quiniou et al. (2000g); 2 : McGlone et al. (1988b); 3 : Chen et al. (1990); 4 : Schoenherr et al. (1989); ^a T pour température ambiante ; C ^b NC pour non communiqué; ^c Croissance moyenne des porcelets, nombre de porcelets non communiqués

Une réduction de l'extra chaleur alimentaire peut également être obtenue par la diminution de la teneur en protéine de l'aliment (Noblet et al., 1994). Au chaud, les effets de l'utilisation de tels régimes sont variables selon les études (Tableau 8).

Tableau 8. Effets de la teneur en protéines de l'aliment sur les performances des truies en lactation élevées au chaud

Référence	T ^a , °C	ED, MJ/kg	Protéines, %	Consommation d'aliment, kg/j	Perte de PV, g/j	GMQ portée, g/j
1	28	NC ^a	20,0	3,7	NC ^a	NC ^a
		NC ^a	14,0	4,4	NC ^a	NC ^a
2	28	14,3	16,5	4,13	595	1 710
		14,3	13,7	4,25	753	1 770
3	29	14,6	16,8	3,1	1 670	1 941
		14,3	14,3	3,1	1 670	1 941
4	29	14,7	17,6	3,6	1 460	2 150
		14,4	14,2	4,0	1 035	2 242

1 : Lynch (1989); 2 : Johnston et al. (1999); 3 : Quiniou et Noblet (1999); 4 : Renaudeau et al. (2001); ^a T pour température ambiante ; ^a NC pour non communiqué

Contrairement à Lynch (1989) et Renaudeau et al. (2001), Quiniou et Noblet (1999) et Johnston et al. (1999) ne mettent pas en évidence une amélioration du niveau d'ingestion au chaud en utilisant des régimes à faible teneur en protéines. Les différences entre ces études peuvent s'expliquer en partie par des différences quantitatives et qualitatives dans la complémentation en acides aminés de synthèse. Par ailleurs, même si l'utilisation d'aliment à faible teneur en protéines n'a pas d'effets marqués sur la production laitière ou la mobilisation des réserves au chaud, elle permet de réduire de manière non négligeable les rejets azotés (Dourmad et Henry, 1994).

Le niveau d'ingestion spontanée est aussi influencé par le rythme des apports d'aliment et par la présentation de l'aliment (soupe ou farine). La consommation d'aliment augmente ainsi de 15% lorsque l'aliment est distribué 3 fois par jour au lieu d'une seule fois (Libal et Wahlstrom, 1983 ; cité par Dourmad (1988)). Dans le contexte d'un milieu ambiant chaud, des stratégies basées sur le fractionnement de l'apport alimentaire au cours de la journée (notamment au cours des périodes les plus fraîches) pourraient être envisagées.

c. Les facteurs liés à la conduite d'élevage

Au chaud, les performances de la truie en lactation peuvent être améliorées en modifiant les conditions de logement. Dans ce contexte, deux types d'approches peuvent être envisagés : soit 1/ favoriser les pertes de chaleur de l'animal ou 2/ diminuer la température du bâtiment.

L'utilisation de courant d'air dirigé vers le groin ou d'un système d'aspersion par goutte à goutte au niveau du cou ou des épaules permet d'augmenter de 55 à 90% la consommation de la truie exposée à 30°C (McGlone et al., 1988b). Il faut cependant prêter la plus grande attention à la maîtrise de ces techniques afin d'éviter les effets négatifs sur l'état sanitaire des porcelets (Quiniou et al., 2000c). Dans une expérience récente visant à évaluer les effets d'un système de refroidissement du sol en maternité sous la mère, Nunes Silva (2005) montre que les truies soumises à ce système consomment plus d'aliment que les truies témoins (6,5 vs. 5,6 kg/j). De plus, elles ont une meilleure production laitière, et donc une meilleure croissance des porcelets (260 vs. 200 g/j).

La diminution de la température ambiante dans le bâtiment d'élevage peut être obtenue en utilisant le principe du pouvoir évaporatif de l'air, où toute évaporation d'eau dans l'air entraîne une absorption d'énergie et donc une baisse de la température de l'air. Les deux équipements les plus utilisés en élevage sont la brumisation et les filtres humides ou *pad cooling*. Bien que relativement coûteux, ces dispositifs peuvent permettre de lutter efficacement contre les effets du chaud. En utilisant du *pad cooling*, Sartor et al. (1999) montrent une augmentation de 25% de l'ingestion d'aliment des truies en lactation en période estivale au Brésil. En revanche, de par leur principe (i.e., l'air refroidi est chargé en humidité), l'efficacité de tels systèmes est fortement réduite lorsque l'hygrométrie ambiante est déjà élevée. En fait, compte tenu des effets négatifs de l'hygrométrie sur les performances au chaud, l'avantage global de ces techniques dépend du bilan entre l'effet positif lié à la baisse de la température et l'effet négatif lié à l'augmentation de l'hygrométrie.

3.2. Facteurs de variations des performances de reproduction au chaud

3.2.1. Facteurs liés à la truie

a. Etat corporel et numéro de portée de la truie

Plusieurs auteurs (Clark et al., 1986; Martinat-Botte et al., 1996; Tummaruk et al., 2000) montrent en milieu tempéré que les effets de la saison sur l'ISO sont plus marqués chez les truies primipares que chez les multipares. En revanche, Vesseur et al. (1994) en milieu tempéré et Tantasuparuk et al. (2000) en milieu tropical humide ne montrent pas d'interaction entre la saison et le rang de portée pour l'ISO. Ce dernier dépend grandement de l'ampleur des réserves corporelles mobilisées pendant la lactation mais aussi de la

quantité de réserves disponibles au moment du sevrage (voir revues de Dourmad et al. (1994) et de Quesnel et al. (2005)). Dans l'ensemble, les truies multipares ont plus de réserves que les truies primipares pour tamponner les effets d'un déficit nutritionnel pendant la lactation. Cela est illustré par la Figure 18. En étudiant l'effet de la perte de poids pendant la lactation sur l'ISO, Vesseur et al. (1994) montrent que la durée de l'ISO est prolongée chez les truies primipares qui perdent plus de 7,5% de leur poids vif en lactation alors que l'ISO des multipares est faiblement affecté par les variations de pertes de poids. Les mécanismes physiologiques qui sous-tendent l'influence du statut métabolique sur l'activité des ovaires ont été très étudiés (voir revues de : Booth (1990) et de Pettigrew et al. (1993)). Un catabolisme intense pendant la lactation s'accompagne d'une altération des concentrations circulantes en métabolites et hormones impliquées dans le métabolisme des nutriments. Il induit notamment une moindre disponibilité en glucose, insuline et IGF-I, facteurs qui stimulent l'activité de l'axe gonadotrope. Deux études suggèrent que ces altérations seraient partiellement atténuées quand les réserves corporelles à la mise bas sont élevées (van den Brand et al., 2000; Mejia-Guadarrama et al., 2002).

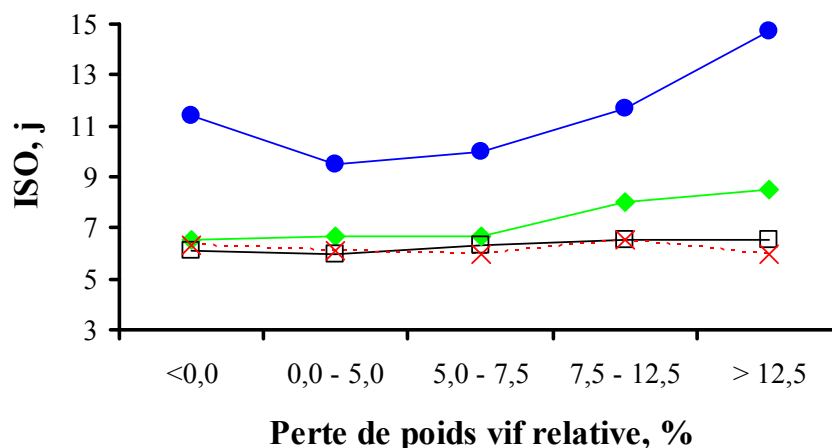


Figure 18. Effet de la perte de poids vif relativement au poids à la mise bas de la truie sur l'intervalle entre le sevrage et l'oestrus (ISO) selon le numéro de portée (Vesseur et al., 1994; ● primipares ; ◆ 2^{ème} numéro de portée ; □ 3^{ème} à 5^{ème} numéro de portée ; × numéro de portée ≥ 6)

b. Génotype

Les effets de l'interaction entre la température élevée, et plus généralement la saison, et le type génétique diffèrent selon les études et les types génétiques étudiés. Dans le milieu tropical humide de la Thaïlande, Tantasuparuk et al. (2000) observent un ISO plus élevé

chez les truies Landrace par rapport aux Large White. En revanche, au Nigéria, Steinbach (1976) et Omeke (1989) ne montrent pas des différences marquées de l'effet de la saison sur ces deux types génétiques. Cependant, des différences sont observées en comparant deux types génétiques extrêmes. Ainsi, en milieu tropical, Canope (1982) observe que le retour en oestrus est retardé en moyenne de 3 jours chez les truies Large White par rapport aux truies de race Créole.

Pour un même type génétique, la variabilité génétique des caractères déterminant la durée des périodes improductives des truies a fait l'objet de nombreuses études (Tableau 6). Ten Napel et al. (1995) montrent qu'il est possible de réduire l'ISO après une première lactation par sélection. Cependant, la sélection sur ce critère ne semble pas être efficace, car elle permet de réduire l'ISO moyen sans affecter l'incidence des retours en oestrus silencieux. Hanenberg et al. (2001) observent une diminution de la valeur de l'héritabilité de l'ISO avec le numéro de portée, du premier au troisième. A notre connaissance, il existe peu de travaux sur l'estimation de l'héritabilité du taux de conception de la truie. D'après Varona et Noguera (2001) et Holm et al. (2005), cette valeur est proche de zéro. De plus, dans une étude génétique sur la longévité des truies Landrace de Suède, Yazdi et al. (2000) trouvent des héritabilités modérées (entre 0,11 et 0,27), ce qui suggère qu'il est possible d'améliorer la longévité des truies par la sélection.

3.2.2. Facteurs liés à l'environnement

a. Les facteurs climatiques

Comme pour la truie en lactation, la photopériode et l'humidité relative sont les principaux facteurs de l'environnement pouvant interagir avec les effets de la température ambiante sur les performances de reproduction.

D'après les travaux réalisés en Finlande (Peltoniemi et al., 1997; 1999 et 2000), les variations photopériodiques constituent le principal facteur environnemental qui module les performances de reproduction de la truie. Les performances de reproduction comme l'âge à la puberté, le retour en oestrus après le sevrage et le taux de conception, sont plus faibles avec l'allongement de la période diurne. Dans d'autres régions tempérées, des augmentations de la photopériode et de la température ambiante sont observées au cours de la saison estivale ; il est alors difficile de dissocier les effets respectifs de ces deux facteurs sur les performances. Dans une expérience où la durée d'éclairement est fixée à 12 ou à 16 h/j pendant la lactation, Prunier et al. (1994) montrent un effet de la photopériode sur la

durée de l'ISO en saison hivernale, mais pas en saison estivale. Ce résultat suggère que les variations saisonnières des performances de reproduction sont plus liées à celles de la température ambiante (dans les conditions climatiques de la France hexagonale – cela n'est pas vrai en Norvège ou en Finlande). Compte tenu de l'absence d'un effet marqué de la saison sur la photopériode dans nos régions tropicales, cette conclusion est également valable pour expliquer l'allongement de l'ISO en saison chaude (Steinbach, 1976; Singh et al., 1989; Kabuga et Annor, 1991).

Comme pour la photopériode, il est difficile de dissocier les effets de l'humidité élevée de ceux de la température. Ainsi, Tantasuparuk et al. (2000) montrent l'impact important de la température et de l'humidité sur les performances de reproduction de la truie élevée sous le climat tropical humide de la Thaïlande. En utilisant un index climatique basé sur les variations mensuelles de la température ambiante et de l'humidité relative («Temperature Humidity index», THI), ces auteurs montrent l'effet défavorable de la combinaison fortes températures / fortes humidités sur le retour en oestrus après le sevrage et le taux de conception des truies. Par ailleurs, les effets combinés de l'humidité et de la température peuvent agir sur les performances de reproduction via la qualité de la semence de verrat. En effet, Suriyasomboon et al. (2004) observent qu'une température ambiante supérieure à 29°C combinée à une humidité relative supérieure à 70% diminue à la fois le volume de l'éjaculat et la concentration spermatique.

b. Les facteurs liés à la conduite d'élevage

La proximité physique du verrat auprès des truies peut avoir un effet sur les performances de reproduction de la truie au cours de la saison estivale. En effet, il semble que la présence d'un verrat à proximité des truies réduit l'ISO en été et en automne (Love et al., 1993; cité par Quesnel et al. (2005)). Précisément, le verrat permet d'atténuer l'effet négatif de la saison sur l'ISO.

Par ailleurs, les effets de la saison sur les performances de reproduction de la truie peuvent varier selon le mode de logement. Une augmentation de l'ISO est observée lorsque les truies sont logées en groupe plutôt que quand elles sont en loge individuelle, et principalement chez les jeunes truies (primipares et second numéro de portée) en raison de leur faible rang social (Vesseur et al., 1994). En fait, le stress dû aux conflits sociaux et aux compétitions pour accéder à l'auge est susceptible de diminuer la fertilité des truies (Meunier-Salaün et al., 2002).

Enfin, Love et al. (1995, cités par Quesnel et al. (2005)) mettent en évidence une interaction entre la saison et le niveau d'alimentation en début de gestation. Ces auteurs montrent qu'en été et en automne, le taux de conception est faible ($< 75\%$) lorsque le niveau alimentaire est bas (1,6 à 2 kg/j), par rapport aux valeurs obtenues en hiver et au printemps ($> 85\%$), pour un même niveau alimentaire. De plus, un niveau d'alimentation plus élevé en été ($> 3,6$ kg/j) atténue l'effet de la saison sur le taux de conception.

Etudes expérimentales

Dispositif expérimental

Ce travail de thèse a reposé sur l'analyse de données expérimentales mesurées à l'élevage porcin de l'Unité Expérimentale de Production et de Santé Animale (UEPSA) qui constitue l'une des deux stations expérimentales de la Station de Recherches Zootechniques. L'UEPSA est située dans le domaine de Duclos sur la Basse Terre (Guadeloupe 16° N., 61° W.). Le bâtiment d'élevage de porcs a été entièrement reconstruit après le passage de l'ouragan Hugo, en 1989. A sa reconstruction, l'élevage a été peuplé avec des truies Large White (LW) en race pure ($n = 48$ truies) conduites en 4 bandes. En 2000, le génotype Créole (CR; $n = 20$ truies) a été réintroduit pour disposer d'un variant génétique pour les études de la tolérance à la chaleur. L'élevage est constitué d'un bâtiment semi ouvert d'une surface de 1000 m² sur caillebotis intégral. Les animaux sont donc directement sous l'influence des variations nycthémérales et saisonnières des paramètres climatiques.

1. L'environnement climatique

Comparativement à la Grande Terre, la Basse Terre est caractérisée par une humidité ambiante plus élevée et des températures plus fraîches (Berbigier, 1988). Les Figures 1 et 2 présentent les moyennes mensuelles des enregistrements de température ambiante et d'humidité relative, respectivement, obtenues à partir d'une station météorologique située à 50 m de l'élevage, sur la période de 1994 à 2005. La température ambiante est élevée toute l'année et varie en moyenne entre 23 et 26°C. Les températures minimales et maximales varient respectivement de 20 et 28°C en février à 23 et 31°C en août. L'humidité relative moyenne est très peu variable au cours de l'année et est d'environ 83% en moyenne.

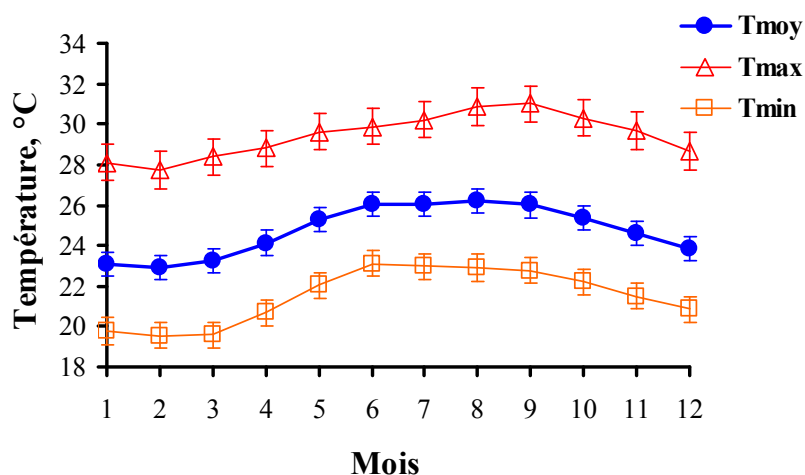


Figure 1. Températures minimale (Tmin), moyenne (Tmoy) et maximale (Tmax) mensuelles (1994-2005)

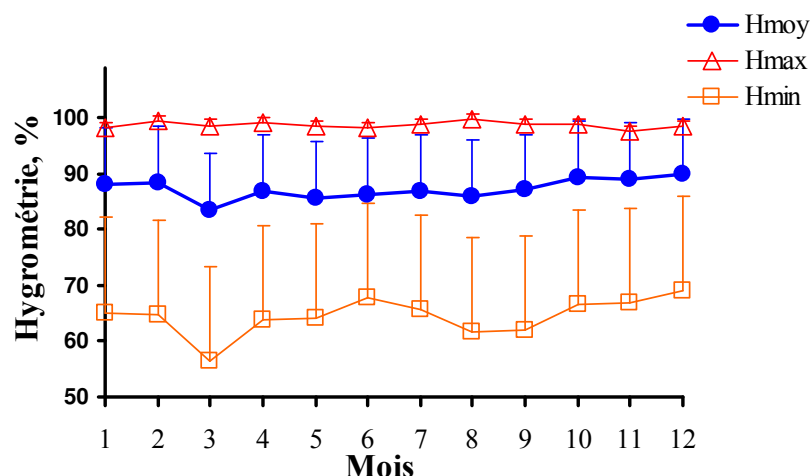


Figure 2. Hygrométries minimale (Hmin), moyenne (Hmoy) et maximale (Hmax) mensuelles (1994-2005)

Une analyse discriminante des paramètres climatiques mensuelles des températures et des humidités ambiantes, suivie d'une analyse de classification hiérarchique, nous a permis de déterminer deux saisons *a posteriori* (Tableau 1): une saison fraîche entre le mois de novembre et le mois d'avril et une saison chaude entre le mois de mai et le mois d'octobre. Les températures moyennes sont de 23,7 et 26,0°C, respectivement, pour la saison fraîche et la saison chaude. L'amplitude de la température ambiante moyenne (i.e., moyenne des écarts journaliers entre la température maximale et minimale) est semblable d'une saison à l'autre (2,3°C en moyenne). La durée moyenne de la période diurne est légèrement plus élevée en saison chaude (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques principales des saisons (1994-2005)

	Saison	
	Fraîche	Chaude
Température, °C		
Minimal	20,2	22,7
Maximal	28,6	30,6
Moyenne	23,7	26,0
Humidité relative, %		
Minimal	55,0	58,4
Maximal	99,3	98,8
Moyenne	86,0	85,3
Durée de la période diurne, h	11,67	12,33

La Figure 3 présente les variations journalières de la température ambiante et de l'humidité relative en fonction des saisons. Les variations de la température ambiante durant la journée sont similaires en saison fraîche et en saison chaude, avec une amplitude d'environ 7°C entre les températures minimale et maximale (06h00 et 13h00). L'humidité

relative fluctue de façon similaire pour les deux saisons mais de façon inversée par rapport à la température ambiante.

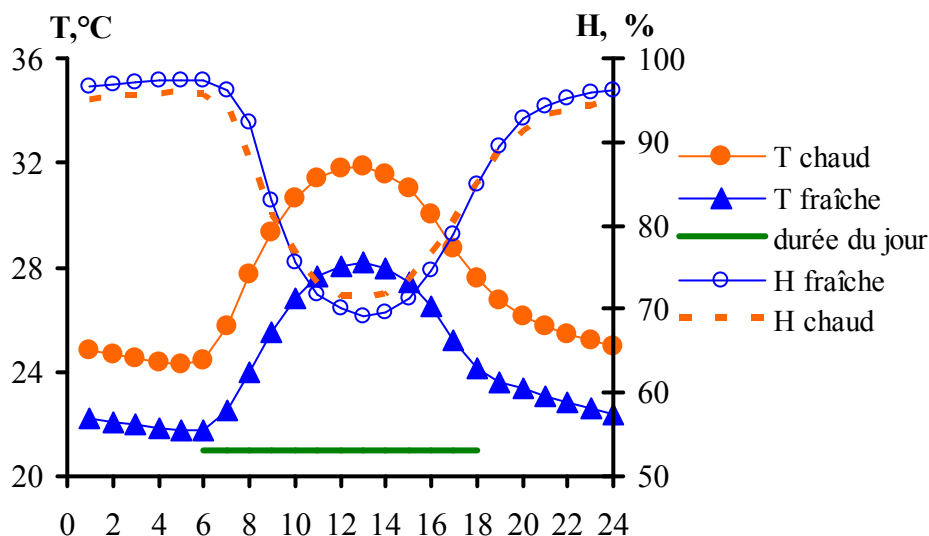


Figure 3. Variations journalières de la température ambiante et de l'humidité relative en fonction des saisons

2. La conduite de l'élevage

2.1. La conduite générale de l'élevage

Les truies reproductrices sont conduites en bandes de 12 truies espacées de 6, 6, 3 et 6 semaines. Le taux de renouvellement annuel des truies se situe autour de 50%, ce qui représente en moyenne une introduction de 20 à 25% de nullipares dans chaque bande. Le renouvellement est réalisé avec des cochettes nées dans l'élevage mais le plus souvent issues de mères ayant été inséminées avec de la semence fraîche en provenance de l'hexagone (INRA du Magneraud, France-Hybrides, Cobiporc, Nucleus, INRA-SEIA de Rouillé). La mise à la reproduction est réalisée à 30-35 semaines d'âge après synchronisation par traitement avec un progestagène (Régumate). En période de saillie, la détection des chaleurs a lieu deux fois par jour, matin et soir, en présence d'un verrat. Une fois les truies en chaleur, une double insémination est pratiquée avec une première saillie dès que la truie accepte le verrat et une seconde insémination au maximum 24 heures plus tard. Pratiquement, près de 70% des inséminations sont réalisées par insémination artificielle et le reste par saillie naturelle. Dans près de 90% des cas, la semence est prélevée à l'élevage, le reste correspond à des doses de semences fraîches achetées dans les centres d'insémination artificielle. Le diagnostic de gestation des truies est réalisé en présence d'un verrat à partir du 21^{ème} jour après la saillie et confirmé par échographie entre les 30 et 35^{ème} jours de

gestation. Si les truies sont confirmées pleines, elles sont déplacées dans des loges collectives de 4 places pour le reste de la période de gestation.

A environ 100 jours de gestation, les truies sont placées en maternité dans des loges individuelles sur caillebotis métallique. Chaque loge est équipée d'une auge connectée à une trémie et d'une sucette leur permettant d'avoir un accès libre à l'eau. A la naissance, les porcelets sont individuellement identifiés et les dents sont coupées. Dans les 48 heures qui suivent la mise bas, les portées sont équilibrées via des adoptions croisées entre des truies du même type génétique (8 à 9 porcelets et 10 à 11 porcelets, respectivement chez les truies CR et LW). Pendant toute la durée de la lactation, des lampes infrarouges placées dans le « coin à porcelets » permettent de fournir aux porcelets de la chaleur. Les mâles sont castrés à 14 jours d'âge. Le sevrage est réalisé le jeudi de la 4^{ème} semaine de lactation.

2.2. La conduite alimentaire

Les aliments utilisés dans notre élevage expérimental proviennent de l'unique usine d'aliment implantée en Guadeloupe (GMA, groupe Continental Grain). Ces aliments sont tous formulés à base de maïs, tourteau de soja, remoulage et son de blé et distribués sous forme de granulés.

a. Alimentation en gestation

Pendant la gestation, chaque truie LW reçoit un plan d'alimentation individualisé en utilisant les modèles de prédiction de Dourmad et al. (1997 et 2001), basés sur une approche factorielle des besoins. Ce plan d'alimentation est mis en place dans notre élevage expérimental depuis 1999. Il favorise une bonne reconstitution des réserves corporelles mobilisées lors de la lactation précédente et une standardisation de la condition corporelle à la mise bas suivante. Pratiquement, les besoins des truies sont estimés à partir du poids et de l'épaisseur de lard à la saillie et des objectifs de poids (calculés automatiquement à partir de l'évolution type du poids vif en fonction de l'âge), d'épaisseur de lard (21 mm) et de taille de portée (11 porcelets) à la mise bas suivante. Le rationnement individuel est réalisé en attente saillie et dans les 30 premiers jours de gestation (loge individuelle). Entre le 30^{ème} jour de gestation et la mise bas, les truies sont logées par groupe de 4 et elles reçoivent 3,0 kg/j. Les modèles de prédiction étant utilisables uniquement pour des génotypes conventionnels, compte tenu de leurs besoins plus faibles, les truies CR reçoivent en moyenne 2,0 kg d'aliment pendant toute la gestation. L'aliment de gestation est formulé à

base de maïs, de tourteau de soja, de remoulage et de son de blé, et contient 14,0% de matières azotées totales, 0,55% de lysine digestible et 13,0 MJ/kg d'énergie digestible.

b. Alimentation en lactation

A la mise bas, une ration composée d'1 kg d'aliment de gestation est distribuée à chaque animal. Après la mise bas, les truies reçoivent un plan d'alimentation afin d'homogénéiser la prise alimentaire en début de lactation et éviter les éventuels problèmes d'agalaxie. La transition entre l'aliment de gestation et l'aliment de lactation est réalisée dans les trois premiers jours suivant la mise bas. La quantité d'aliment allouée augmente d'1 kg chaque jour jusqu'au quatrième jour *post partum*. Pendant cette période, la proportion d'aliment de gestation diminue progressivement (c'est-à-dire 100%, 75%, 50% et 25%, respectivement, à la mise bas, à J 1, J 2 et J 3 après la mise bas) et les truies sont alimentées uniquement avec l'aliment de lactation à partir du 4^{ème} jour *post partum*. Du cinquième jour après la mise bas au 26^{ème} jour *post partum*, les truies sont nourries à volonté. A la veille du sevrage (J 27), les truies reçoivent 3 kg d'aliment pour standardiser la prise alimentaire et peser les truies dans les mêmes conditions le lendemain matin. Les refus sont réalisés tous les matins entre 7 et 8 heures et de l'aliment frais est distribué immédiatement après en une seule fois dans la trémie.

L'aliment en lactation est formulé à base de maïs (37%), de tourteau de soja (21%), de remoulage de blé (33%) et de son de blé (2%), et contient 0,82% de lysine digestible. Sa composition chimique est détaillée dans le Tableau 2. Un aliment 1^{er} âge, contenant 20% de matières azotées totales, 1,32% de lysine digestible et 15,3 MJ/kg d'énergie digestible, est distribué à volonté aux porcelets sous la mère à partir du 21^{ème} jour d'âge.

Tableau 2. Composition chimique de l'aliment de lactation

Composition chimique, g/kg frais (87,5 % MS)	Moyenne (31 dosages)	(min-max)
Matières minérales	65	(60-74)
Matières azotes totales	175	(158-199)
Matières grasses	60	(54-67)
Amidon	272	(256-290)
Cellulose brute	40	(66-57)
NDF	174	(142-224)
ADF	44	(30-71)
ADL	5	(3-9)

NDF : Neutral Detergent Fiber ; ADF : Acid Detergent Fiber ; ADL : Acid Detergent Lignin

3. Description des mesures réalisées

Depuis la reconstruction de l'élevage en 1993, les données concernant la gestion technique des truies et des porcs en engraissement sont mesurées en routine et enregistrées grâce au logiciel GENEX mis en place par le département « Génétique Animale » de l'INRA. Depuis 1999, d'autres paramètres concernant les truies en lactation (consommation, comportement alimentaire, prélèvement de lait, pesées hebdomadaires des porcelets et température rectale) et les truies en gestation (mesures de l'état corporel à 30, 60 et 110 j de gestation) ont été ajoutés à ce panel de mesures.

3.1 Les mesures en gestation

Le poids vif et l'épaisseur de lard sont mesurés à 30 j, 60 j et 110 j de gestation. Ces mesures nous permettent de vérifier la prise de poids de la truie et de contrôler la bonne reconstitution des réserves énergétiques pour la prochaine lactation. L'épaisseur de lard est déterminée par ultra-sons (Agrosacan, ECM, Angoulême, France) au niveau de la dernière côte à 6,5 cm de part et d'autre de la colonne vertébrale (site P2).

3.2. Les mesures en lactation et en période *post* sevrage

Le poids vif et l'épaisseur de lard des truies sont mesurés à la mise bas et au sevrage. Pour chaque portée, les nombres de porcelets nés totaux, nés vivants, morts nés, adoptés et retirés, et morts pendant la lactation sont enregistrés. Les porcelets sont pesés individuellement toutes les semaines, de la naissance au sevrage. Lorsqu'un porcelet est retrouvé mort, le poids et la cause présumée de la mort sont notés. Un prélèvement de lait est effectué au 14^{ème} jour de lactation selon le protocole suivant. Après une tétée, les porcelets sont séparés de la mère pendant 30-50 min (i.e., durée moyenne de l'intervalle entre 2 tétées). Par la suite, l'éjection du lait est obtenue par une injection intraveineuse de 10 UI d'ocytocine de synthèse (Intervet, Angers, France) au niveau d'une oreille. Environ 100 ml de lait sont prélevés sur toutes les mamelles actives et immédiatement stockés à -20°C. Ces échantillons sont analysés pour leur teneur en matière sèche, matières minérales, azote et matières grasses (AOAC, 1990). La consommation alimentaire quotidienne des truies est calculée par différence entre la quantité allouée et celle refusée le lendemain matin. Le comportement alimentaire est mesuré sur une partie des truies grâce à un système d'auges placées sur des capteurs de poids reliés à un ordinateur. Ce système mis au point à l'INRA de St Gilles permet de mesurer toutes les 30 secondes, la quantité d'aliment consommée, le début et la fin de chaque prise alimentaire et donc sa durée. L'activité physique (position

assise et debout) de ces truies est également mesurée grâce à une barrière infrarouge. La température rectale des truies est mesurée tous les lundis et jeudis, à 07h00 et à 12h00, du lundi avant la mise bas au lundi après le sevrage.

Le poids vif et l'épaisseur de lard sont mesurés avant la saillie. Les informations concernant la reproduction, la détection des chaleurs et le mode de saillie sont régulièrement notées.

J'ai participé à la collecte des différentes mesures, particulièrement aux mesures de poids vif et d'épaisseur de lard dorsal des truies, aux pesées des porcelets, à la prise de la température rectale des truies, aux prélèvements de lait, à la manipulation des sacs d'aliment (acheminement dans le bâtiment d'élevage, répartition dans les loges), à la préparation des rations destinées aux truies gestantes et allaitantes et aux enregistrements des données sur les bases de données développées sous le logiciel Excel et GENEX. De plus, j'ai eu l'opportunité de participer à des mesures en dehors du contexte des travaux de cette thèse, en participant aux mesures dans le cadre des protocoles de comparaison des performances individuelles en engraissement du porc Créole et du porc Large White (mesures des poids des différentes pièces de carcasse, mesures de la qualité de la viande par la couleur et le pH), dans le cadre des protocoles de l'influence d'un stress thermique chronique sur les réponses physiologiques, les performances et l'utilisation de l'aliment des porcs Large White (mesures de températures rectales et cutanées, du rythme respiratoire, du comportement des animaux, des prélèvements d'urine).

Mises à part les techniques de statistiques descriptives et d'analyse graphique et factorielle, et les tests non paramétriques, les méthodes statistiques utilisées pour analyser ces données reposent essentiellement sur la théorie de la régression et de l'analyse de variance. L'originalité des méthodes employées résident sans nul doute dans la prise en considération dans les modèles mixtes (linéaire, logistique, log-linéaire ou non-linéaire) des mesures répétées, à l'échelle de la carrière de la truie ou à l'échelle de la durée de lactation dans le choix des structures de la matrice de covariance, et d'une bonne adéquation entre la complexité des modèles mathématiques et leur pertinence pour atteindre l'objectif d'une description et d'une explication optimales du phénomène biologique étudié.

4. Description de la base de données

Le Tableau 3 présente un résumé des données recueillies et analysées. Les données enregistrées représentent un total de 1 332 mises en reproduction pour les truies Large White recouvrant la période janvier 1993 à décembre 2005 et 225 mises en reproduction pour les truies Créoles entre janvier 2000 et décembre 2005. Cela représentent un total de 284 truies LW ayant produit 995 portées entre 1993 et 2005 et 61 truies CR qui ont données 183 portées entre 2000 et 2005.

Tableau 3. Base de données zootechniques du troupeau de truies de l'Unité expérimentale en Production et Santé Animales (UEPSA)^a

Nombre	Type génétique d'animaux			
	Large White		Créole	
	Animaux	Observations	Animaux	Observations
Reproduction- Gestation				
<i>Saillie</i>				
Détection de chaleur	284	1 332	61	225
PV	69	938	28	186
ELD	73	612	31	192
<i>30^{ème} jour de gestation</i>				
PV	100	551	48	211
ELD – ELE	99	549	48	211
<i>60^{ème} j de gestation</i>				
PV	91	437	47	178
ELD – ELE	91	438	47	178
<i>100^{ème} j de gestation</i>				
PV	92	469	47	177
ELD – ELE	94	480	47	177
Lactation				
<i>Avant la mise bas</i>				
PV	223	977	43	171
ELD – ELE	121	594	43	171
<i>Après la mise bas</i>				
<i>Truie</i>				
PV	129	604	45	173
Consommation alimentaire	146	335 ^b	47	68 ^b
Comportement alimentaire et activité physique	21	30 ^b	24	55 ^b
Prélèvement de lait	37	83 ^b	36	83 ^b
Température rectale	167	247 ^b	48	113 ^b
PV du porcelet	5 635	14 080 ^c	1 594	3 985 ^c
<i>Sevrage</i>				
<i>Truie</i>				
PV	207	953	47	176
ELD – ELE	120	587	47	175
PV du porcelet	4 022	4 022	1 367	1 367

^a Signification des abréviations : PV = poids vif; ELD = épaisseur de lard dorsal; ELE = épaisseur de lard mesurée au niveau de l'épaule ; ^b Valeurs correspondant aux nombre de lactations ; ^c Valeurs correspondant aux nombre de poids mesurés entre la naissance et la semaine avant le sevrage

1. Etude expérimentale 1

1.1. Introduction à l'étude expérimentale 1

La truie en lactation est très sensible à l'augmentation de la température ambiante en raison de la forte production de chaleur liée à son activité métabolique pour satisfaire les besoins de sa portée. L'ensemble des études menées en chambre climatique montre que lorsque la température excède la température critique d'évaporation (définie comme la température ambiante à partir de laquelle les pertes de chaleur par évaporation augmentent ; $< 22^{\circ}\text{C}$), l'appétit de la truie allaitante diminue, ce qui provoque une réduction de ses performances de lactation (augmentation de la mobilisation des réserves corporelles, réduction de la vitesse de croissance de la portée), et des conséquences néfastes sur les performances de reproduction (augmentation de la durée de la période « improductive »).

Cependant, la plupart des études disponibles sur le sujet ont été effectuées dans des milieux expérimentalement contrôlés avec des niveaux de températures constants, ce qui n'est pas facilement transposable aux conditions des élevages des zones tropicales humides. A notre connaissance, il y a très peu d'études quantifiant les effets du climat tropical et de ses variations saisonnières sur les performances de la truie en lactation. D'autre part, outre le climat, les performances de lactation de la truie sont modulées par des caractéristiques liées à la truie comme son rang et sa taille de portée. Compte tenu des différences de performances généralement observées entre les truies primipares et les multipares, il est possible que l'influence du climat tropical sur la réponse des truies diffère selon le rang de portée.

Au cours de ce premier travail, nous nous sommes attachés à étudier les performances de lactation de la truie de race Large White élevée dans nos conditions tropicales humides. Pour cela nous disposons d'une base de données concernant 106 truies pour un total de 301 lactations mesurées.

1.2. Publication n°1

Effects of season and parity on performance of lactating sows in a tropical climate

Jean-Luc Gourdine, David Renaudeau, Jean Noblet et Jean-Pierre Bidanel

(publiée à Animal Science)

Résumé :

Un total de 106 truies Large White sur plusieurs cycles reproductifs (301 lactations au total) ont été utilisées en Guadeloupe (Antilles françaises, latitude 16°N, longitude 61°O) entre Janvier 1999 et Mars 2003, pour étudier les effets de la saison en milieu tropical et du numéro de portée de la truie sur les performances en lactation. Deux saisons ont été déterminées *a posteriori*, à partir des paramètres climatiques continuellement enregistrés dans une station proche de l'unité expérimentale. La température ambiante et l'humidité relative moyennes ont été, respectivement, de 23,5°C et de 83,1% pendant la saison fraîche. Les valeurs correspondantes en saison chaude ont été, respectivement, 26,0°C et 83,4%. Au cours des 28 jours de lactation, la consommation alimentaire moyenne journalière (CMJ) diminue pendant la saison chaude (-800 g, $P < 0,01$) et s'accompagne d'une augmentation de la perte de poids (+5 kg, $P < 0,05$). La croissance pendant la lactation et le poids du porcelet au sevrage sont réduits ($P < 0,05$) pendant la saison chaude (respectivement, 203 vs. 220 g/j et 7,0 vs. 7,5 kg). Cependant, l'intervalle entre le sevrage et l'oestrus n'est pas affecté par la saison (5,4 jours en moyenne). Pendant la période *ad libitum*, la CMJ des truies primipares est moins affectée par la saison que les truies multipares (-360 vs -1 000 g/j en saison chaude). Quelle que soit la saison, la CMJ des truies primipares est plus faible ($P < 0,01$) que celle des truies multipares (4,0 vs. 4,4 kg/j) et la croissance du porcelet allaité par une truie primipare tend à être moins importante (205 vs. 215 g/j, $P < 0,1$). De plus, le pourcentage de truies dont le retour à l'oestrus après sevrage est supérieur à 5 jours est plus élevé ($P < 0,001$) chez les primipares (25%) que chez les multipares (2%). Cette étude confirme les effets négatifs de la saison chaude sur les performances de la truie allaitante élevée dans les conditions du milieu tropical humide. Par ailleurs, elle met en évidence que les effets du climat sur les performances de la truie allaitante diffèrent selon le rang de portée, les multipares étant plus affectées que les primipares.

Effects of season and parity on performance of lactating sows in a tropical climate

J. L. Gourdine¹, D. Renaudeau^{1†}, J. Noblet² and J. P. Bidanel³

¹Unité de Recherches Zootechniques, Institut National de la Recherche Agronomique, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe, French West Indies

²Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, Institut National de la Recherche Agronomique, 35590 St-Gilles, France

³Station de Génétique Quantitative et Appliquée, Institut National de la Recherche Agronomique, 78352 Jouy-en-Josas Cedex, France

† Corresponding author. E-mail : renaudeau@antilles.inra.fr

Abstract

The effects of season in a tropical climate and parity on lactation performance of 106 Large White sows over several reproductive cycles (301 lactations in total) were studied in Guadeloupe (French West Indies, 16°N latitude, 61°W longitude) between January 1999 and March 2003. Two seasons were determined a posteriori from climatic parameters recorded continuously in a station close to the experimental unit. During the warm season, ambient temperature and relative humidity averaged 23.5°C and 0.831, respectively. In the hot season, the corresponding values were 26.0°C and 0.834, respectively. Over the 28-day lactation period, average daily food intake (ADFI) was lower ($P < 0.001$) and live-weight (LW) loss was higher ($P < 0.05$) during the hot season than during the warm season (3.9 v. 4.7 kg/day and 17 v. 12 kg, respectively). Growth rate and mean LW of piglets at weaning were lower ($P < 0.05$) during the hot season (203 v. 220 g/day and 7.0 v. 7.5 kg, respectively). However, the weaning-to-oestrus interval was not affected by season (5.4 days on average). The effect of season on ad libitum ADFI was less accentuated for primiparous than for multiparous sows (warm-hot 360 v. 1001 g/day). Irrespective of the season, ADFI was lower ($P < 0.01$) and piglet growth rate tended to be lower ($P < 0.1$) in primiparous than in multiparous sows (4.0 v. 4.4 kg/day and 205 v. 215 g/day, respectively). Moreover, the percentage of sows that returned to oestrus later than 5 days after weaning was higher in primiparous than in multiparous sows (25 v. 2%, $P < 0.001$). This study confirmed the negative effects of the hot season on performance of lactating sows raised in a humid tropical climate; the effects of season are dependent on parity number.

Keywords: food intake, lactation, parity, sows, tropical climate.

Introduction

Under most practical conditions, the voluntary food intake of lactating sows is generally too low to meet the nutrient requirement for milk production and consequently body reserves are partly mobilized. During lactation, voluntary food intake is affected by characteristics of the sow such as parity, live weight (LW), litter size or genotype, and environmental factors such as diet composition, light pattern or climatic factors. In particular, when ambient temperature is above evaporative critical temperature (i.e. 22°C; Quiniou and Noblet (1999)), voluntary food intake is reduced, with subsequent

negative consequence on performance during lactation (Lynch, 1977; Stansbury *et al.*, 1987; Black *et al.*, 1993). However, most of these studies were performed using two or several levels of temperature kept constant over the day at a low relative humidity. In contrast, little information is available on the combined effects of high humidities and variable diurnal temperatures such as those encountered in tropical humid climates (Steinbach, 1971; Christon *et al.*, 1999; Renaudeau *et al.*, 2003). In addition, under these circumstances, sows are usually exposed to outside climatic conditions and therefore directly exposed to seasonal variations. Finally, according to

differences in voluntary food intake and productivity between primiparous and multiparous sows, the effect of climatic conditions may depend on parity number. The objective of this study was to investigate the effect of season and parity on the performance of lactating sows and their litters in a tropical climate. Analyses were performed from data recorded over a three year period (301 lactations) at the experimental herd of INRA in Guadeloupe, French West Indies. Data on a fraction of the total number of lactations (i.e. no. = 30) were presented in a previous paper (Renaudeau *et al.*, 2003).

Material and methods

Animal management

Experimental design. The data used concerned 106 Large White sows, from 36 contemporary groups each contributing eight to 10 lactations (i.e. 301 lactations), raised at the INRA experimental herd of Duclos in Guadeloupe, French West Indies (16°N latitude, 61°W longitude); the data covered the period between January 1999 and March 2003. Sows used originated from selected purebred sows of European temperate countries. Two seasons were determined *a posteriori* from climatic parameters recorded in a station close to the experimental unit.

During pregnancy, sows were given food restrictively with a conventional diet based on maize, wheat middlings and soya-bean meal and containing 13 MJ/kg of digestible energy (DE), 140 g/kg of crude protein (CP) and 5.5 g/kg of lysine. In order to standardize body condition at farrowing, pregnancy food allowance was calculated for each sow from live weight (LW) and backfat thickness at oestrus according to the model proposed by Dourmad *et al.* (1997). Individual food allowances were possible only during the first 30 days because sows were in individual rooms. Between the 30th and 114th day of gestation, 2.7 kg/day were allowed. Ten days before farrowing, the animals were moved to a semi-open farrowing unit where ambient temperature, relative humidity and photoperiod at the sow level followed those of the outside. The farrowing room was equipped with pens (2.1 X 2.2 m) on a metal slatted floor and infrared lights to provide supplemental heat for the piglets during the whole lactation period. On farrowing day (i.e. day 0), sows received 1 kg of the gestation diet. The lactation length was approximatively 28 days. The food allowance was progressively increased by 1 kg each day until day 5 with the lactation diet, so that the proportion of standard gestation diet decreased regularly over the first 4 days *post partum* (i.e. 100, 75, 50, 25 and 0%, on days 0, 1, 2, 3 and 4, respectively). Sows were given food once daily, diet refusals were removed once per day and new food was immediately supplied. Sows

naturally stood to eat and drink. The lactation diet was based on maize, wheat middlings, soya beans and formulated in order to meet or exceed National Research Council (NRC, 1998) amino acids requirements. Composition, chemical characteristics, and nutritional values of the diet are presented in Table 1. Sows had free access to water from a low-pressure nipple drinker. At birth, piglets were tattooed and the teeth were cut. Litter size was standardized to 10 or 11 piglets by cross-fostering

Table 1 Composition of the lactation diet

	Lactation diet
Ingredients (g/kg)	
Maize	369.0
Soya-bean meal	210.0
Wheat middlings	327.0
Wheat bran	20.0
Soya-bean oil	30.0
L-Lysine HCl	0.4
L-Threonine	0.3
Choline†	0.6
Dibasic calcium phosphate	13.0
Calcium carbonate	19.0
Salt	5.7
Minerals and vitamins‡	5.0
Chemical composition (g/kg as fed)§	
Ash	61
Crude protein	173
Crude fat	59
Starch	333
Crude fibre	37
Neutral-detergent fibre	151
Acid-detergent fibre	40
Acid-detergent lignin	4
Lysine	9.2
Methionine + cystine	5.7
Threonine	6.7
Nutritional value	
Net energy (NE) (MJ/kg)	10.2
Digestible lysine (g/MJ NE)	0.81

† Contains 0.66 of choline.

‡ Minerals and vitamins mixture supplied (g/kg of diet) : Cu (as $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 10; Fe (as $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 80; Mn (as MnO), 40; Zn (as ZnO), 100; I (as $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$), 0.6; Co (as $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 0.10; Se (as Na_2SeO_3), 0.15; vitamin A, 5,000 IU; vitamin D3, 1,000 IU; vitamin E, 15 IU; vitamin K3, 2.0 mg; thiamin, 2.0 mg; riboflavin, 4 mg; nicotinic acid, 20 mg; D-pantothenic acid, 10 mg; pyridoxine, 3 mg; vitamin B12, 0.02 mg; folic acid, 1.0 mg; biotin, 0.2 mg.

§ Measured values adjusted for 0.875 proportional dry matter. Lysine, methionine + cystine, and threonine contents were estimated by additivity from characteristics of raw materials according to AmiPig (2000).

|| Using values for digestible energy and metabolizable energy (ME) according to Le Goff and Noblet (2001), NE: ME ratio according to the equation of Noblet *et al.* (1994) and standardized digestible lysine content from analysed lysine content and estimated digestibility coefficients of AmiPig (2000); values adjusted for 0.875 proportional dry matter.

within 48 h after birth. Creep food (15.3 MJ of DE per kg, 200 g/kg of CP and 14.7 g/kg of lysine) was provided to the piglets after day 21 of lactation. The day before weaning, the sows were allocated 3 kg of food so that they were weighed at weaning with an empty digestive tract. At weaning, sows were moved to a breeding facility. Oestrous detection was performed twice a day, in the morning and the evening, using a mature boar.

Measurements. At farrowing and at weaning, backfat thickness was measured ultrasonically (Agroscan, E. C. M.) at 65 mm from the mid line of the last rib. Piglets were individually weighed at birth, every 7 days and at weaning. Sow's daily food intake was determined as the difference between food allowance and refusals collected on the next morning between 07:00 and 08:00 h. Every week, one sample of food was also taken for dry matter (DM) content and successive samples were pooled for each replicate for further analysis. Samples were analysed for DM, ash, fat and Weende crude fibre content according to the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990) methods, for CP (N $\times$ 6.25) according to the Dumas method, and cell wall components (neutral-detergent fibre (NDF), acid-detergent fibre (ADF) and acid-detergent lignin (ADL)) according to Van Soest and Wine (1967). Ambient temperature and relative humidity were continuously recorded (one measure every 30 s) from a meteorological station (Campbell Scientific Ltd, Shepshed, UK) close to the experimental unit.

Calculations and statistical analyses

The daily maximal, daily minimal and daily mean of the ambient temperatures and relative humidities were averaged per replicate. A principal component analysis and a hierarchical classification (Système Pour l'Analyse des Données (SPAD), 1993) were used to discriminate seasons over year and daily mean temperature and relative humidity, daily variations of temperature and relative humidity, proportion of time in a day in which ambient temperature and relative humidity were above both 25°C and 0.85, were considered. Mean *ad libitum* food intake was defined as the daily mean food intake of the sow between day 5 and the day before weaning. A logarithm transformation of piglet mortality was applied in order to obtain a more symmetrical distribution. From preliminary calculation (J. L. Gourdière *et al.*, unpublished data), only the first parity significantly differed from later parities, which did not differ. Hence, two levels, primiparous *v.* multiparous were considered for this effect. Because most lactations occurred over two successive months, the lactation of a sow was attributed to the month in which the sow spent the largest number of

days in lactation. Two types of seasonal effect were separately tested. In a first model, the effects of month within a year (no. = 12) were tested. Secondly, the effect of season (no. = 2), parity number (no. = 2), and their interaction were tested according to an analysis of variance (general linear model procedure (GLM), Statistical Analysis Systems Institute (SAS, 1990)). In this model, the effect of group (i.e. sows within the same farrowing batch) was tested within the effect of season. The effect of season and parity on litter body weight was analysed in an analysis of repeated measures data (GLM procedure; SAS (1990)). The number of sows showing symptoms of oestrus before and after 5 days post weaning were compared using a χ^2 test.

Results

Description of climatic parameters

Figure 1a and b show the seasonal variation of ambient temperature and relative humidity, respectively. The lowest and the highest mean daily temperatures were measured in February (i.e. 22.5°C) and in August (i.e. 26.4°C), respectively. Mean

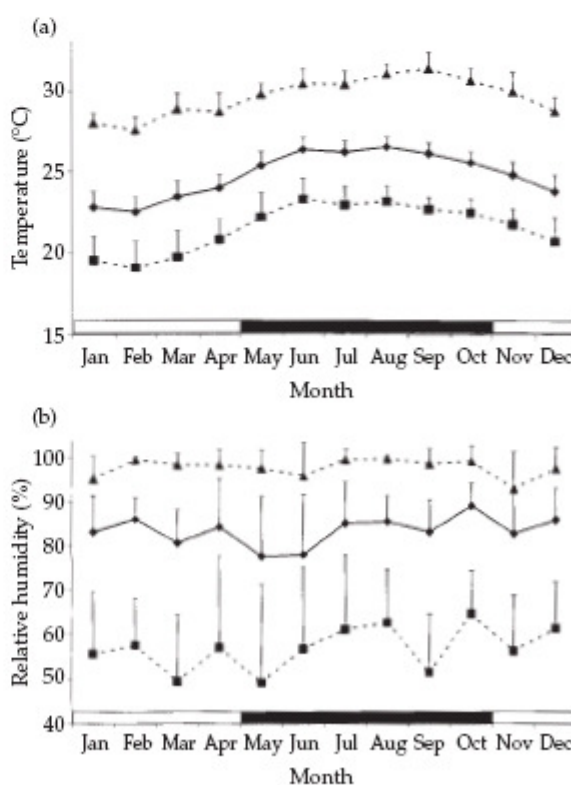


Figure 1 Seasonal variation in (a) ambient temperature and (b) relative humidity: open bar = warm season; closed bar = hot season; — = mean; --- = minimum or maximum.

Table 2 Main characteristics of seasons†

	Season	
	Warm	Hot
Temperature (T, °C)		
Minimal	20.2	22.7
Maximal	28.5	30.6
Mean	23.5	26.0
Relative humidity (RH)		
Minimal	0.55	0.584
Maximal	0.971	0.982
Mean	0.831	0.834
Proportion of time T > 25°C and RH > 0.85‡	0.273	0.497

† Correspond to the mean daily ambient temperature and relative humidity between January 1999 and March 2003.

‡ Proportion of time when ambient temperature and relative humidity were both above 25°C and 0.85, respectively.

relative humidity was the lowest in May (i.e. 0.776) and the highest in October (i.e. 0.890). Two seasons were discriminated from a principal component analysis completed by a hierarchical classification: a warm season between November and April and a hot season between May and October. The average ambient temperature and relative humidity for the warm season were 23.5°C and 0.831, respectively (Table 2); corresponding values for the hot season were 26.0°C and 0.834, respectively. The daily temperature varied between 20.2 and 28.5°C and from 22.7 to 30.6°C, for the warm and hot seasons, respectively. The relative humidity ranged from 0.55 to 0.97 and from 0.58 to 0.98 for the warm and hot seasons, respectively. The proportion of time when ambient temperature and relative humidity were both above 25°C and 0.85, respectively, was twice as high in the hot season (0.50 v. 0.27). According to these results, seasons were more discriminated by ambient temperature variation than by relative humidity.

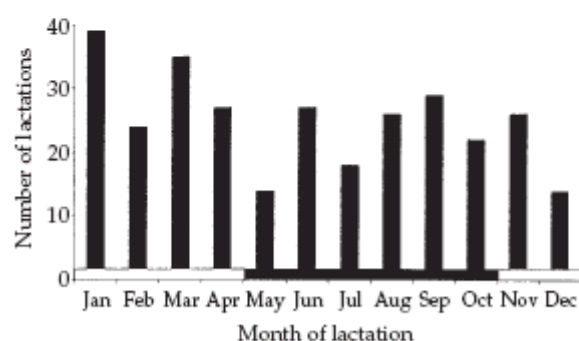


Figure 2 Frequency of lactations per month (warm season □, hot season ■).

Sow and litter performance

Figure 2 shows the frequency of lactations per month. Lactation number was the lowest in May and December (i.e. 14) and the highest in January (i.e. 39). As presented in Table 3 and in Figure 3a, season and parity had a significant effect on sow performance during the lactation period and on sow daily food intake. Irrespective of season, average daily food intake (ADFI) was higher ($P < 0.001$) for multiparous than for primiparous sows (4.40 v. 3.98 kg/day). Lactation ADFI varied over successive months ($P < 0.001$): the lowest and the highest ADFI were measured in July (i.e. 3.41 kg/day) and in February (i.e. 4.84 kg/day), which corresponded to the hottest and the coolest months, respectively. Consequently, ADFI was lower ($P < 0.001$) in the hot season both during the whole lactation period and during the *ad libitum* period (3.94 v. 4.67 kg/day and 4.31 v. 5.17 kg/day, respectively). The greatest reduction of daily food intake corresponded to the end of the warm season in April and the beginning of the hot season in May (-690 g/day, $P = 0.0045$). The effect of season on *ad libitum* ADFI was dependent on parity number ($P < 0.01$), with a higher ADFI difference

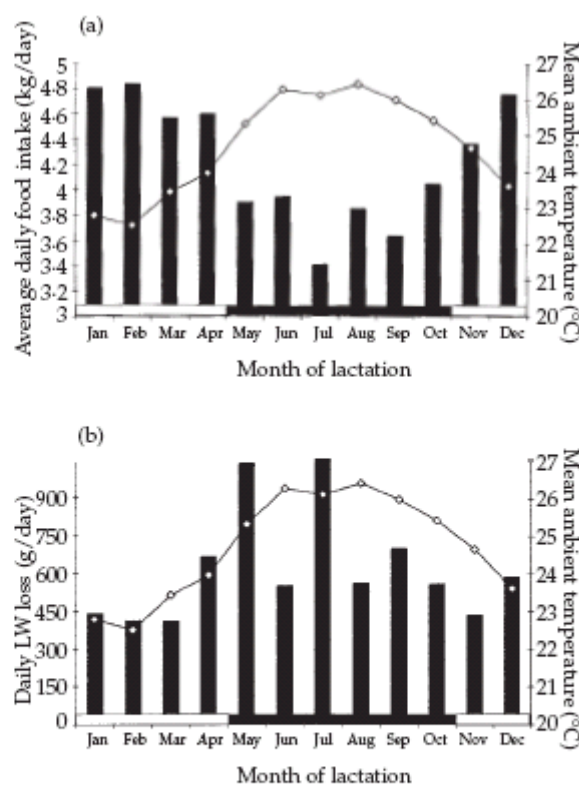


Figure 3 Month effect on (a) daily food intake and (b) daily live-weight (LW) loss over a 28-day lactation, (□ warm season, ■ hot season; ◇— mean ambient temperature).

Season, parity and sow performance in the tropics

277

Table 3 Effect of season and parity on performance of Large White sows over a 28-day lactation (least-squares means)

	Season†				Residual s.d.	Significance‡				
	Warm		Hot			S	P	S × P	G	
	Primiparous sow	Multiparous sow	Primiparous sow	Multiparous sow						
No. of sow lactations	35	121	31	114						
Average parity	1.0	4.2	1.0	4.0						
Lactation length	28.0 ^a	28.1 ^a	28.8 ^b	27.8 ^a	2.0					
Food intake										
From day 1 to weaning (kg/day)	4.13 ^a	4.82 ^b	3.83 ^a	3.97 ^a	0.68	***	***			
From day 1 to weaning, (g/kgM ^{0.75})§	90.7 ^a	85.2 ^b	86.7 ^{ab}	70.6 ^c	15.1	***	***	*	**	
From day 5 to day 27 (kg/day)¶	4.53 ^a	5.36 ^b	4.17 ^c	4.35 ^{ac}	0.79	***	***	**	***	
Live weight (LW)										
At mating (kg)	136 ^a	223 ^b	127 ^a	226 ^b	35		***			
After farrowing (kg)	194 ^a	259 ^b	181 ^c	255 ^b	28	*	***			
At weaning (kg)	181 ^a	247 ^b	166 ^c	237 ^d	29	**	***			
Loss during lactation (kg)	13 ^a	12 ^a	15 ^{ab}	18 ^b	12	*			***	
Proportional loss¶¶	0.68 ^a	0.46 ^b	0.85 ^a	0.71 ^a	0.05	**	*		***	
Backfat thickness (mm)										
At mating	14.1 ^a	15.0 ^a	10.7 ^b	15.0 ^a	3.2	*	**	*		
After farrowing	17.4 ^a	18.2 ^a	14.4 ^b	18.0 ^a	3.7	**	***	*	**	
At weaning	14.6 ^a	15.7 ^b	11.6 ^c	15.5 ^{ab}	3.3	**	***	**	**	
Loss during lactation	2.7 ^a	2.4 ^a	2.8 ^a	2.6 ^a	1.9				***	

*^{a, b, c} Mean values, within the same row, with different superscript letters differ at $P < 0.05$.

† Warm season : November to April. Hot season : May to October.

‡ From a generalized linear model analysis including the effect of season (S), parity (P), S × P interaction and effect of contemporary group of sows within season (G), as fixed effects.

§ Metabolic body weight = $(W \text{ at weaning}^{0.75} - W \text{ at farrowing}^{0.75}) / 1.755 (W \text{ at weaning} - W \text{ at farrowing})$.¶ From day 5 to day 27, sows were given food *ad libitum*.

¶¶ Proportional loss: LW loss during the lactation expressed as proportion of LW after farrowing.

between seasons in multiparous than in primiparous sows (1001 and 360 g/day, respectively) (Table 3).

As shown in Figure 3b, daily lactational LW loss varied over successive months ($P < 0.001$). From May to October, daily LW loss was above 550 g/day and over the warm season, it was below 550 g/day, except in April (660 g/day). The lowest and the highest daily LW loss were recorded in February (i.e. 410 g/day) and in July (i.e. 1065 g/day), respectively.

As presented in Table 3, sow LW at mating was only affected by parity ($P < 0.01$). The lactation LW loss was higher ($P < 0.05$) during the hot than the warm season (17 v. 12 kg, respectively). The effect of parity on LW loss during the lactation period was not significant ($P > 0.10$); however, when expressed as a proportion of LW after farrowing, it was higher ($P < 0.05$) for primiparous sows (0.076 v. 0.059). Backfat thickness measurements at mating, after farrowing and at weaning were affected by season

Table 4 Effect of season and parity on the weaning-to-oestrus interval

	Season†				Significance
	Warm		Hot		
	Primiparous sow	Multiparous sow	Primiparous sow	Multiparous sow	
No. of observations	33	119	31	114	
No. with weaning-to-oestrus interval of:					
≤ 5 days	26	118	22	111	$\chi^2 = 1.63$
> 5 days	7	1	9	3	$P = 0.65$

† Warm season : November to April. Hot season : May to October.

Table 5 Effect of season and parity on litter performance of Large White sows over a 28-day lactation (least-squares means)

	Season†				Residual s.d.	Significance‡				
	Warm		Hot			S	P	S × P	G	
	Primiparous sow	Multiparous sow	Primiparous sow	Multiparous sow						
No. of sow lactations	35	121	31	114						
Litter size										
Live born	9.8 ^a	10.2 ^{ab}	11.1 ^b	10.5 ^{ab}	3.0	*			**	
At day 1§	9.6 ^a	10.3 ^b	11.1 ^c	10.5 ^{bc}	1.9	**		*	***	
At weaning	8.6 ^a	8.7 ^a	9.8 ^b	8.6 ^a	1.8		*	*	***	
Piglet mortality (%)										
Stillborn	13.9 ^a	14.2 ^a	11.6 ^{ab}	15.3 ^a	2.0				***	
Died day 1 to weaning	14.5 ^a	17.7 ^a	16.3 ^a	18.8 ^a	1.8				***	
Piglet live weight (kg)										
At day 1§	1.30 ^a	1.39 ^b	1.30 ^a	1.32 ^a	0.21					
At day 21	5.56 ^a	5.88 ^a	5.27 ^b	5.22 ^b	0.97	**			*	
At weaning	7.14 ^a	7.66 ^b	7.08 ^a	7.01 ^a	1.28				*	
Piglet daily gain (g/ day)										
From day 0 to day 21	204 ^a	213 ^b	181 ^c	187 ^c	38	***			**	
From day 21 to day 28	226 ^a	254 ^b	258 ^b	256 ^b	64				***	
Total	208 ^a	223 ^b	206 ^a	204 ^a	38	*			**	

^{a,b,c} Means values, within the same row, with different superscript letters differ at $P < 0.05$.

† Warm season : November to April. Hot season : May to October.

‡ From a generalized linear model analysis including the effect of season (S), parity (P), S × P interaction and effect of contemporary group of sows within season (G), as fixed effects.

§ After cross-fostering.

|| Analysis after log-transformation, residual s. d. estimated for predicted value of 1%.

and parity ($P < 0.01$). An interaction between season and parity was also found for these criteria ($P < 0.05$). Primiparous sows that weaned their litter during the hot season had lower backfat thickness at mating (−3 mm) compared with primiparous sows that weaned their litter during the warm season; with multiparous sows there was no such difference. Multiparous sows had more backfat thickness after farrowing and at weaning than primiparous sows (18.1 v. 15.9 mm and 15.6 v. 13.1 mm, respectively).

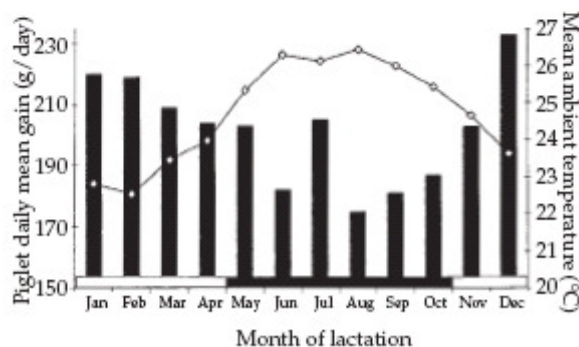


Figure 4 Month effect on piglet daily mean gain during day 0 to day 21 (□ warm season, ■ hot season; ○ mean ambient temperature).

However, the effects of season, parity and their interaction on loss of backfat thickness over lactation were not significant (2.6 mm on average).

The reproductive performance was measured on a total of 297 sows : two sows did not display oestrus

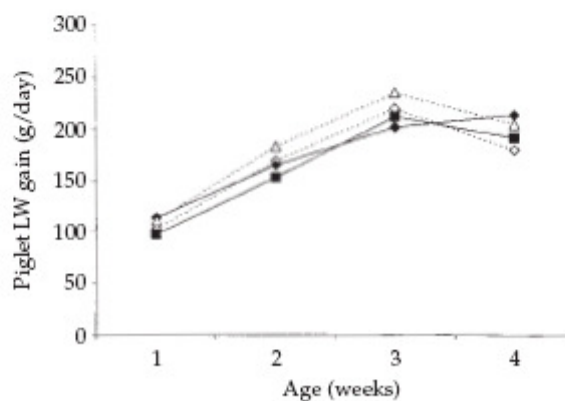


Figure 5 Effect of season and parity on piglet live-weight (LW) gain over a 28-day lactation. (○—○ Primiparous in warm season, ●—● Primiparous in hot season, △—△ Multiparous in warm season, ■—■ Multiparous in hot season).

Season, parity and sow performance in the tropics

279

before 15 days after weaning and two sows were culled at weaning (Table 4). Most sows (i.e. 93%) came into oestrus within the 5 days following weaning. This distribution was not affected by season ($P > 0.10$). In contrast, the number of sows displaying late oestrus (i.e. > 5 days) was significantly higher for first parity sows. The weaning to oestrus interval averaged 5.4 days and the median value was 4.0 days.

Litter size at birth tended ($P = 0.06$) to be higher during the hot than during the warm season (Table 5). An interaction between season and parity was found for litter size after cross-fostering and at weaning ($P < 0.05$); for both criteria, litter size was lower in the warm than in the hot season for primiparous sows but similar in multiparous sows. At birth and between day 1 and weaning, piglet mortality was affected neither by season nor by parity. The average birth weight was 1.33 kg and did not differ ($P > 0.10$) between treatment groups. The month of lactation had a significant effect on average daily gain (ADG) of piglets ($P < 0.01$). As presented in Figure 4, minimal and maximal piglet ADG during the first 3 weeks were recorded in August and in December (i.e. 175 and 230 g/day, respectively). Whatever the season and the parity number, piglet LW gain increased significantly between week 1 and week 3 (Figure 5). In the warm season, piglet LW gain decreased between week 3 and week 4 (-37 g/day) whereas it increased in piglets from primiparous sows ($+11$ g/day) and decreased in piglets from multiparous sows (-21 g/day) in the hot season. Piglet LW gain was depressed over the first 3 weeks of lactation (186 v. 211 g/day, $P < 0.001$) but tended to be higher during the last week of lactation (256 v. 248 g/day) during the hot season. Over the whole lactation period, mean piglet growth rate was lower ($P < 0.05$) in the hot season as compared with the warm season (203 v. 220 g/day, respectively).

Discussion

Sow food intake

During lactation, ADFI of lactating sows is markedly reduced when ambient temperature raises above the evaporative critical temperature (i.e. 22°C, Quiniou and Noblet (1999) and Black *et al.* (1993)), in order to decrease heat production (Lynch, 1977; Stansbury *et al.*, 1987; Prunier *et al.*, 1997). Under our humid tropical climate conditions, the average daily ambient temperature frequently exceeded 22°C whatever the season; consequently, the lactating sows were heat stressed most of the time. This partly explains the relatively low food intake recorded in the present study during the warm season. When the warm and the hot seasons were compared, it can be calculated that ADFI was reduced by about 120 and

340 g for each degree rise in ambient temperature (i.e. between 23.5 and 26.0°C) in primiparous and multiparous sows, respectively. In Large White multiparous sows, Quiniou and Noblet (1999) found a curvilinear relation between the decrease in food intake and temperature and reported a reduction of 215 g/day per degree between 25 and 27°C for uncontrolled humidities ranging between 0.50 and 0.60. In growing pigs, Granier *et al.* (1998) reported an accentuated reduction of ADFI between 24 and 28°C when relative humidity increased from 0.45 to only 0.75. Corresponding data are not available in lactating sows, but the evaporative critical temperature is lower in lactating sows than in growing pigs (18 to 20°C v. 23 to 26°C according to Quiniou and Noblet (1999) and Giles and Black (1991), respectively) with an accentuated heat stress for lactating sows at a given temperature. In addition, a high relative humidity limits the animal's ability to dissipate heat by evaporation (Holmes and Close, 1977). In agreement with Renaudeau *et al.* (2003), it can be suggested that, in tropical conditions, the relative humidity would emphasize the negative effect of high ambient temperature on sow food consumption.

In the warm season, first parity sows consumed proportionately 0.14 less food than multiparous sows, in agreement with results of the literature reviewed by Dourmad (1988) (proportionately -0.09 on average). These results are related to the lower maintenance requirements and gastrointestinal or ingestion capacity in primiparous as compared with multiparous sows (Eissen *et al.*, 2000). However, when the *ad libitum* daily food intake was considered with respect to metabolic live weight ($M^{0.75}$), it was higher for primiparous than for multiparous sows (88.7 v. 77.9 g/kg $M^{0.75}$). In other words, when maintenance energy requirements were met, the extra energy intake available for maternal tissue growth and milk production was higher for primiparous than for multiparous sows. Data from the present study suggests that the effect of season on food intake was accentuated for multiparous sows. In fact, food intake of multiparous sows was higher in the warm season whereas ADFI was comparable for both groups in the hot season. Thus, the season $\times$ parity interaction for ADFI was mainly related to the high level of food intake of multiparous sows in the warm season. Furthermore, the lesser body condition at farrowing and the higher litter size of first parity sows that weaned during the hot seasons may partly explain the lesser difference between seasons in primiparous food intake. To our knowledge, there are few studies available on the interaction between season and parity as it affects performance of lactating sows. In contrast with our

results, Quiniou *et al.* (2001) did not report any negative effect of parity on energy intake over the temperature range 20 to 26°C. The experimental design of that study explains this contradiction: the same group of sows was studied over a three parities period; the lack of interaction between season and parity was the consequence of the culling policy in the experimental herd, which resulted in an indirect selection of the less sensitive sows to high ambient temperature.

Litter performance and milk production

Litter size at birth is mainly dependent on events during early pregnancy (Chen *et al.*, 1995). The effect of the season of lactation on this criteria was then biased by the effect of the season of the first month of pregnancy. A new analysis of our data focused on this aspect (J. L. Gourdine *et al.*, unpublished data) confirmed that sows mated during the hot season had 1.1 less piglets at farrowing (10.1 *v.* 11.2; $P < 0.01$). This observation agrees with those of Serman Ferraz and De Moura Duarte (1991).

In the warm season, piglet growth rate level was relatively low as compared with the values reported in other studies (Auldist *et al.*, 1998; Quiniou and Noblet, 1999). According to Auldist *et al.* (1998), piglet growth rate in litters of eight to 10 piglets was about 250 g/day. In the present study, for the same litter size, piglet LW gain did not exceed 225 g/day. It can be suggested that the lower piglet gain level in the present study in the warm season was connected to the hot conditions and/or sow genetic difference between studies. According to the relationship between piglet gain and milk production (Noblet and Etienne, 1989), the reduced piglet LW gain in the hot season, particularly over the first 3 weeks during which piglets were given only sow milk, can be explained by the reduction of the ability of sows to produce milk in hot conditions. As reviewed by Etienne *et al.* (2000), the lower milk production in heat stressed sows was probably due to metabolic and physiological changes in the sow and not to piglet behaviour.

Piglet daily LW gain increased in the hot season between week 3 and week 4. Similar results were reported by Quiniou *et al.* (2000) and Renaudeau and Noblet (2001). As reported in these latter studies, variations in creep food intake explained a large part (i.e. about 50 to 60%) of the variation of piglet LW gain over the last week of lactation. Although creep food consumption was not measured in our study, this suggests that the higher piglet growth rate in the hot season was the result of the increase in creep food intake during the last week of lactation. In other words, piglets compensated the lower milk synthesis

by a higher creep food intake. Similarly, Azain *et al.* (1996) and Spencer *et al.* (2003) highlighted the benefit of providing piglets with supplemental milk replacer during the hottest season and therefore piglet supplementation during lactation can attenuate the negative effect of season on piglet growth rate.

As reviewed by Etienne *et al.* (1998) and Eissen *et al.* (2000), milk production increases with parity in line with the increase in litter size between successive reproductive cycles, but probably with a higher ability of multiparous sows to produce milk. In the present study, the lack of significant effect of parity on piglet daily gain was partly explained by the poor performance of multiparous sows in the hot season. Nevertheless, in the warm season, piglet gain was significantly ($P < 0.01$) affected by parity; it was lower in first parity sows (208 *v.* 223 g/day). This result confirms their reduced ability to produce milk. According to Pluske *et al.* (1998), the decrease in milk yield of primiparous sows would be connected to the reduction of ADFI and the partition of extra energy into body growth rather than milk production.

Mobilization of body reserves

In the warm season, LW loss during lactation was lower than the value reported by Quiniou and Noblet (1999) in multiparous sows kept at 22 or at 25°C (464 *v.* 1068 g/day). In that study, litter LW gain (2349 *v.* 1740 g/day) was higher than in the present study and, consequently, it can be suggested that the variability between the two sets of results could be related to differences in milk production and ADFI. Moreover, the higher LW loss over the whole lactation period in first parity sows was connected to the greater effect of parity on ADFI than on milk production. This confirms that, during lactation, the nutritional deficit is accentuated in primiparous sows (Neil *et al.*, 1996).

According to Lynch (1977) and McGlone *et al.* (1988a and b), LW loss increased in heat stressed sows whereas backfat thickness loss was not affected by season. Our results suggest that chemical composition of LW loss could be different between the two seasons.

Reproductive performance

Parity number affected the percentage of delayed oestrus irrespective of season; on average 75% of primiparous sows displayed oestrus before day 5 after weaning whereas the totality of multiparous sows (i.e., 98%) showed oestrus signs before day 5 after weaning. Vasseur *et al.* (1994) demonstrated a significant positive correlation between lactational LW loss and weaning-to-oestrus interval in

Season, parity and sow performance in the tropics

281

primiparous sows; when the relative LW loss exceeded proportionately 0.075 (i.e. LW loss expressed as a proportion of LW at farrowing), the weaning-to-oestrus interval was extended. In the present study, the mean lactational LW loss in primiparous sows was more than proportionately 0.09 when weaning-to-oestrus interval was higher than 5 days and proportionately 0.08 when the primiparous sow displayed oestrus before 5 days. This suggests that the low reproductive performance of first litter sows are related to a high LW loss. However, in the hot season, the relative LW loss of multiparous sows was similar to that measured in primiparous sows in the warm season but without consequence on weaning-to-oestrus interval. This suggests that, unlike primiparous sows, the relationship between LW loss during lactation and reproductive performance remains unclear in multiparous sows (Hughes, 1993; Hultén *et al.*, 2002).

In conclusion, irrespective of season and in spite of a high productivity potential, Large White imported sows have low lactating and reproductive performance when raised in a humid tropical area. The high temperature and relative humidity contribute to the poor performance. Moreover, within year, performance such as food intake and live-weight loss during milk production vary over successive seasons, with significant interactions between season and parity. The mobilization of body reserves may not affect reproductive performance to the same extent in primiparous and multiparous sows.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the Guadeloupe Region and the European social funds for the grant to J. L. Gourdine and the technical assistance of C. Anaïs, K. Benony, B. Bocage, P. De Cacqueray, E. Depres, M. Giorgi, G. Gravillon, D. Lange, A. Racon, F. Silou and J.-L. Weisbecker.

References

- AmiPig. 2000. [Standardized ileal digestibilities of amino acid in pig.] In *Proceedings of the Association Française de Zootechnie*, 2000, Ajinomoto Eurolysine, Aventis Animal Nutrition, INRA, ITCF, Paris.
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. *Official methods of analysis*, 15th edition. AOAC, Washington, DC.
- Auldist, D. E., Morrish, L., Eason, P. and King, R. H. 1998. The influence of litter size on milk production of sows. *Animal Science* 67: 333-337.
- Azain, M. J., Tomkins, T., Sowinski, J. S., Arentson, R. A. and Jewell, D. E. 1996. Effect of supplemental pig milk replacer on litter performance: seasonal variation in response. *Journal of Animal Science* 74: 2195-2202.
- Black, J. L., Mullan, B. P., Lorsch, M. L. and Giles, L. R. 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Production Science* 35: 153-170.
- Chen, S. W., Chen, Z. Y. and Dziuk, P. J. 1995. Determination of pregnancy and estimation of litter size in gilts based on concentration of estrone glucuronide and estradiol glucuronide in plasma. *Animal Reproduction Science* 40: 99-106.
- Christon, R., Saminadin, G., Lionet, H. and Racon, B. 1999. Dietary fat and climate alter food intake, performance of lactating sows and their litters and fatty acid composition of milk. *Animal Science* 69: 353-365.
- Dourmad, J. Y. 1988. [Spontaneous feed ingestion in lactating sow: many factors of variation.] *INRA Productions Animales* 1: 141-146.
- Dourmad, J. Y., Etienne, M., Noblet, J. and Causeur, D. 1997. [Prediction of the chemical composition of reproductive sows from their body weight and backfat depth — utilization for determining the energy recordance.] *Journées de la Recherche Porcine en France* 29: 255-262.
- Eissen, J. J., Kanis, E. and Kemp, B. 2000. Sow factors affecting voluntary feed intake during lactation. *Livestock Production Science* 64: 147-165.
- Etienne, M., Dourmad, J. Y. and Noblet, J. 1998. The influence of some sow and piglet characteristics and of environmental conditions on milk production. In *The lactating sow* (ed. M. W. Verstegen, P. J. Moughan and J. W. Schrama), pp. 285-299. Wageningen Pers, Wageningen.
- Etienne, M., Legault, C., Dourmad, J. -Y. and Noblet, J. 2000. [Milk production in the sow: estimation, composition, factors of variation and evolution.] *Journées de la Recherche Porcine en France* 32: 253-264.
- Giles, L. R. and Black, J. L. 1991. Voluntary feed intake in growing pigs at ambient temperatures above the zone of thermal comfort. In *Manipulating pig production III* (ed. E. S. Batterham), pp. 162-166. Australasian Pig Science, Attwood.
- Granier, R., Massabie, P. and Bouby, A. 1998. [Effect of the humidity level of ambient air (temperature 28°C) on the growth performance of growing-finishing pigs.] *Journées de la Recherche Porcine en France* 30: 331-336.
- Holmes, C. W. and Close, W. H. 1977. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. In *Nutrition and climatic environment* (ed. W. Haresign, H. Swan, and D. Lewis), pp. 51-71. Butterworths, London.
- Hughes, P. E. 1993. The effects of food level during lactation and early gestation on the reproductive performance of mature sows. *Animal Production* 57: 437-445.
- Hultén, F., Valros, A., Rundgren, M. and Einarsson, S. 2002. Reproductive endocrinology and postweaning performance in the multiparous sow. 2. Influence of nursing behavior. *Theriogenology* 58: 1519-1530.
- Le Goff, G. and Noblet, J. 2001. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Journal of Animal Science* 79: 2418-2427.
- Lynch, P. B. 1977. Effect of environmental temperature on lactating sows and their litters. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 16: 123-130.

- McGlone, J. J., Stansbury, W. F. and Tribble, L. F. 1988a. 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.
- McGlone, J. J., Stansbury, W. F., Tribble, L. F. and Morrow, J. L. 1988b. Photoperiod and heat stress influence on lactating sow performance and photoperiod effects on nursery pig performance. *Journal of Animal Science* 66: 1915-1919.
- National Research Council. 1998. *Nutrient requirement of swine, 10th edition*. National Academy Press, Washington, DC.
- Neil, M., Ogle, B. and Annér, K. 1996. A two-diet system and *ad libitum* lactation feeding of the sow. 1. Sow performance. *Animal Science* 62: 337-347.
- Noblet, J. and Etienne, M. 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *Journal of Animal Science* 67: 3352-3359.
- Noblet, J., Fortune, H., Shi, X. S. and Dubois, S. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science* 72: 344-354.
- Pluske, J. R., Williams, I. H., Zak, L. J., Clowes, E. J., Cegielski, A. C. and Aherne, F. X. 1998. Feeding lactating primiparous sows to establish three divergent metabolic states. III. Milk production and pig growth. *Journal of Animal Science* 76: 1165-1171.
- Prunier, A., Messias de Bragança, M. and Le Dividich, J. 1997. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livestock Production Science* 52: 123-133.
- Quiniou, N., Gaudré, D. and Guillou, D. 2001. [Effect of ambient temperature and diet composition on lactation performance of primiparous sows.] *Journées de la Recherche Porcine en France* 33: 173-180.
- Quiniou, N. and 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. and Renaudeau, D. 2000. [A source of stress for nursing sow: the ambient temperature.] *Techniporc* 23: 23-30.
- Renaudeau, D., Anaïs, C. and Noblet, J. 2003. Effects of dietary fiber on performance of multiparous lactating sows in a tropical climate. *Journal of Animal Science* 81: 717-725.
- Renaudeau, D. and Noblet, J. 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. *Journal of Animal Science* 79: 1540-1548.
- Spencer, J. D., Boyd, R. D., Cabrera, R. and Allee, G. L. 2003. Early weaning to reduce tissue mobilization in lactating sows and milk supplementation to enhance pig weaning during extreme heat stress. *Journal of Animal Science* 81: 2041-2052.
- Stansbury, W. F., McGlone, J. J. and Tribble, L. E. 1987. Effects of season, floor type, air temperature and snout coolers on sow and litter performance. *Journal of Animal Science* 65: 1507-1513.
- Statistical Analysis Systems Institute. 1990. *SAS/STAT® user's guide, version 6, fourth edition*. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC.
- Steinbach, J. 1971. Effects of season and breed on sow performance in the seasonal-equatorial climate of Southern Nigeria. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 77: 331-336.
- Sterman Ferraz, J. B. and De Moura Duarte, F. A. 1991. [Influence of non genetic factors on Large White sows productivity.] *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 26: 535-548.
- Système Pour l'Analyse des Données. 1993. *SPAD-TM® Analyse de tableaux multiples. Manuel de référence (version 4.5)*. Centre International de Statistique et d'Informatique Appliquées, Paris.
- Van Soest, P. J. and Wine, R. H. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 50: 50-55.
- Vesseur, P. C., Kemp, B. and den Hartog, L. A. 1994. Factors affecting the weaning to oestrus interval in the sow. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 72: 225-233.

(Received 2 December 2003—Accepted 9 June 2004)

1.3. Principaux enseignements de l'étude expérimentale 1

Cette première étude nous a permis de mettre en évidence des éléments originaux quant aux effets du climat tropical sur les performances de lactation selon le numéro de portée de la truie.

En accord avec les résultats de la bibliographie, la consommation d'aliment et la production laitière sont plus faibles chez les truies primipares que chez les truies multipares. La plus forte mobilisation des réserves corporelles en lactation chez les truies primipares se traduit par une diminution de la fréquence des truies ayant un intervalle sevrage oestrus inférieur ou égal à 5 jours. D'après ces résultats, il apparaît particulièrement important en milieu tropical de mettre à la reproduction les jeunes truies ayant un niveau de réserves corporelles suffisant, pour pallier les déficits énergétiques pendant la première lactation et leurs conséquences néfastes sur les performances de reproduction.

Ce travail suggère que les effets de la température ambiante sur la prise alimentaire sont accentués en milieu tropical par rapport aux résultats obtenus en chambre climatique, sans doute à cause de la forte hygrométrie ambiante. Cette dernière limiterait la capacité des truies de perdre de la chaleur par évaporation et amplifierait les effets de la température sur la consommation d'aliment. Cette forte réduction de l'ingestion en saison chaude s'accompagne d'une augmentation du niveau des réserves mobilisées, qui ne permet cependant pas aux truies de maintenir le même niveau de production laitière qu'en saison fraîche.

Enfin, la réduction de la prise alimentaire en saison chaude est plus marquée chez les truies multipares. Cet effet s'explique principalement par un niveau d'ingestion plus élevé des truies multipares en saison fraîche, qui les rendrait plus sensibles à l'élévation de la température ambiante. En conséquence, l'augmentation du niveau de leurs réserves mobilisées et la réduction de la croissance de leurs porcelets sont relativement plus importantes que chez les primipares.

2. Etude expérimentale 2

2.1. Introduction à l'étude expérimentale 2

L'étude précédente a montré qu'en conditions tropicales humides, les performances de lactation de la truie Large White (LW) sont influencées par les variations saisonnières de la température et par le numéro de portée de la truie. D'autres facteurs, comme le type génétique, ont un impact sur les performances de lactation et pourraient interagir avec les effets du climat tropical. Or, sur ce point particulier, il existe à notre connaissance très peu de données dans la bibliographie. Le porc Créole (CR) est le principal type génétique local de la zone caribéenne. Il est généralement utilisé dans des systèmes de production peu intensifs à caractère informel (sans encadrement technique et sans suivi des performances par les organismes officiels) avec une alimentation basée sur l'utilisation de ressources locales (bananes, canne à sucre..). Le génotype CR est caractérisé par une maturité sexuelle précoce, une faible prolificité et une apparente bonne rusticité face aux conditions d'élevage tropicales. Ce génotype a été réintroduit dans notre élevage expérimental pour nous permettre d'avoir un variant génétique pour les études portant sur la tolérance à la chaleur. Par ailleurs, la forte adiposité de la truie CR en fait un bon modèle pour l'étude des relations entre la composition corporelle et les performances et/ou le comportement alimentaire en lactation.

Pour simplifier notre modèle expérimental, nous avons choisi de comparer les deux types génétiques (LW et CR) avec la même alimentation (i.e., formulée pour les besoins des truies LW). Par conséquent, compte tenu des plus faibles besoins des truies CR, nous avons « artificiellement » augmenté leur état d'adiposité. Le principal objectif est de quantifier les effets respectifs du climat tropical et du type génétique sur les performances de lactation (Publication 2) et sur les paramètres du comportement alimentaire des truies en lactation (Publication 3). Dans ce travail, les éventuelles relations entre la composition corporelle de la truie à la mise bas et ses performances en lactation, notamment sur le comportement alimentaire sont également étudiées. Pour ce faire, nous disposons d'une base de données constituée d'un total de 179 lactations de truies multipares obtenues sur 30 CR et 41 LW, et pour le comportement alimentaire de 76 lactations provenant de 23 CR et de 17 LW.

2.2. Publication n°2

Effects of breed and season on performance of lactating sows in a tropical humid climate

Jean-Luc Gourdine, Jean-Pierre Bidanel, Jean Noblet et David Renaudeau

(publiée à Journal of Animal Science)

Résumé :

Un total de 179 lactations obtenues entre Juin 2001 et Juillet 2004 sur 71 truies multipares (30 Créole et 41 Large White) ont été utilisées pour déterminer les effets du type génétique et de la saison sur les performances des truies au cours d'une lactation de 28 jours. Pour les deux types génétiques, la consommation alimentaire moyenne journalière (CMJ) diminue (-700 g, $P < 0,01$) pendant la saison chaude et s'accompagne d'une augmentation de la perte de poids vif (+5 kg) et d'une réduction de la vitesse de croissance du porcelet (-20 g/j, $P < 0,05$). A la mise bas, la truie Large White est plus lourde (+ 80 kg, $P < 0,01$) et moins grasse (- 19 mm, $P < 0,01$) que la truie Créole. La croissance du porcelet Créole est réduite (-20 g/j, $P < 0,01$). Pendant la saison chaude, la réduction de la CMJ est plus prononcée chez la truie Large White (-910 vs. -470 g) et seule la perte de poids de la truie Large White est affectée (+10 kg). L'intervalle sevrage – oestrus et l'intervalle sevrage – saillie fécondante ne sont affectés ni par le type génétique, ni par la saison et avoisinent respectivement 4,8 et 6,1 jours. La température rectale est plus élevée en saison chaude qu'en saison fraîche (+0,3°C) et elle est plus élevée chez la truie Large White que chez la truie Créole (39,1°C vs. 38,8°C, $P < 0,10$). Cette étude confirme les faibles performances en lactation des truies Créoles relativement à celles des truies Large White. Elle montre que la truie Large White est plus affectée par les variations saisonnières du climat tropical, ce qui suggère une meilleure adaptation de la truie Créole au climat tropical.

Effects of breed and season on performance of lactating sows in a tropical humid climate¹

J. L. Gourdine,* J. P. Bidanel,† J. Noblet,‡ and D. Renaudeau*²

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), *Station de Recherches Zootechniques, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe, F.W.I, France; †Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas, France; and ‡UMR Systèmes d'Élevage, Nutrition Animale et Humaine, 35590 St-Gilles, France

ABSTRACT: A total of 179 lactations obtained on 71 multiparous sows [30 Creole (CR) and 41 Large White (LW)] between June 2001 and July 2004 were used to determine effects of breed (CR vs. LW) and season (hot vs. warm) in a tropical humid climate on performance during a 28-d lactation period. Mean daily ambient temperature was greater during the hot season than during the warm season (26.0 vs. 23.8°C), and relative humidity was similar in both seasons (85% on average). For both breeds, ADFI was reduced (–700 g/d, $P < 0.01$), sow BW loss was greater (17 vs. 12 kg, $P < 0.01$), and piglet growth was reduced (197 vs. 210 g/d, $P < 0.05$) during the hot vs. the warm season. At farrowing, LW sows were heavier (255 vs. 186 kg, $P < 0.01$) and had less backfat (21 vs. 40 mm, $P < 0.01$) than CR sows. The growth rate of CR piglets was lower than that of LW piglets (192 vs. 215 g/d, $P < 0.01$). A breed $\times$ season

interaction was observed ($P < 0.05$) for ADFI and sow BW loss. During the hot season, the reduction of ADFI was more pronounced in LW than in CR sows (–910 vs. –470 g/d). Regardless of the season, BW loss of CR sows remained constant (14.2 kg), whereas it increased during the hot season for LW sows (10 kg). The weaning-to-estrus and the weaning-to-conception intervals were not affected by breed or season and averaged 4.8 and 6.1 d, respectively. The rectal temperature was greater (0.3°C) during the hot season than during the warm season and greater in LW than in CR sows (39.1 vs. 38.8°C, $P < 0.10$). This study confirms the negative effect of hot season in a tropical humid climate on performance of lactating sows and that breed can have a significant effect on lactation performance. The results also suggest that CR sows are more heat tolerant than LW sows.

Key words: breed, feed intake, lactation, performance, sow, tropical climate

©2006 American Society of Animal Science. All rights reserved.

J. Anim. Sci. 2006. 84:360–369

INTRODUCTION

It is well established that under most practical conditions, the appetite of lactating sows is generally too low to meet their nutrient requirements for milk production. During lactation, ADFI is affected by environmental factors including climatic factors. At ambient temperatures above the evaporative critical temperature (i.e., 22°C; Quiniou and Noblet, 1999), the lactating sow reduces metabolic heat production by decreasing ADFI. In tropical areas, ambient temperature is frequently

greater than 22°C, and in intensive production systems buildings are usually opened or semi-opened to the outdoor ambient environment. Under these conditions, the lactating sow often suffers from heat stress.

In addition to environmental factors, ADFI is also influenced by sow-related factors (Dourmad, 1988). In comparison with conventional breeds [Large White (LW), Landrace] or their crosses, little information has been published on the performance of high-fat lactating sows. In Caribbean regions, Creole (CR) is the most popular local breed of pig. This genotype is characterized by early sexual maturity, low prolificacy, high adiposity, and its apparently good adaptation to harsh tropical environmental conditions (Canope, 1982). For this reason, the CR breed was introduced into our experimental facilities to study the genetic variability of heat tolerance. Moreover, because of its high adiposity, this breed is an interesting model to study relationships between body composition and performance during lactation.

¹The financial support of the Guadeloupe Region and the European Union social funds is gratefully acknowledged. The authors also wish to thank C. Anaïs, K. Benony, B. Bocage, M. Giorgi, G. Gravillon, A. Racon, F. Silou, and J.-L. Weisbecker for their technical assistance and T. Etienne, S. Calif, and G. Saminadin for laboratory analyses.

²Corresponding author: renaudeau@antilles.inra.fr

Received April 20, 2005.

Accepted September 12, 2005.

The effect of temperature on performance of lactating sows is well known (Black et al., 1993), but limited information is available on the effect of temperature on performance of lactating sows of different breeds. This study investigated effects of season on performance and feeding behavior of LW and CR sows in a tropical humid climate. The present paper focuses on performance of sows and their nursing piglets.

MATERIALS AND METHODS

Animal Management

A total of 179 lactations on 71 multiparous sows (30 CR and 41 LW) divided in 24 successive groups of 9 to 11 animals were used in an experiment conducted at the INRA experimental facilities in Guadeloupe, French West Indies (latitude 16°N, longitude 61°W); this area is characterized by a tropical humid climate (Berbigier, 1988). This study covers the period between June 2001 and July 2004.

During gestation, sows were fed a conventional diet formulated with corn, wheat middlings, and soybean meal, and containing 13 MJ of DE, 140 g of CP, and 5.5 g of total lysine per kilogram of feed. Feed allowance during the first 30 d of the postmating period was calculated to standardize body condition at farrowing, according to the model of Dourmad et al. (1997). The feeding level was fixed at 2.7 kg/d from the 30th and the 114th of gestation. Ten days before parturition, sows were moved to open-fronted farrowing pens (2.1 × 2.2 m) on a slatted metal floor. Variations in ambient temperature, relative humidity, and photoperiod closely followed outdoor conditions. Lactation length was approximately 4 wk (27.6 ± 1.8 d).

Postpartum sows received 1 kg of standard gestation diet on farrowing day and controlled amounts of feed increased by 1 kg each day until d 4 of lactation to avoid overconsumption at the beginning of lactation and agalaxia problems. The proportion of gestation diet decreased progressively over the 3-d postpartum (i.e., 0.75, 0.50, and 0.25 on d 1, 2, and 3, respectively), and sows were fed only the lactation diet on d 4. From d 5 to d 26 postpartum, sows were fed to appetite. The lactation diet (Table 1) contained 14 MJ of DE per kg, 17.1% CP, and 0.92% total lysine and was formulated using corn, wheat middlings, and soybean meal, and met or exceeded AA requirements of lactating sows (NRC, 1998). The feed was distributed once per day between 0700 and 0800 with free access to water provided by a low-pressure nipple drinker. Infrared lights provided supplemental heat for the piglets during the lactation period.

Cross-fostering was conducted within each breed during the first 48 h after birth to standardize litter size to 8 or 9, or to 10 or 11 piglets in CR and LW sows, respectively. Six sows (3 CR and 3 LW) were excluded from our study because of sanitary problems (n = 3) or abnormally low litter size caused by high mortality at

Table 1. Composition of the lactation diet, as fed

Item	
Ingredient, g/kg	
Corn	369.0
Soybean meal	210.0
Wheat middlings	327.0
Wheat bran	20.0
Soybean oil	30.0
L-Lysine HCl	0.4
L-Threonine	0.3
Choline ¹	0.6
Dicalcium phosphate	13.0
Calcium carbonate	19.0
Salt	5.7
Minerals and vitamins ²	5.0
Chemical composition, ³ g/kg	
Ash	61
CP	171
Crude fat	29
Starch	333
Crude fiber	37
NDF	138
ADF	40
ADL	4
Lysine	9.2
Methionine + cystine	5.7
Threonine	6.7
Nutritional value ⁴	
NE, MJ/kg	10.2
Digestible lysine, g/MJ of NE	0.81

¹Contains 66 g for 100 g of choline.

²Minerals and vitamins mixture supplied (per kilogram of diet): 10 mg of Cu (as CuSO₄·5H₂O), 80 mg of Fe (as FeSO₄·7H₂O), 40 mg of Mn (as MnO), 100 mg of Zn (as ZnO), 0.6 mg of I [as Ca(IO₃)₂], 0.10 mg of Co (as CoSO₄·7H₂O), 0.15 mg of Se (as Na₂SeO₃), 5,000 IU of vitamin A, 1,000 IU of vitamin D₃, 15 IU of vitamin E, 2.0 mg of vitamin K₃, 2.0 mg of thiamin, 4 mg of riboflavin, 20 mg of nicotinic acid, 10 mg of D-pantothenic acid, 3 mg of pyridoxine, 0.02 mg of vitamin B₁₂, 1.0 mg of folic acid, and 0.2 mg of biotin.

³Measured values adjusted for 0.875 DM content. Lysine, methionine, cystine, and threonine contents were estimated from characteristics of raw materials according to AmiPig (2000) and INRA-AFZ Tables (Sauvant et al., 2004).

⁴Using values for net energy according to the equation of Noblet et al. (1994) and digestible lysine content from analyzed lysine content and estimated digestibility coefficients of AmiPig (2000) and INRA-AFZ Tables (Sauvant et al., 2004).

farrowing (n = 3). The corresponding number of piglets (n = 17) was fostered with experimental sows. Piglets were offered creep feed, containing 15.3 MJ of DE per kg, 20% CP, and 1.47% crude lysine, after d 21 of lactation.

The day prior to weaning (i.e., d 27), sows were allocated 3 kg of feed (i.e., at least 1 kg lower than their usual feed intake) to standardize consumption for all sows prior to determination of sow weight at weaning. From weaning to d 14 after weaning, sows were presented to a mature boar twice daily to detect onset of standing estrus. Other signs of estrus such as vulva swelling or reddening, or reaction to human back-pressure, were used. Sows detected in standing estrus were mated twice at 24-h intervals, using either supervised natural mating or artificial insemination. Pregnancy

diagnosis was confirmed by ultrasonography 3 wk after insemination.

Measurements

Ambient temperature and relative humidity were continuously recorded (1 measurement every 30 s) from a meteorological station (Campbell Scientific Ltd., Sheshed, UK) within 50 m of the experimental unit. Backfat thickness and BW were measured the day after farrowing and at weaning. Backfat thickness measurements were taken ultrasonically (Agroscan, E.C.M., Angoulême, France) at 65 mm from the midline at the point beside the shoulder and at the last rib on each flank. The total number of piglets born, live, stillborn, and dead during lactation was recorded for each litter. Piglets were individually weighed at birth, at d 7, 14, and 21 of lactation, and at weaning. At d 14, piglets were separated from the sows after suckling, and 30 to 50 min later (i.e., equivalent to the average suckling interval; Renaudeau and Noblet, 2001), the sow was injected with 10 IU of oxytocin (Intervet, Angers, France) in an ear vein and all functional mammary glands were hand milked. Samples (approximately 100 mL) were immediately stored at -20°C and subsequently analyzed for DM, ash, nitrogen, and fat according to AOAC (1990). Each sow's ADFI was determined as the difference between the amount of feed offered and the amount refused the next morning (determined between 0600 and 0800). Every week, one sample of feed was collected for DM content, and successive samples were pooled for each replicate for DM, ash, fat, and crude fiber content analysis, according to AOAC (1990), for CP ($N \times 6.25$) according to the Dumas method (AOAC, 1990), and for cell wall components (NDF, ADF, and ADL) according to Van Soest and Wine (1967). Rectal temperatures of each sow were measured Monday and Thursday at 0700 and 1200 from the Monday before farrowing to the Monday after weaning.

Statistical Analyses

Daily temperature and relative humidity (maximal, minimal, and mean) were averaged per month. Mean and daily variations of temperature and relative humidity were used in a principal component analysis and a hierarchical classification using SPAD programs (SPAD-TM, Center International de Statistique et d'Informatique Appliquées, Paris) to discriminate seasons. For lactating and reproductive performance data, sow and litter measurements were the experimental units. Because most of the lactation periods occurred over 2 successive seasons, the lactation of a sow was attributed to the season in which the sow spent the greater number of days in lactation. Three parity groups were constructed, namely 2 ($n = 54$), 3 and 4 ($n = 69$), and ≥ 5 ($n = 56$). The ADFI was defined as the ADFI of the sow between d 5 and the last fed-to-appetite day before weaning. Because creep feed was provided

to the pigs from d 21 of lactation, milk production was estimated only over the first 3 wk from litter BW at birth (kg), litter ADG (g/d), and the average litter size between d 1 and 21 (Noblet and Etienne, 1989). For performance data in lactation and reproductive data, the variables were interval from weaning to estrus, and interval from weaning to conception, which was defined as the number of days between weaning and a successful insemination. The proportion of stillborn (i.e., number of stillborn over total number of piglets at birth), weaning to estrus, and weaning to conception intervals were assumed to follow a Poisson distribution. Log-linear models were applied to them using the GLIMMIX Macro (Littel et al., 1996). Results are presented as least squares means after back transformation (i.e., on the original scale), and an approximate SE on the original scale was calculated using the delta method (Littel et al., 1996). Effects of breed, season, and their interaction, and the effect of parity groups, on the mean lactation performance of sows and their litter and on milk composition were tested with an analysis of variance using PROC MIXED of SAS/STAT (Version 8.1, SAS Inst., Inc., Cary, NC). The effect of group was tested within season, and a random sow effect was included to account for repeated observations for sows. Complementary statistical analyses were performed with average litter size; the lactation period was a covariate. Residual values were computed from the preceding models (without the random effect of sow), and correlation between residual values of lactating performance of sows and their litter was calculated (CORR Procedure, SAS/STAT). A Fisher's Z transformation was performed to compare the correlation coefficients between LW and CR sows using the COMPCORR Macro of SAS/STAT, and Bonferroni correction was used to take into account multiple comparison. The effect of stage of lactation on ADFI was also analyzed using SAS PROC MIXED for repeated measures with breed and season as main effects. The least square means procedure (PDIF option) was used to compare means when a significant F -value was obtained. Significant effects were considered at $P < 0.05$ and trends at $P \leq 0.10$.

RESULTS

Description of Climatic Parameters

Two seasons were discriminated: a warm season from November to April ($23.8 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$) and a hot season from May to October ($26.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$; Table 2). Relative humidity averaged 85% and was comparable in both seasons ($P > 0.42$). Duration of the diurnal period was slightly greater in the hot than in the warm season (12.33 vs. 11.67 h, Météo France source).

Sow and Litter Performance

As presented in Table 3, ADFI was affected ($P < 0.01$) by season; it was lower in the hot season during the

Table 2. Main characteristics of seasons¹

Item	Season ²	
	Warm	Hot
Temperature, °C		
Minimal	20.5 ± 0.9	22.9 ± 0.4
Maximal	28.5 ± 0.9	30.4 ± 0.9
Mean	23.8 ± 0.8	26.0 ± 0.5
Relative humidity, %		
Minimal	61.2 ± 18.5	60.3 ± 16.1
Maximal	99.3 ± 3.5	98.1 ± 2.6
Mean	86.0 ± 8.7	83.3 ± 10.5
Duration of diurnal period, ³ h	11.67	12.33

¹Correspond to the mean (±SD) daily ambient temperature and relative humidity between June 2001 and July 2004.

²Warm season: November 2001 to April 2002, November 2002 to April 2003, and November 2003 to April 2004; hot season: June 2001 to October 2001, May 2002 to October 2002, May 2003 to October 2003, and May 2004 to July 2004.

³Diurnal period: 0620 to 1800 and 0550 to 1810, for the warm and hot seasons, respectively (Météo France data).

28-d lactation and during the fed-to-appetite period (3.4 vs. 4.1 kg/d and 3.8 vs. 4.6 kg/d, respectively). The LW sows had greater ($P < 0.01$) ADFI than CR sows (4.3 vs. 3.1 kg/d, respectively). However, when ADFI was considered with respect to metabolic BW ($BW^{0.75}$), this difference was no longer apparent ($P > 0.10$). There was a breed × season interaction for ADFI ($P < 0.05$) with

a lower depressive effect of the hot season in CR than in LW sows (−470 vs. −910 g/d, respectively). The patterns of ADFI in LW and CR sows are presented in Figure 1. Irrespective of breed and season, feed intake increased rapidly during the restricted feeding period (i.e., from d 1 to 4) in connection with the feeding scale. After this initial period, ADFI plateaued in CR sows at around 3.5 and 3.2 kg/d in the warm and the hot seasons, respectively. On the other hand, LW sows continued to increase their feed intake to d 6, and the fed-to-appetite ADFI plateaued at around 5.2 and 4.2 kg/d during warm and hot seasons, respectively. The difference in plateau voluntary feed intake between seasons was then more pronounced in LW than in CR sows ($P < 0.05$).

Backfat thickness (30.6 mm, $P > 0.60$) and BW after farrowing (221 kg, $P > 0.70$) and backfat thickness change during lactation (3.3 mm, $P > 0.10$) did not differ between season ($P > 0.10$), but lactation BW loss was greater in the hot season (17 vs. 12 kg, $P < 0.01$; Table 3). After farrowing, LW sows were heavier than CR sows (255 vs. 186 kg, respectively; $P < 0.01$) and had a lower backfat thickness (21.5 vs. 39.8 mm, respectively; $P < 0.01$). Backfat thickness loss during lactation was greater ($P < 0.01$) in CR than in LW sows (4.3 vs. 2.3 mm). The breed × season interaction was significant for BW loss during lactation; it was more substantial in

Table 3. Effect of tropical season and breed on performance of lactating sows over a 28-d lactation (adjusted means)

Item	Breed	Creole		Large White		RSD ²	Statistical analysis ³
	Season ¹	Warm	Hot	Warm	Hot		
No. of lactations		44	39	40	56		
No. of sows		24	24	29	35		
Average parity		3.3	3.6	4.2	4.0		
Lactation length, d		27.9 ^w	27.3 ^w	27.7 ^w	27.6 ^w	1.8	
ADFI							
From d 1 to weaning, kg/d		3.37 ^w	2.90 ^x	4.76 ^y	3.85 ^z	0.52	B**, S**, B × S*, P*
From d 1 to weaning, ⁴ g·kg ^{−0.75} ·d ^{−1}		71.5 ^w	60.1 ^x	76.2 ^w	62.8 ^x	11.4	S**, P**
From d 5 to weaning, kg/d		3.74 ^w	3.21 ^x	5.39 ^y	4.31 ^z	0.62	B**, S**, B × S*, P†
BW, kg							
After farrowing		186.5 ^w	186.4 ^w	255.8 ^x	254.8 ^x	8.8	B**, P**, G**
At weaning		171.5 ^w	169.4 ^x	246.9 ^y	235.4 ^z	9.3	B**, S**, B × S*, P**, G**
Loss during lactation		14.1 ^w	14.4 ^w	9.3 ^x	19.5 ^y	8.8	S**, B × S**
Backfat thickness, mm							
After farrowing		39.5 ^w	40.1 ^w	21.5 ^x	21.5 ^x	3.3	B**, P**, G**
At weaning		34.6 ^w	35.1 ^w	18.9 ^x	17.8 ^y	2.6	B**, P**, B × S†, G**
Loss during lactation		4.2 ^w	4.5 ^w	1.7 ^x	2.9 ^y	2.7	B**, G**
Rectal temperature, ⁵ °C							
Number of observations ⁶							
at 0700		30	31	24	29		
at 1200		38.2 ^w	38.4 ^x	38.3 ^x	38.7 ^y	0.2	B†, S**, P*, G*
		39.2 ^w	39.4 ^x	39.3 ^x	39.7 ^y	0.2	B†, S**, P**, G*

^{w–z}In a row, means without a common superscript letter differ for each main effect, $P < 0.05$.

¹Season during the lactating period. Warm season: November to April. Hot season: May to October.

²Residual SD.

³From an analysis of variance with a linear mixed model including the effects of breed (B), season (S), and interaction, and the effect of parity number (P) and the effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$.

⁴Metabolic BW = (BW at weaning^{1.75} − BW at farrowing^{1.75})/[1.75 × (BW at weaning − BW at farrowing)].

⁵Rectal temperature = average rectal temperature measured during the lactating period.

⁶Each observation is the mean of 8 measurements on each sow.

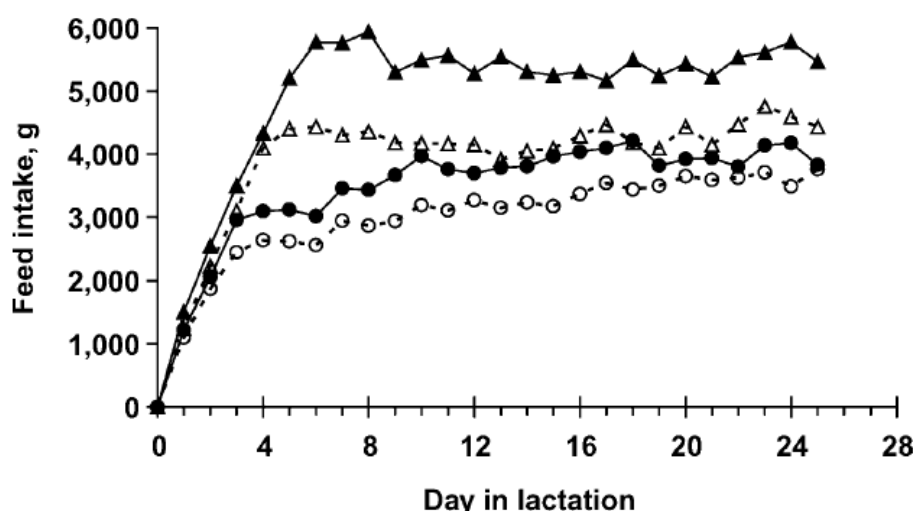


Figure 1. Effects of season (Warm: —; Hot: - - -) during the lactation period and breed (Creole: ●; Large White: ▲) on feed intake during lactation (d 1 to 26). Feed intake was not different from d 1 to 3 ($P > 0.05$), whereas it differed between seasons and breeds from d 4 to 25 ($P < 0.05$). Within breed, feed intake during the warm season differed ($P < 0.05$) from feed intake during the hot season from d 5 to 26 and from d 3 to 18 in Large White and Creole sows, respectively; the pooled SE was 184 g.

the hot season for LW sows (10 kg, $P < 0.01$), whereas it remained constant in both seasons for CR sows.

On average, rectal temperature measured during lactation at 0700 or at 1200 was greater in hot than in warm season (38.5 vs. 38.3°C, and 39.6 vs. 39.3°C, respectively, $P < 0.01$). It was also affected by breed, being greater in LW than in CR breeds, at both 0700 (38.5 vs. 38.3°C, $P < 0.10$) and at 1200 (39.5 vs. 39.3°C, $P < 0.10$).

Litter sizes at birth, at d 1 (i.e., after cross-fostering), and at weaning were influenced by season and breed ($P < 0.10$; Table 4). The proportion of stillborn, either adjusted or not adjusted for litter size, was greater in LW than in CR sows (8.3 vs. 3.3 %, $P < 0.01$). Average piglet BW at birth differed markedly between breeds (1.03 and 1.42 kg for CR and LW piglets, respectively) and between seasons (1.26 vs. 1.19 kg, in the warm and the hot season, respectively). Average piglet BW at d 21 and at weaning were also affected by both season and breed ($P < 0.05$); they were greater during the warm than the hot season (i.e., +364 and +446 g, respectively) and lower in CR than in LW breed (4.78 vs. 5.63 and 6.36 vs. 7.37 kg, respectively). Litter BW gain from birth to weaning did not differ between seasons ($P = 0.80$) but was greater during the warm season when adjusted for litter size (1,745 vs. 1,645 g/d, $P < 0.05$). It was greater in LW than in CR breeds (1,819 vs. 1,571 g/d, $P < 0.01$). Over the entire lactation period, piglet BW gain differed between seasons and breeds ($P < 0.05$); values were greater during the warm than during the hot season (210 vs. 197 g/d) and in LW compared with CR piglets (215 vs. 192 g/d).

Milk composition did not change between seasons, but protein ($P < 0.05$) and fat content ($P < 0.10$) were greater in LW than in CR sows (Table 5). The breed $\times$ season interaction was significant for milk fat content; the interaction decreased in the hot season for LW sows (-0.80 g/100 g of milk, $P < 0.05$), whereas it increased in the hot season for CR sows (0.72 g/100 g milk, $P < 0.05$). In agreement with results on litter and piglet growth, milk production was greater in LW sows than in CR sows (5.79 vs. 4.27 kg/d and 571 vs. 506 g/d per piglet, $P < 0.01$).

Overall residual correlations (two breeds together) between lactation performance of sows and their litter are given in Table 6. According to the statistical test of comparison and the Bonferroni correction, there is not strong evidence that the correlations in each breed were estimating different population correlation coefficients. Consequently, the residual correlations are presented with the 2 breeds together. Even if residual correlation values presented in the text were generally low (i.e., < 0.30), they were different from zero ($P < 0.05$). Average daily feed intake (expressed per kg of BW^{0.75}) had a negative correlation with backfat thickness at farrowing ($r = -0.19$, $P < 0.05$) and a positive correlation with litter BW gain ($r = 0.56$, $P < 0.01$). A positive correlation was also found between sow ADFI and rectal temperature measured at midday ($r = 0.16$, $P < 0.10$) and between litter BW gain and backfat thickness loss ($r = 0.26$, $P < 0.01$), but after adjustment for litter size these correlations were not different from zero.

Effects of season, breed, and their interaction on weaning to estrus and weaning to conception intervals

Lactating sow performance in the tropics

365

Table 4. Effect of tropical season and breed on litter performance of sows over a 28-d lactation (adjusted means)

Item	Breed	Creole		Large White		RSD ²	Statistical analysis ³
	Season ¹	Warm	Hot	Warm	Hot		
No. of litters		44	39	40	56		
Litter size							
Live born		9.0 ^w	10.1 ^z	9.9 ^x	10.9 ^y	2.2	B†, S**, P**, G*
At d 1 ⁴		9.2 ^w	9.9 ^x	10.2 ^x	11.0 ^y	1.9	B**, S*, P**, G*
At weaning		7.9 ^w	8.0 ^w	8.3 ^w	9.2 ^x	1.6	B*, S†, P*, G*
Proportion of stillborn, %		3.1 ^w	3.6 ^w	7.5 ^x	9.1 ^x	2.0	B**, P**
Piglet BW, kg							
At d 1		1.06 ^w	1.01 ^w	1.45 ^x	1.39 ^y	0.12	B**, S*, P**
At d 21		4.89 ^w	4.66 ^x	5.88 ^y	5.38 ^z	0.69	B**, S**, P*
At weaning		6.51 ^w	6.22 ^x	7.67 ^y	7.07 ^w	1.00	B**, S*, P*
Litter BW gain, g/d		1,490 ^w	1,479 ^w	1,863 ^x	1,848 ^x	295	B**, P**, G*
Piglet BW gain, g/d							
From d 1 to d 21		181 ^w	177 ^x	211 ^y	190 ^z	30	B**, S*
From d 21 to d 28		231 ^w	228 ^w	270 ^x	246 ^y	50	B**, G†
Total		194 ^w	190 ^y	225 ^y	205 ^z	29	B**, S*, P†

^{w-z}In a row, means without a common superscript letter differ for each main effect, $P < 0.05$.¹Season during the lactating period. Warm season: November to April. Hot season: May to October.²Residual SD.³From an ANOVA with a linear mixed model including the effects of breed (B), season (S), and interaction, and the effect of parity number (P) and the effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$.⁴After cross-fostering within breed.⁵From an analysis of variance with a log-linear mixed model; results are presented in the original scale.

were not significant (data not shown). On average, weaning to estrus and weaning to conception intervals were 4.8 and 6.1 d, respectively.

DISCUSSION

Effect of Season on Sow and Litter Performance

The effect of high ambient temperature on performance of lactating sows is well known in the literature (Black et al., 1993) with a severe reduction of feed intake when ambient temperature rises above the evaporative critical temperature of the sow (i.e., 22°C, Quiniou and Noblet, 1999). Under our tropical humid conditions, the daily ambient temperature frequently exceeded 22°C. Therefore, lactating sows suffered from heat stress most of the time (Gourdine et al., 2004). In the current study, ADFI in LW sows was reduced by about 950 g/d in the hot season, which is consistent with previous results obtained by Renaudeau et al. (2003; i.e., 1,460 g/d) and Gourdine et al. (2004; i.e., 850 g/d) in the same experimental conditions. Expressed per degree increase of ambient temperature, the reduction of ADFI was equivalent to 430 g⁻¹·d⁻¹/°C. This result is critically higher than the value reported also in LW sows by Quiniou and Noblet (1999; i.e., 215 g⁻¹·d⁻¹/°C) between 25 and 27°C for uncontrolled relative humidity ranging between 50 and 60%. In agreement with Renaudeau et al. (2003) and Gourdine et al. (2004), in tropical humid conditions, the high relative humidity emphasizes the negative effect of elevated ambient temperature on sow ADFI. In fact, it is now well established

in growing pigs that the evaporative heat loss through increased respiratory rate is limited when relative humidity is high (Renaudeau, 2005). In addition, the decrease of metabolic heat production associated with the reduction of ADFI is insufficient to prevent the increase of rectal temperature. In the current study, the increase of rectal temperature (i.e., 0.3°C) in the hot season is similar to the value reported by Quiniou and Noblet (1999) for multiparous LW sows when the temperature increased from 25 to 27°C (0.3°C).

According to our results, litter size at birth was greater when the lactation was performed during the hot season. Omtvedt et al. (1971) found that high temperatures during the early periods and during the end of gestation had adverse effects on embryo and fetus survival. Consequently, the effect of the season of lactation on litter size is probably not the best criteria to determine the effect of season. When season of mating was considered, sows mated during the hot season had fewer piglets at farrowing (-0.7 and -1.2, for CR and LW sows, respectively; results not presented).

In the warm season, piglet growth rate over the first 3 wk of lactation in LW breed (i.e., 201 g/d) was lower than results reported in temperate conditions (Auldist and King, 1995: 265 g/d; Hulthen et al., 2002: 290 g/d; Quiniou, 2005: 253 g/d). As observed for ADFI, this result suggests that LW sows raised in tropical conditions were heat stressed and their milk production was depressed, even in the warm season. According to Mullan (1991) and Quiniou and Noblet (1999), milk yield is reduced at elevated temperatures. Messias de Bragança et al. (1998) suggested a direct influence of high

Table 5. Effect of tropical season and breed on production and chemical composition of sow's milk¹ (adjusted means)

Item	Breed	Creole		Large White		RSD ⁵	Statistical analysis ⁴
	Season ²	Warm	Hot	Warm	Hot		
No. of observations		27	29	22	29		
Average parity		3.8	3.6	3.9	3.7		
Milk production ⁵							
Total, kg/d		4.24 ^w	4.30 ^w	5.87 ^x	5.71 ^x	0.86	B**, P†
Per piglet, g/d		511 ^w	501 ^w	604 ^x	538 ^y	71	B**, S*, P**, B × S†
Milk composition, g/100 g							
DM		18.21 ^w	18.58 ^w	19.04 ^w	18.48 ^w	1.41	P*, G†
Protein (N × 6.38)		4.77 ^w	4.82 ^w	5.06 ^x	5.04 ^x	0.33	B*, G†
Ash		0.79 ^w	0.78 ^w	0.78 ^w	0.81 ^w	0.05	
Fat		6.64 ^w	7.36 ^x	7.87 ^y	7.07 ^x	1.38	B†, B × S*, P†, G*

^{w-x}In a row, means without a common superscript letter differ for each main effect, $P < 0.05$.

¹Milk collected at d 14.

²Season during the lactating period. Warm season: November to April. Hot season: May to October.

³Residual SD.

⁴From an analysis of variance with a linear mixed model including the effects of breed (B), season (S), and the effect of parity number (P), and the effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$.

⁵Daily milk production over the first 21 d of lactation was calculated from litter BW, litter size between d 1 and d 21, and litter BW at birth using equation from Noblet and Etienne (1989).

temperature on milk yield. In the current study, the effect of season on milk production or on litter BW gain was not significant due to a greater litter size in the hot season. When litter weight gain or milk production was adjusted for litter size, values differed significantly between seasons with lower values during the hot season (1,745 vs. 1,645 g/d for litter weight gain). Moreover, when milk production was expressed per piglet or when piglet growth rate was considered, the amount of milk available for each piglet decreased in the hot season, which indicated that the negative effect of heat stress on sow milk production was emphasized during the hot season. Irrespective of season, piglet BW gain between d 21 and weaning was greater than piglet gain from the first 3 wk of lactation, in connection with the creep

feed allowance during this period. In fact, it can be hypothesized that piglets compensate for the low milk intake by increasing their creep feed consumption with a subsequent attenuated effect of heat stress on performance of the litter (Renaudeau and Noblet, 2001).

The experiment did not show significant effects of season on weaning-to-estrus interval. A high mobilization of body reserves has negative effects on sow fertility after weaning, particularly in primiparous sows. In another study (J. L. Gourdine, unpublished data), primiparous sows lost more body reserves during the hot season and had a higher risk of having a prolonged return to estrus than multiparous sows. This supports the hypothesis that the absence of significant effect of season on the weaning-to-estrus interval of multiparous sows

Table 6. Residual correlation between performance of sows and their litter over a 28-d lactation during lactation (the 2 breeds together; first row: not adjusted for litter size; second row: adjusted for litter size)¹

	ADFI	BTf	BTl	LSb	LWg	RT 0700	RT 1200
ADFI, g·kg ^{-0.75} ·d ⁻¹	—	-0.19	-0.12	-0.02	0.56	0.04	0.16
		-0.20	-0.16		0.61	0.02	0.11
Backfat thickness at farrowing, mm (BTf)		—	0.38	0.10	0.04	-0.07	-0.10
			0.36		0.01	-0.07	-0.12
Backfat thickness loss, mm (BTl)			—	0.20	0.26	-0.06	0.02
					0.06	-0.10	-0.10
Litter size at birth (LSb)				—	0.29	0.02	0.16
Litter weight gain, g/d (LWg)					—	0.07	0.15
						-0.03	-0.03
Rectal temperature at 0700, °C (RT 0700)						—	0.66
							0.66
Rectal temperature at 1200, °C (RT 1200)							—

¹Correlation coefficients higher than 0.18 are significantly different from zero ($P < 0.05$) and are indicated in bold.

in the current study may be related to a moderate body reserves mobilisation. Similar conclusions were obtained in temperate climatic conditions (Hughes, 1998; Vesseur et al., 1994).

Effect of Breed on Sow and Litter Performance

Little information on the effect of breed on performance of lactating sows is available (Sinclair et al., 1999). As described in the literature review of Eissen et al. (2000), genetic differences in sow lactation performance will, to some extent, reflect differences in BW and body composition at farrowing and in litter size and milk production. In the current study, ADFI was significantly lower in CR than in LW sows, but no difference was found when ADFI was considered with respect to metabolic BW. Consequently, the lower feed intake of CR sows may be due mainly to a between-breed difference in energy requirements for maintenance (i.e., BW). Moreover, it cannot be excluded that, to some extent, the reduced ADFI measured in CR sows would also be related to their high adiposity at farrowing.

In accordance with Canope (1982), the CR sow was less prolific than the LW sow, which is one of the most widely used maternal breeds. Despite the important genetic trend for prolificacy in LW breed that occurred during the last 15 to 20 yr (Tribout et al., 2003), the breed difference is not likely to have increased over the last 23 yr. The lower proportion of stillborn in CR sows can be partly attributed to their lower prolificacy. The remaining difference in favor of CR after adjustment for litter size might be due to a lower vigor or maturity of LW piglets. Indeed, Herpin et al. (1993) and Canario et al. (2005) showed that selection for leanness has resulted in less mature piglets at birth. In agreement with Canope (1982), the average piglet BW gain was significantly lower in CR breed. The between-breed variation for litter BW gain could be related to differences in the sow's ability to produce milk or in chemical composition of milk, or differences in growth potential of piglets or some combination of these factors. According to equations from Noblet and Etienne (1989), milk production was 1.5 kg/d lower in CR than in LW sows. The reduced milk production in CR sows is partly related to their lower prolificacy, which decreases the nursing demand. However, a 880 g reduction in daily milk production was found for CR sows after adjustment for litter size. When milk production per piglet was adjusted for piglet BW at birth, values did not differ significantly between breeds. From these results, it appears that the reduced milk yield in CR sows seems to be also the result of their lighter piglets. Using a cross-fostering technique, Kanis et al. (1990) found that the reduced milk intake in lighter Meishan than in heavier Dutch piglets was mainly caused by differences in birth BW. In fact, nursing demand is also related to piglet BW; heavier piglets are more efficient for obtaining milk during suckling than lighter piglets (King et al., 1989).

Nutrients for milk production come from feed and/or body reserves. Because the ADFI expressed per kg^{0.75} was not affected by breed, variation in quantity and/or in composition of lactation BW loss would also explain between-breed difference in piglet BW gain. According to our results, BW loss was not affected by breed, but backfat thickness loss was twice as great in CR than in LW sows, suggesting a higher mobilization of body fat reserves in CR sows. As the chemical composition of BW loss depends to a large extent on the composition of the feed, this result highlights that nutrient requirements may differ between the two breeds. In contrast to the results of O'Grady et al. (1973), the greater body fat mobilization did not induce an increase of DM and fat content of milk in CR sows. Moreover, the protein and fat contents in milk were greater in LW than in CR sows. When Azain et al. (1996) provided piglets with milk substitute with a protein:energy greater than sow milk, they observed a greater piglet BW gain. As reported in a review (Williams, 1995), sow milk is deficient in protein relative to its energy content. These results indicate that the greater protein content of milk in LW sows can also partly explain the better piglet growth rate. To summarize, our results suggest that the effect of breed on piglet BW gain is mainly related to a decrease of milk yield and small changes in milk composition.

Effect of Season and Breed on Sow and Litter Performance

To our knowledge, few studies are available on the season to breed interaction effects on performance of lactating sows. Data from the current study show that the negative effect of season on ADFI was accentuated in LW sows. Indeed, the reduction of ADFI during the hot season represented 14% (-470 g/d) and 20% (-910 g/d) of ADFI during the warm season for CR and LW sows, respectively. In accordance with the results reported by Renaudeau (2005) in growing pigs, our results suggest that in the present experimental conditions, the CR breed seemed to tolerate hot conditions better than the LW breed. From measurement of individual feeding behavior parameters in a subgroup of sows used in this experiment, we showed that unlike LW sows, CR sows were able to eat feed even during the hottest hours of the day, which confirms their greater heat tolerance (Gourdine et al., 2006). This better heat tolerance in CR sows could be related to their lower production level. Nienaber et al. (1997) demonstrated a greater sensitivity to heat stress in pigs from high lean growth potential lines than those from moderate lines.

However, an improved heat tolerance in CR sows could be the result of their better ability to dissipate heat. Indeed, Berbigier (1975) found a greater nonevaporative heat loss in CR × LW crossbred piglets than in LW piglets. Nonevaporative heat loss is partly dependent on cutaneous heat conductivity of the animal. As reviewed by Renaudeau et al. (2004), it appears that

an increase in heat conductivity of the animal by changing its blood flow to skin vessels is observed when the ambient temperature exceeds the lower critical temperature. Further investigations are needed to confirm the greater ability of the CR breed to tolerate heat stress and to explain the mechanisms implicated in this adaptation.

LITERATURE CITED

- AmiPig. 2000. Digestibilités iléales standardisées des acides aminés des matières premières chez le porc. In 2000 Assoc. Française Zootechnie. Ajinomoto Eurolysine. Aventis Anim. Nutr., INRA, ITCF, Paris.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Washington, DC.
- Auldust, D. E., and R. H. King. 1995. Piglets' Role in Determining Milk Production in the Sow. Pages 114–118 in *Manipulating Pig Prod.* V. Hennessy and P. D. Cranwell, ed. Aust. Pig Sci. Assoc., Anim. Res. Inst., Werribee, Australia.
- Azain, M. J., T. Tomkins, J. S. Sowinski, R. A. Arentson, and D. E. Jewell. 1996. Effect of supplemental pig milk replacer on litter performance: Seasonal variation in response. *J. Anim. Sci.* 74:2195–2202.
- Berbigier, P. 1975. Echanges thermiques au niveau de la peau des porcelets élevés en climat tropical 1. Influence des conditions climatiques et de la race. *Ann. Zootech.* 24:423–432.
- Berbigier, P. 1988. Description des climats équatoriaux et tropicaux. Pages 11–18 in *INRA Ed. Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*. INRA Publ., Paris, France.
- Black, J. L., B. P. Mullan, M. L. Lorsch, and L. R. Giles. 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livest. Prod. Sci.* 35:153–170.
- Canario, L., T. Tribout, F. Thomas, C. David, J. Gogué, P. Herpin, J. P. Bidanel, M. C. Père, and J. Le Dividich. 2005. Estimation, par utilisation de semence congelée, des effets de la sélection réalisée entre 1977 et 1998 dans la population Large White sur la composition corporelle et l'état physiologique du porc nouveau-né. *J. Rech. Porcine en France* 37:427–434.
- Canope, I. 1982. Etude des interactions entre le type génétique et le régime alimentaire chez le porc en milieu tropical humide. Ph.D. Diss. Inst. Natl. Polytechnique Toulouse, France.
- Dourmad, J. Y. 1988. Ingestion spontanée d'aliment chez la truie en lactation: De nombreux facteurs de variation. *INRA Prod. Anim.* 1:141–146.
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, J. Noblet, and D. Causeur. 1997. Prédiction de la composition chimique des truies reproductrices à partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal. *J. Rech. Porcine France* 29:255–262.
- Eissen, J. J., E. Kanis, and B. Kemp. 2000. Sow factors affecting voluntary feed intake during lactation. *Br. J. Nutr.* 64:147–165.
- Gourdine, J. L., J. P. Bidanel, J. Noblet, and D. Renaudeau. 2006. Effects of season and breed on the feeding behavior of multiparous lactating sows in a tropical humid climate. *J. Anim. Sci.* 84:469–480.
- Gourdine, J. L., D. Renaudeau, J. Noblet, and J. P. Bidanel. 2004. Effects of season and parity on performance of lactating sows in a tropical climate. *Anim. Sci.* 79:273–282.
- Herpin, P., J. Le Dividich, and N. Amaral. 1993. Effect of selection for lean tissue growth and body composition and physiological state of the pig at birth. *J. Anim. Sci.* 71:2645–2653.
- Hughes, E. H. 1998. Effects of parity, season and boar contact on the reproductive performance of weaned sows. *Livest. Prod. Sci.* 54:151–157.
- Hulten, F., A. Valros, M. Rundgren, and S. Einarsson. 2002. Reproductive endocrinology and postweaning performance in the multiparous sow. Part 2. Influence of nursing behavior. *Theriogenology* 58:1519–1530.
- Kanis, E., H. A. M. van der Steen, P. N. de Groot, and E. W. Brascamp. 1990. Growth, feed intake and body composition of Meishan pigs compared to Western genetic types. Pages 217–225 in *Chin. Pig Symp.* M. Molénat and C. Legault, ed. INRA Publ., Toulouse, France.
- King, R. H., M. S. Toner, and H. Dove. 1989. Pattern of milk production in sows. Page 98 in *Manipulation of Pig Production II*. E. S. Batterham, ed. Australasian Pig Sci. Assoc., Anim. Res. Inst., Attwood, Australia.
- Littel, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, and R. D. Wolfinger. 1996. *SAS System for Mixed Models*. 1st ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Messias de Bragança, M., A. M. Mounier, and A. Prunier. 1998. Does feed restriction mimic the effects of increased ambient temperature in lactating sows? *J. Anim. Sci.* 76:2017–2024.
- Mullan, B. P. 1991. The response of the breeding sow to the climatic environment. Pages 167–176 in *Manipulating of Pig Production III*. E. S. Batterham, ed. Australasian Pig Sci. Assoc., Attwood, Australia.
- Nienaber, J. A., G. L. Hahn, R. A. Eigenberg, R. L. Korthals, J. T. Yen, and D. L. Harris. 1997. Genetic and heat stress interaction effects on finishing swine. Pages 1017–1023 in *Proc. 13th Int. Lives. Envir. Symp.*, Bloomington, MN.
- Noblet, J., and M. Etienne. 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *J. Anim. Sci.* 67:3352–3359.
- Noblet, J., H. Fortune, X. S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:344–354.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirement of Swine*. 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- O'Grady, J. F., F. W. H. Elsley, R. M. MacPherson, and I. McDonald. 1973. The response of lactating sows and their litters to different dietary energy allowances. 1. Milk yield and composition, reproductive performance of sows and growth rate of litter. *Anim. Prod.* 17:65–74.
- Omtvedt, I. T., R. E. Nelson, R. L. Edwards, D. F. Stephens, and E. J. Turman. 1971. Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilt. *J. Anim. Sci.* 32:312–317.
- Quiniou, N. 2005. Influence de la quantité d'aliment allouée à la truie en fin de gestation sur le déroulement de la mise bas, la vitalité des porcelets et les performances de lactation. *J. Rech. Porcine France* 37:187–194.
- Quiniou, N., and J. Noblet. 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 77:2124–2134.
- Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Carribean (Creole) restrictively fed growing pigs. *Anim. Res.* 54:81–93.
- Renaudeau, D., C. Anats, and J. Noblet. 2003. Effects of dietary fiber on performance of multiparous lactating sows in a tropical climate. *J. Anim. Sci.* 81:717–725.
- Renaudeau, D., N. Mandonnet, M. Tixier-Boichard, J. Noblet, and J. P. Bidanel. 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 Prod. Anim.* 17:93–108.
- Renaudeau, D., and J. Noblet. 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. *J. Anim. Sci.* 79:1540–1548.
- Sauvant, D., J.-M. Perez, and G. Tran. 2004. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. INRA Ed., Versailles, France.
- Sinclair, A. G., J. M. Shaw, S. A. Edwards, S. Hoste, and A. McCartney. 1999. The effect of dietary protein level on milk yield and composition and piglet growth and composition of Meishan synthetic and European White breeds of sow. *Anim. Sci.* 68:701–708.
- Tribout, T., J. C. Caritez, J. Gogué, J. Gruand, Y. Billon, M. Bouffaud, H. Lagant, J. Le Dividich, F. Thomas, H. Quesnel, R. Guéblez, and J. P. Bidanel. 2003. Estimation, par utilisation de semence

Lactating sow performance in the tropics

369

- congelée, du progrès génétique réalisé en France entre 1977 et 1998 dans la race porcine Large White: Résultats pour quelques caractères de reproduction femelle. *J. Rech. Porcine France* 35:285–292.
- Van Soest, P. J., and R. H. Wine. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. AOAC* 50:50–55.
- Vesseur, P. C., B. Kemp, and L. A. den Hartog. 1994. Factors affecting the weaning-to-estrus interval in the sow. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 72:225–233.
- Williams, I. H. 1995. Sow's milk as major nutrient source before weaning. Pages 7–261 in *Manipulating Pig Production*. V. D. P. Hennessy and P. D. Cranwell, ed. Australasian Pig Sci. Assoc., Anim. Res. Inst., Werribee, Australia.

2.3. Principaux enseignements de la Publication 2

Cette étude nous a permis tout d'abord de confirmer les résultats obtenus chez la truie LW dans la première étude expérimentale (Publication 1) et de préciser les effets du type génétique sur les performances de lactation des truies.

Dans nos conditions expérimentales, la truie CR a des performances zootechniques en lactation réduites relativement à la truie LW. Compte tenu de son plus faible poids et de sa plus forte adiposité à la mise bas, le niveau d'ingestion d'aliment de la truie CR est significativement réduit. La différence d'appétit entre les deux types génétiques peut également s'expliquer par une plus faible taille de portée des truies CR. Les animaux CR mobilisent davantage de réserves corporelles pendant la lactation en relation avec leur plus faible appétit et leur plus grand niveau d'adiposité à la mise bas. Enfin, la vitesse de croissance des porcelets CR est réduite par rapport à celle des porcelets LW.

Ce travail suggère que les effets de la saison chaude sur les performances de lactation sont moins marqués chez la truie CR. La réduction de l'ingestion d'aliment et l'augmentation du niveau des réserves mobilisées en saison chaude sont plus faibles chez les CR que chez les LW. Ces résultats pourraient aller dans le sens d'une meilleure tolérance à la chaleur des truies CR. Néanmoins, en absolu, le niveau de production des LW reste supérieur à celui des CR. Tout d'abord, la meilleure tolérance à la chaleur des truies CR est probablement liée à leur plus faible niveau de production, qui les rendrait moins sensibles à l'élévation de la température ambiante. Par ailleurs, des travaux récents dans notre unité expérimentale sur le porc en croissance suggèrent une meilleure efficacité des porcs CR dans la mise en place des mécanismes physiologiques permettant de résister à la chaleur.

2.5. Publication n°3

Effects of season and breed on the feeding behavior of multiparous lactating sows in a tropical humid climate

Jean-Luc Gourdine, Jean-Pierre Bidanel, Jean Noblet et David Renaudeau

(publiée à Journal of Animal Science)

Résumé :

Un total de 76 lactations obtenues entre Mai 2002 et Juillet 2004 sur 40 truies multipares (23 Créole et 17 Large White) ont été utilisées pour déterminer les effets du type génétique et du climat tropical humide sur le comportement alimentaire des truies au cours d'une lactation de 28 jours. Quel que soit le type génétique considéré, les truies font 9,0 repas par jour. La taille du repas et la vitesse d'ingestion sont plus élevées chez la truie Large White que chez la truie Créole (respectivement 555 g et 153 g/min vs. 390 g et 83 g/min, $P < 0,01$). La proportion d'aliment consommé en période diurne est plus importante chez la truie Créole (60% vs. 41%, $P < 0,01$). La réduction de la CMJ de la truie Large White pendant la saison chaude est principalement liée à une réduction de la prise alimentaire en période diurne plutôt qu'en période nocturne. La durée de la station debout des truies n'est affectée ni par le type génétique ni par le climat et elle est en moyenne de 120 min/j. Cette étude confirme les effets négatifs de la saison chaude sur le comportement alimentaire de la truie allaitante. Par ailleurs, contrairement aux truies Large White, les truies Créoles ont une activité alimentaire importante pendant les périodes les plus chaudes de la journée, ce qui suggère une meilleure tolérance à la chaleur des truies Créoles par rapport aux truies Large White.

Effects of season and breed on the feeding behavior of multiparous lactating sows in a tropical humid climate^{1,2}

J. L. Gourdine,* J. P. Bidanel,† J. Noblet,‡ and D. Renaudeau*³

*Station de Recherches Zootechniques, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), 97170 Petit Bourg, Guadeloupe, F.W.I, France; †Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas, France; and ‡UMR Systèmes d'Elevage, Nutrition Animale et Humaine, 35590 Saint-Gilles, France

ABSTRACT: The effects of breed and season on performance and feeding behavior were studied during 76 lactations in multiparous Large White (LW; $n = 17$) and Creole (CR; $n = 23$) sows reared in a humid tropical climate. The experiment was conducted in Guadeloupe (French West Indies, latitude 16°N, longitude 61°W) between May 2002 and July 2004. Average daily ambient temperature was greater during the hot season than during the warm season (26.0 vs. 23.8°C), but relative humidity was similar in both seasons (85% on average). The daily fluctuations of ambient temperature and relative humidity were similar for both seasons. At farrowing, BW was lower (187 vs. 265 kg) and backfat thickness was greater (40 vs. 22 mm) in CR than in LW sows ($P < 0.01$). Sows were offered feed ad libitum between the fifth and the 26th day of lactation. There was a breed $\times$ season interaction ($P < 0.05$) for ADFI.

During the hot season the reduction of ADFI was more pronounced in LW than in CR sows (–1,100 vs. –300 g/d). Irrespective of breed and season, the daily number of meals was 9.0. The meal size and the rate of feed intake were greater in LW than in CR sows, respectively (555 g and 153 g/min vs. 390 g and 83 g/min; $P < 0.01$). The diurnal proportion of ADFI was greater in CR than in LW sows (0.60 vs. 0.41; $P < 0.01$). The reduction in ADFI in LW sows during the hot season was mainly related to a reduction in feed intake during the day rather than during the night (–1.3 vs. –0.2 kg; $P < 0.01$). Duration of standing was not affected by breed or season, and it averaged 120 min/day. This study confirms the negative effect of the hot season on feeding behavior of lactating sows. It also suggests a better acclimation to daily high temperatures and a greater heat tolerance in CR compared with LW sows, at least for eating behavior.

Key words: breed, feeding behavior, feed intake, sow, tropical climate

©2006 American Society of Animal Science. All rights reserved.

J. Anim. Sci. 2006. 94:469–480

INTRODUCTION

To understand the control and regulation of feed intake, and to establish an appropriate feeding strategy, it is important to study factors affecting feeding behavior. Voluntary feed intake (VFI) is influenced by numerous factors, many of which are environmental factors. Numerous studies have shown that ambient temperature plays a critical role in VFI. Indeed, VFI is reduced when lactating sows are exposed to ambient tempera-

tures above the evaporative critical temperature (estimated to be below 22°C by Quiniou and Noblet, 1999). In tropical conditions, because of opened or semiopened buildings, animals are more directly exposed to daily variation of the outside climatic conditions (Renaudeau et al., 2003).

The appetite is also affected by sow characteristics such as breed. Little information is available on the effect of breed on VFI of lactating sows (Sinclair et al., 1999). The Creole pig (CR) is the most important local Caribbean pig breed. It is characterized by a low reproductive and growth performance and an apparently good adaptation to harsh climatic conditions encountered in tropical humid areas (Canope, 1982). For this reason, the CR breed was introduced in our experimental unit to study genetics of heat tolerance in pigs. Moreover, considering its high adiposity, the CR pig is an interesting model to study the relationships between body composition and feeding behavior. Furthermore, little information is available on the components of feed-

¹The financial support of the Guadeloupe Region and the European Union social funds is gratefully acknowledged.

²The authors also wish to thank C. Anais, K. Benony, B. Bocage, M. Giorgi, G. Gravillon, A. Racon, F. Silou, and J.-L. Weisbecker for their technical assistance.

³Corresponding author: renaudeau@antilles.inra.fr

Received May 24, 2005.

Accepted October 21, 2005.

ing behavior of lactating sows raised in tropical conditions (Renaudeau et al., 2003) and their variations with season or breed.

The aim of the current study was to evaluate the effect of season on the performance and feeding behavior of Large White (LW) and CR lactating sows. Lactation performance and thermoregulatory aspects were previously studied during 179 lactations (Gourdine et al., 2006). The present paper concerns the feeding behavior aspects obtained on a subgroup of 76 lactations.

MATERIALS AND METHODS

Experimental Design

A total of 179 lactations on 71 multiparous sows (30 CR and 41 LW) divided in 24 successive groups of 9 to 11 LW and CR sows were used in a trial conducted at the INRA experimental facilities in Guadeloupe, French West Indies (latitude 16°N, longitude 61°W). Feeding behavior was recorded only on 17 groups of sows and on 3 to 6 multiparous sows per group; a total of 76 lactations was measured on 23 CR and 17 LW sows. The data covered the period between May 2002 and July 2004. Two seasons were determined a posteriori from climatic measurements: a warm season between November and April ($23.8 \pm 0.8^\circ\text{C}$) and a hot season between May and October ($26.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$). Relative humidity was comparable for both seasons (85%).

Animal Management

An authorization to perform an experiment on living animals was given by the French Ministry of Agriculture. A detailed description of diet composition and management of animals was given in a previous paper (Gourdine et al., 2006). The lactation diet contained 14 MJ of DE per kg, 17.1% CP, and 0.92% crude lysine and was formulated using corn, wheat middlings, and soybean meal in order to meet or exceed amino acids requirements (NRC, 1998). During lactation, feed was distributed once per day and at the same time for both breeds (i.e., between 0700 and 0800) to minimize confounding of eating behavior. Sows had free access to water provided by a low-pressure nipple drinker. Feed allowance was progressively increased by 1 kg each day until d 5 (from 1 kg at d 1 to 5 kg at d 5). Sows were offered feed ad libitum from d 5 to 26. The day before weaning (d 27), sows were allocated 3 kg of feed, which allowed the assumption that they were weighed at weaning with an empty digestive tract.

Measurements

The sows were weighed within 24 h after farrowing and at weaning. Backfat thickness was measured ultrasonically (Agroscan; E.C.M., Angoulême, France) at 65 mm from the midline of the back beside the shoulder and the last rib on each flank, after farrowing and at

weaning. Piglets were individually weighed at birth and every week until weaning (d 28). Electronic measurements of feed intake were made using a trough connected to a load cell and a computer. In addition to the electronic measurement of feed intake, every morning refusals were manually collected and weighed at the same time for both breeds, between 0600 and 0800; and the daily feed intake was determined as the difference between feed allowance and the refusals collected the next morning.

Standing and sitting duration (later named standing) was recorded using an infrared barrier located in the middle of the crate. The equipment did not allow standing and sitting to be distinguished. Individual feeding behavior and standing duration were recorded continuously during the ad libitum feeding period (i.e., from d 5 to 26). Each pen was equipped with a trough weighed continuously with a load cell. A visit corresponded to an unsteady period of the trough detected by the load cell. Signals from the infrared barrier and the load cell were continuously recorded.

Calculations and Statistical Analyses

Feed consumption per visit was calculated as the difference between the amounts recorded just before and just after the visit. For each visit, feed consumption lower than 20 g was considered an artifact due to the movements of the sows on the slatted floor, and it was not taken into account for further calculations. Because of electronic problems on the load cells and some power failures, 3 and 2% of daily recordings from CR and LW sows, respectively, were excluded from our study. Ingestion time of feed per visit corresponded to the difference between the time at the end and at the beginning of the visit. Sows exhibit short pauses during a meal, and these short intervals between visits (IV) must be differentiated from the longer ones between 2 different meals. For this purpose, a meal criterion (MC) defined as the maximum length of within-meal intervals between 2 successive visits was estimated. When 2 successive visits were separated by an interval shorter than MC, visits were merged into the same meal. The MC was estimated for each sow in each ad libitum days of lactation, using the log survivorship curve technique described by Bigelow and Houpt (1988), according to a nonlinear regression model (NLIN Procedure, SAS/STAT, Version 8.1, SAS Inst., Inc., Cary, NC). MC is defined as the breakpoint of the following model:

$$\log y = \begin{cases} a + b \times IV + c \times IV^2 & \text{if } IV \leq MC \\ a + b \times MC + c \times MC^2 & \text{if } IV \geq MC, \end{cases}$$

in which $y = \log(1 - \text{cumulative frequency of IV})$.

According to the nonlinear regression, 92 and 95% of CR and LW individual MC, respectively, were less than or equal to 5 min (Figure 1). Hence, from the calculated value of MC (i.e., 5 min), the following daily parameters of feeding behavior were calculated for each sow: num-



Figure 1. Cumulative distribution function of meal criterion of lactating Creole (dashed line) and Large White (thick line) sows; more than 90% of individual meal criteria were less than 5 min in both breeds.

ber of meals per day, feed intake per day (g), total ingestion time per day (i.e., total duration of all the visits, min), total consumption time of feed (i.e., sum of the ingestion time and within-meal interval, min), rate of feed intake (i.e., total feed intake/total ingestion time, g/min) and feed intake per meal (g).

When a lactation occurred over 2 successive seasons, the lactation of a sow was attributed to the season in which the sow spent the largest number of days in lactation. Two parity groups were constructed, namely 2 to 4 ($n = 38$) and ≥ 4 ($n = 38$). The effects of breed, season of lactation and first order interaction, the effect of group within the effect of season and the effect of parity number, and the random sow effect were tested on the mean lactation performance of sows and their litter, through an analysis of variance using the MIXED Procedure of SAS/STAT (Version 8.1, SAS Inst., Inc., Cary, NC). During the ad libitum period (i.e., between d 5 and 26), a total of 1,592 daily measurements of feeding behavior parameters were measured on 40 sows. These data pooled by sows on a daily basis were analyzed according a linear mixed model variance using the MIXED Procedure of SAS/STAT, including the fixed effects of breed, season of lactation and their interaction, the effect of group within season, the effect of parity number, and a random sow effect. Residual values were computed from the preceding models (without the random sow effect), and residual correlations between lactating performance and mean feeding behavior components were calculated using the CORR Procedure of SAS/STAT. The mean feeding behavior components per sow over the ad libitum lactation period were also calculated according to photoperiod (day vs. night) and were analyzed according to a linear mixed model including the fixed effects of breed, season, photoperiod, and their interactions, the effect of group within season and the random effect of sow. Finally, a mixed model was used to examine the fixed effects of breed, season, lactation stage, and their interactions on the average hourly sow feed intake during lactation. To take into

account the correlations between repeated measurements on the same animal, after testing several time-series covariance structures, a heterogeneous first-order autoregressive structure was selected for both breeds based on Akaike's Information Criterion (Littel et al., 1996). According to the hourly feed intake and hourly ambient temperature patterns, 4 periods were considered: 0600 to 1100 (first peak), 1100 to 1500 (heat stress), 1500 to 2000 (second peak), and the remaining hours. Average feed intake during each period was considered with respect to the total daily feed consumption and was analyzed according to a linear mixed model including the fixed effects of breed, season of lactation and their interaction, the effect of group within season, and the random effect of sow.

RESULTS

The daily variations of ambient temperature and relative humidity (RH) are presented in Figure 2. The daily fluctuation of ambient temperature was similar for the warm and the hot seasons with minimum and maximum values reached at 0600 (21.7 and 24.2°C, respectively) and at 1300 (28.2 and 31.9°C, respectively). Average daily RH and daily variation of RH were similar for both seasons. Contrary to ambient temperature, RH was greatest at about 0600 and lowest at about 1300 (i.e., 97 and 70%, respectively). According to data from the French national meteorological institute (Météo France), the length of the diurnal (here defined as daytime) period was slightly greater during the hot than during the warm season (12.33 vs. 11.67 h).

Whatever the breed, ADFI was depressed ($P < 0.01$) in the hot season during the whole lactation period and over the ad libitum intake period [i.e., from d 5 to 26 (3.46 vs. 4.15 kg and 3.90 vs. 4.67 kg, respectively; Table 1)]. Lactation BW loss was greater ($P < 0.05$), and average piglet BW at weaning tended to be lower ($P = 0.09$) during the hot than during the warm season (19 vs. 12 kg and 6.7 vs. 7.2 kg, respectively). The breed effect on ADFI varied whether expressed per kg/d or per $\text{g} \cdot \text{kg}^{0.75} \cdot \text{d}^{-1}$; ADFI was lower in CR than in LW when it was expressed in kg (3.1 vs. 4.5 kg; $P < 0.01$), but it was similar when it was expressed in $\text{g} \cdot \text{kg}^{0.75}$ (i.e., 69 on average). After farrowing, average BW was lower and average backfat thickness was greater in CR than in LW sows (187 vs. 265 kg, and 40 vs. 22 mm; $P < 0.01$). However, BW loss during lactation was not affected by breed (15 kg on average; $P > 0.20$), whereas the backfat thickness loss was greater in CR sows (4.4 vs. 2.8 mm; $P < 0.05$). Litter size and average piglet BW at weaning were lower in CR than in LW sows (7.9 vs. 9.2 and 6.3 vs. 7.6 kg, respectively; $P < 0.01$). In agreement with these results, milk production was greater in LW sows than in CR sows (6.04 vs. 4.30 kg/d; $P < 0.01$). However, this difference was no longer significant when milk production was considered with respect to metabolic BW ($P > 0.30$). The interaction between breed and season was significant only for ADFI and tended to be signifi-

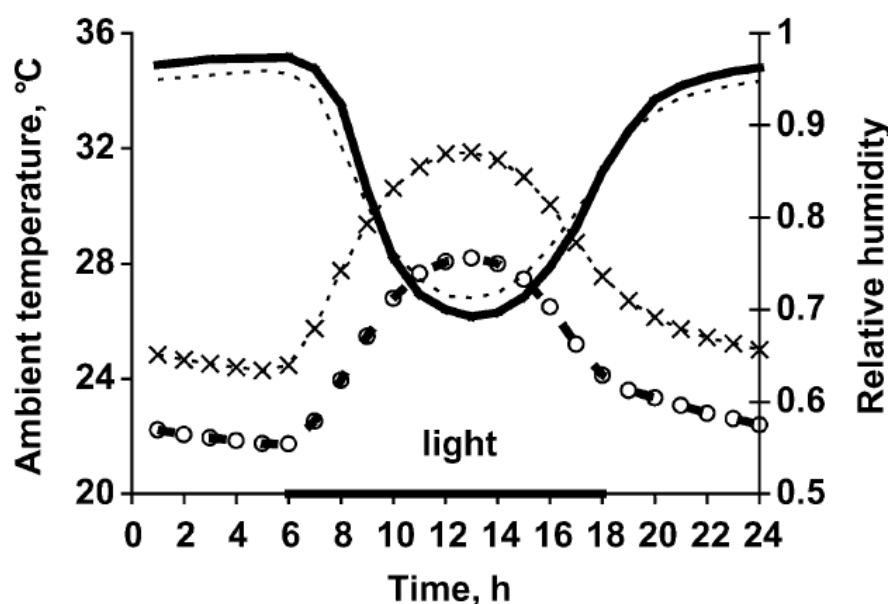


Figure 2. Daily fluctuations of ambient temperature (dashed line with $\circ$ in warm season and dashed line with $\times$ in hot season) and relative humidity (solid line for warm season and dashed line for hot season). The values correspond to the mean hourly ambient temperature and relative humidity between May 2002 and July 2004. Warm season: November 2002 to April 2003 and November 2003 to April 2004; hot season: May 2002 to October 2002, May 2003 to October 2003, and May 2004 to July 2004. Diurnal period: 0620 to 1800 and 0550 to 1810, for the warm and hot seasons, respectively (Météo France data).

cant for average piglet BW at weaning: during the hot season, the reduction of ADFI (-0.30 vs. -1.1 kg/d; $P < 0.05$) and piglet BW at weaning (-100 vs. -900 g; $P = 0.10$) were attenuated in CR as compared with LW sows.

According to the analysis of variance, the number of meals was not affected ($P > 0.60$) by breed or season and averaged 9.0 ± 1.4 meals/d (Table 2). As a consequence and in connection with the seasonal effect on ADFI, the meal size was reduced during the hot season (428 vs. 517 g/meal; $P < 0.01$). The rate of feed intake was not affected by season ($P = 0.85$), and the total ingestion time was reduced ($P < 0.05$) during the hot season by about 7 min/d. Meal size was lower in CR than in LW sows (390 vs. 555 g; $P < 0.01$), and ADFI during the ad libitum period was then lower in CR than in LW sows (3.0 vs. 4.6 kg/d; $P < 0.01$). However, no significant between-breed differences were found when meal size was considered with respect to metabolic body weight ($BW^{0.75}$; $P > 0.40$). The rate of feed intake expressed as g/min or as $\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{min}^{-1}$ was lower (83 vs. 155 g/min or 1.6 vs. 2.4 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{min}^{-1}$; $P < 0.05$), and the daily ingestion time was greater (39 vs. 32 min/day; $P < 0.10$) in CR than in LW sow. Irrespective of breed and season, standing activity averaged 120 min/d.

Meal size and rate of feed intake were lower during the night (430 vs. 530 g/meal and 110 vs. 130 g/min; $P < 0.05$; Table 3). The duration of standing activity was

also lower during the nocturnal period (50 vs. 70 min; $P < 0.01$). Most of the other feeding behavior parameters were affected by a breed $\times$ photoperiod interaction. In LW sows, the number of meals and total feed ingestion time were greater during the nocturnal period than the diurnal period (5.2 vs. 3.7 meals/d and 20 vs. 12 min/d; $P < 0.01$). In contrast, the number of meals and feed ingestion time in CR sows were greater during the diurnal period (5.4 vs. 3.8 meals/d and 24 vs. 16 min/d; $P < 0.01$). Consequently, the diurnal proportion of ADFI was greater in CR than in LW sows (60 vs. 41% ; $P < 0.01$). During the hot season, the reduction in diurnal feed intake was more pronounced in LW than in CR sows ($-1,260$ vs. -220 g; $P < 0.05$).

From the comparison of the hourly feed intakes or variations from hour to hour (between 2400 and 0200), the nycthemeral pattern of feed intake in LW sows (Figure 3) or in CR sows (Figure 4) peaked twice a day in both seasons. The first and the second peaks were observed between 0200 and 0900 and between 1500 and 2100, respectively. On average, about 54 and 32% of the meals in LW sows occurred during the first and the second peaks, respectively. The corresponding values in CR sows were 40 and 35%. According to Figure 5, the hourly feed intake was also affected by breed during the warm season. The early morning peak of feed intake took place at about the same time for both breeds, but

Table 1. Effect of season¹ and breed on performance of lactating sows and their litters (least squares means)

Item	Breed				SEM	Statistical analysis ²
	Creole		Large White			
	Warm season	Hot season	Warm season	Hot season		
No. of lactations	21	29	12	14		
Parity	3.7	3.7	4.1	3.9	15	
Duration of lactation, d	27.8	27.6	28.6	28.4	1.6	
Feed intake						
From farrowing to weaning, g	3,295	3,015	5,002	3,914	385	B**, S**, B×S*
From d 5 to 26, g	3,683	3,341	5,659	4,428	433	B**, S**, B×S*
Feed intake, ³ g·kg ^{-0.75} ·d ⁻¹	68.6	62.7	80.1	61.5	10.1	P*, S**, B×S†
Body weight, kg						
After farrowing	187	186	266	264	11.1	P**, B**, G†
Loss during lactation	12	15	12	22	8	S*
Backfat thickness, mm						
After farrowing	40.3	40.6	21.3	22.1	4.0	P*, B**
Loss during lactation	3.7	5.1	2.4	3.1	3.0	B*, G*
Litter size at weaning	7.6	8.3	9.0	9.5	1.8	B**
Piglet growth rate, g/d	193	191	235	210	28	B**
Weaning BW, kg/piglet	6.4	6.3	8.0	7.1	0.8	B**, S†, B×S†
Milk production ^{3,4}						
kg/d	4.15	4.45	6.20	5.87	0.84	B**
g·kg ^{-0.75} ·d ⁻¹	86.8	93.8	97.9	94.4	17.7	P*

¹Warm season: November to April. Hot season: May to October.

²From an analysis of variance with a linear mixed model including the effects of breed (B), season (S) and interaction, effect of parity number (P), and effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$.

³Metabolic body weight $BW^{0.75} = (BW \text{ at weaning}^{1.75} - BW \text{ at farrowing}^{1.75}) / [1.75 \times (BW \text{ at weaning} - BW \text{ at farrowing})]$ according to equation from Labroue et al. (1999) adapted for lactating sows with 0.75 exponent.

⁴Daily milk production over the first 21 d of lactation was calculated from litter growth rate, litter size between d 1 and 21, and litter BW at birth using equation from Noblet and Etienne (1989).

its size was smaller in CR than in LW sows. Indeed, the proportion of feed intake between 0600 and 1100 was greater in LW than in CR sows (32.8 vs. 22.4%; $P < 0.05$; Table 4). In addition, the second peak took place earlier in CR than in LW sows (between 1200 and 1900 and between 1500 and 2100, respectively). Between 1100 and 1500, the proportion of feed intake was greater in CR than in LW sows (18.3 vs. 8.7%; $P < 0.05$), but no difference was found between 1500 and 2000 (29%; $P > 0.40$; Table 4). During the hot season, the nycthemeral pattern of feed intake was also affected by breed (Figure 6); the proportion of feed intake between 0600 and 1100 did not differ between breeds (34% on average; $P > 0.40$; Table 4). The second peak took place earlier in CR sows (Figure 6); the proportion of feed intake between 1500 and 2000 did not differ between breeds (26% on average; $P > 0.50$). During the hottest period of the day (i.e., 31.9°C between 1100 and 1500), CR sows consumed more feed (630 vs. 246 g; $P < 0.05$) than LW sows. The amount of feed represented 12.8 and 3.0% of the total daily feed intake, in CR and LW sows, respectively (Table 4).

Residual correlations (2 breeds together) among lactation performance of sows and their litter and daily feeding behavior components are given in Table 5. Residual correlations describe correlations between residual values of the performance adjusted by the fixed

effects of breed, season of lactation and their interaction, the effect of group within season, and the effect of parity number. Litter growth rate was positively associated ($P < 0.01$) with the number of meals ($r = 0.45$), ADFI ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75}$, $r = 0.52$) and ingestion time ($r = 0.54$), whereas ADFI was logically associated with ingestion time ($r = 0.84$; $P < 0.01$). Average backfat thickness was negatively associated with meal size and ingestion time ($r = -0.21$ and $r = -0.26$, respectively). According to the regression analysis, the rate of feed intake increased linearly with metabolic BW (Figure 7); each kilogram increase in metabolic BW resulted in a 3.7 g/min increase in the rate of feed ingestion ($R^2 = 0.60$).

DISCUSSION

The 40 sows used in the current study (76 lactations) were a part of a larger group of 71 multiparous sows (179 lactations) for which lactation performance and thermoregulation aspects were given in a previous paper (Gourdine et al., 2006). For the whole lactation period, sows and their litter performance in the present trial were similar to the values obtained in the total study. For instance, in the current study, ADFI and piglet growth rate during the whole lactation were 4.5 kg/d and 220 g/d in LW sows, and 3.1 kg/d and 192 g/d in CR sows, respectively (vs. 4.3 and 216 g/d in LW

Table 2. Effect of season¹ and breed on feeding behavior and duration of standing of lactating sows between d 5 and 26 postpartum (least squares means)

Item	Breed				SEM	Statistical analysis ²
	Creole		Large White			
	Warm season	Hot season	Warm season	Hot season		
No. of lactations	21	29	12	14		
Number of meals/day	9.1	9.3	8.8	8.8	1.5	
Feed intake per day ³						
g	3,273	2,787	5,009	4,161	425	B**, S**
g·kg ^{-0.75}	67.1	57.7	80.6	65.3	10.8	P†, B†, S*
Feed intake per meal ³						
g	428	353	606	504	60	B**, S**, G**
g·kg ^{-0.75}	8.5	7.2	9.4	8.0	1.2	S*, G**
Ingestion time						
min/d	43.7	36.0	34.2	28.4	7.2	B†, S*
min/meal	5.6	4.6	4.0	3.6	0.9	B†, S†, G*
Rate of feed intake ³						
g/min	83	82	156	155	10	B**
g·kg ^{-0.75} ·min ⁻¹	1.6	1.7	2.4	2.4	0.2	B**, G†
Standing duration, ⁴ min/d	120	115	120	121	39	

¹Warm season: November to April. Hot season: May to October.

²From an analysis of variance with a linear mixed model including the effects of breed (B), season (S) and interaction, effect of parity number (P), and effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$.

³Metabolic body weight $BW^{0.75} = (BW \text{ at weaning}^{1.75} - BW \text{ at farrowing}^{1.75}) / [1.75 \times (BW \text{ at weaning} - BW \text{ at farrowing})]$.

⁴Standing duration values include time dedicated for feed consumption and correspond to the means of available values; because of an infrared barrier malfunction, some values were calculated on fewer days than others.

sows, and 3.2 kg/d and 190 g/d in CR sows; Gourdine et al., 2006). According to these observations, we consider that the subgroup of 37 sows used to measure feeding behavior is representative of the group of 71 sows used in the experiment.

Effect of Season on Feeding Behavior of Lactating Sows

In agreement with studies performed in lactating sows of conventional breeds raised in temperature-controlled rooms (Dourmad, 1993; Quiniou et al., 2000a; Renaudeau et al., 2002) or in tropical climates (Renaudeau et al., 2003), we have also measured a bimodal feeding pattern with a first peak in the morning and a second one in the late afternoon. As observed in growing pigs (Feddes et al., 1989), these results confirm that feeding pattern in lactating sows is mainly driven by light change. In our conditions for the morning peak, however, this photoperiod effect was partly confounded with the presence of the staff for the collection of feed refusals and feed distribution. In addition and in agreement with Renaudeau et al. (2003) in LW lactating sows, the feeding pattern is also affected by season and by the daily variation of ambient temperature and RH. In fact, during the hot season, the hourly feed consumption tends to coincide with the minimum daily temperature during the morning and the evening periods (Figure 3). In other words, the sows reduced their feed consumption during the hottest periods of the day

(i.e., between 1000 and 1500), and this decrease was partly counterbalanced by a greater feed intake during the cooler periods of the day (i.e., between 1700 and 2400, and between 0100 and 0800). One consequence of this adaptation is a change in the nycthemeral pattern of feed intake; in our study, more than one-half of the ADFI of LW sows occurred during the night period. This result is in accordance with previous values obtained in LW sows and in our experimental station (Renaudeau et al., 2003), but in contradiction with results obtained also in LW sows by Quiniou et al. (2000a) and Renaudeau et al. (2002) with temperatures kept constant during the day. These authors reported an increase in the diurnal proportion of feed intake with the ambient temperature. These results suggest that the proportion of diurnal feed intake also depends on whether daily temperature is kept constant or fluctuates. Quiniou et al. (2000b) reported that feed intake of lactating LW sows was less affected by high temperatures when ambient temperature fluctuated between 25 and 33°C than when it was kept constant at 29°C (4.7 vs. 3.5 kg). In the current study, even if the lower feed intake during the hot periods of the day was counterbalanced by a greater feed intake during the cool periods of the day, daily feed intake is critically lower than the value reported by Quiniou et al. (2000b; i.e., 4.2 vs. 4.7 kg) between 25 and 33°C for uncontrolled relative humidity ranging between 50 and 60%. It can be suggested that, in tropical humid conditions, feeding nycthemeral pattern is affected by photoperiod, temper-

Table 3. Effect of season,¹ breed, and light pattern on feeding behavior and duration of standing of lactating sows between d 5 and 26 postpartum (least squares means)

Item	Breed				SEM ²	Statistical analysis ³
	Creole		Large White			
	Warm season	Hot season	Warm season	Hot season		
No. of lactations	21	29	12	14		
Number of meals						
Day	5.4	5.5	4.2	3.3	1.6	S×L*, B×L**
Night	3.6	4.0	4.7	5.9		
Feed intake, g/d						
Day	2,039	1,820	2,666	1,402	648	B**, S**, S×L*, B×L**, B×S×L*
Night	1,264	1,068	2,766	2,579		
Diurnal proportion of feed intake ⁴	0.62	0.59	0.46	0.36	0.09	B**, S†
Feed intake, g/meal						
Day	492	400	738	501	120	B**, S**, L**, S×L*
Night	362	319	574	476		
Ingestion time, min/d						
Day	26.4	21.2	16.3	9.6	7.6	S*, B×L**
Night	18.3	13.7	20.1	20.5		
Rate of feed intake, g/min						
Day	85	107	166	156	48	B**, L*, G*
Night	75	93	139	132		
Standing duration, ⁵ min/d						
Day	64	90	58	68	31	B*, L**, L×S*, B×S×L**, G**
Night	47	48	46	61		

¹Warm season: November to April. Hot season: May to October.²Except for diurnal proportion of feed intake, these SEM data apply to day and night.³From an analysis of variance with a linear mixed model including the effects of breed (B), light (L; day vs. night), season (S; warm vs. hot) and interaction, and effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$.⁴The effect of light was excluded from the analysis.⁵Standing duration values include time dedicated for feed consumption and correspond to the means of available values; because of an infrared barrier malfunction, some values were calculated on fewer days than others.

ature, and humidity (alone or in interaction with ambient temperature). In summary, the feeding pattern of lactating sows reared in tropical conditions is driven by both light intensity and daily temperature and humidity changes.

To our knowledge, there is limited information on the meal criterion in lactating sows. The meal criterion in the current study (i.e., 5 min) was similar to the study of Renaudeau et al. (2003) in the same experimental facilities but greater than the 2 min value chosen by Quiniou et al. (2000a) and Renaudeau et al. (2002), using a similar electronic trough but in other facilities. According to Renaudeau et al. (2003), this discrepancy between the 2 sets of results could be partly explained by the fact that the trough was fixed directly on the slatted floor in the tropical conditions, which made it more sensitive to sow's movements and more cancelled visits (<20 s). Moreover, it has been shown that an overestimation of the meal criterion has little effect on the feeding pattern and the number of meals, whereas an underestimation results in an important increase of the number of meals (Dourmad, 1993; Renaudeau et al., 2002). Subsequently, results in the current study can be compared with literature results usually obtained with shorter meal criteria.

Over the ad libitum feeding period, the daily number of meals (i.e., 9.0 meals/d) is consistent with the value obtained by Renaudeau et al. (2003; i.e., 8.4 meals/d). In accordance with these authors, the reduction in ADFI during the hot season was related to a reduction in meal size, whereas the number of meals remained constant. In fact, Quiniou et al. (2000a) using several levels of ambient temperatures (18 to 29°C) suggested that the decrease of feed intake is related first to a reduction of meal size, second to a reduction of both meal size and frequency as temperature increases. In the current study, the rate of feed intake in LW sows is in agreement with the results of Quiniou et al. (2000a) and Renaudeau et al. (2002) in controlled hot conditions, and Renaudeau et al. (2003) in tropical conditions. In agreement with these authors, no significant effect of season on rate of feed intake was observed in the current study. Consequently, the lower total ingestion time measured during the hot season was directly connected to the reduced ADFI. However, time spent in sitting or in standing positions was not affected by season. As described in a recent literature review (Renaudeau et al., 2005a), it can be estimated that about 50% of standing time in lactating sow is dedicated to feed consumption. In addition, Renaudeau et al. (2002)

476

Gourdine et al.

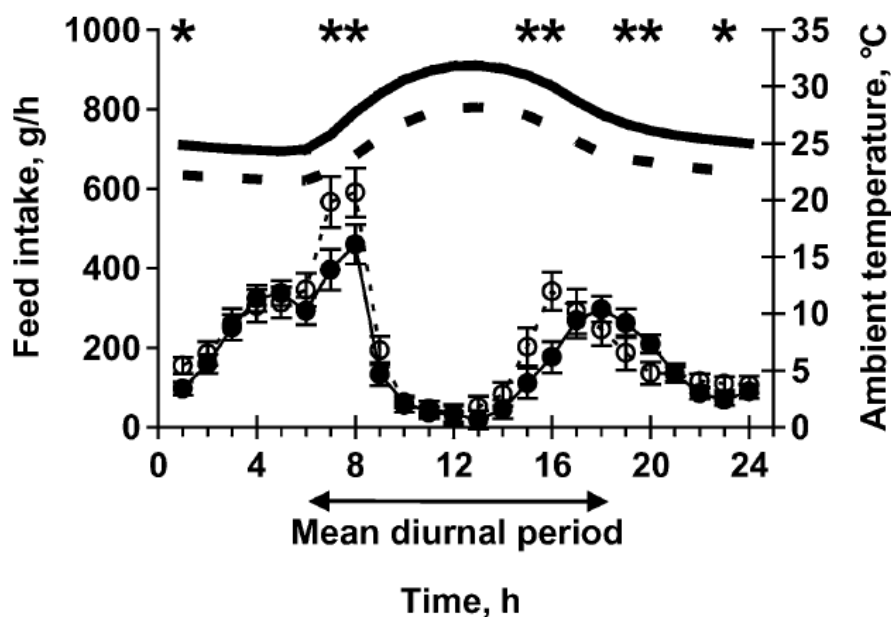


Figure 3. Effect of season (○ = warm season; ● = hot season) on the hourly feed intake in lactating Large White sows; each point is the least squares mean of 12 sows in the warm season and 14 sows in the hot season; daily ambient temperature (dashed line = warm season; solid line = hot season); * = times when hourly feed consumption was affected ($P < 0.05$) by season.

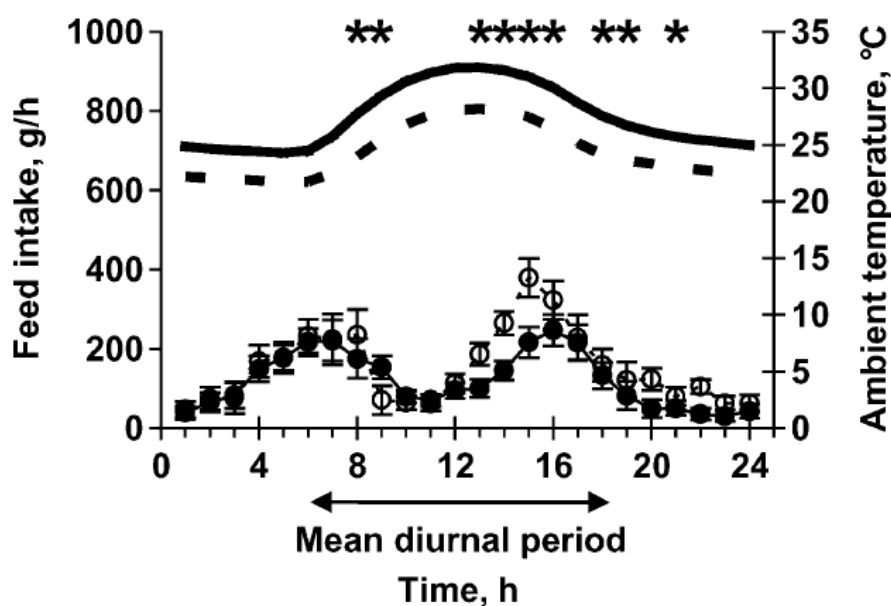


Figure 4. Effect of season (○ = warm season; ● = hot season) on the hourly feed intake in lactating Creole sows; each point is the least squares mean of 12 sows in the warm season and 14 sows in the hot season; daily ambient temperature (dashed line = warm season; solid line = hot season); * = times when hourly feed consumption was affected ($P < 0.05$) by season.

Lactating sow feeding behavior in the tropics

477

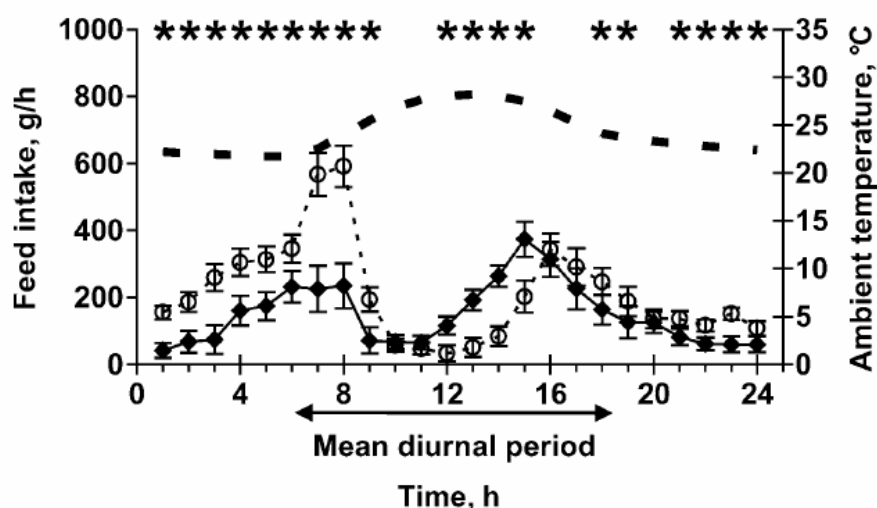


Figure 5. Effect of breed (○ = Large White sow; ◆ = Creole sow) on the hourly feed intake in lactation during the warm season; each point is the least squares mean of 12 Large White sows and 21 Creole sows; dashed line = daily ambient temperature; * = times when hourly feed consumption was affected ($P < 0.05$) by breed.

found an increase in water consumption in hot conditions. Subsequently, even if drinking behavior was not recorded in the current study, it can be suggested that the increase in drinking activity during the hot season may explain the lack of season effect on total standing activity.

Effect of Breed on Feeding Behavior of Lactating Sows

To our knowledge, little information is available on the effect of breed on feeding behavior in lactating sows. Comparing a conventional breed of sows (i.e., LW) to fat-type sows (i.e., CR), our results show a significant breed effect on feeding behavior. In particular, CR sows

consumed significantly less feed than LW sows. According to the lack of breed effect on ADFI and on milk production when it was expressed per $\text{g} \cdot \text{kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$, this between-breed difference would mainly be explained by metabolic body size differences (Gourdine et al., 2006).

In the current study, the reduction in the appetite of CR sows was explained by a reduction in meal size, which was not compensated by an increase in the number of meals. Therefore, no breed difference was found when meal size was considered with respect to metabolic BW. Consequently, as shown for ADFI, the lower meal size of CR sows would be partly due to the between-breed difference in BW. In contrast, in a between-breed comparison involving 80 group-housed growing pigs (40 LW and 40 CR) within a similar BW

Table 4. Effect of season¹ and breed on feeding behavior of lactating sows between d 5 and 26 postpartum (least squares means)

Item	Breed				SEM	Statistical analysis ²
	Creole		Large White			
	Warm season	Hot season	Warm season	Hot season		
No. of lactations	21	29	12	14		
Proportion of feed intake per period, %						
0600 to 1100	22.4	34.9	32.8	32.4	6.8	S**, B×S†
1100 to 1500	18.3	12.8	8.7	3.0	4.3	B*, S†
1500 to 2000	31.5	27.2	26.4	25.3	6.2	
0000 to 0600 and 2000 to 2400	32.8	39.3	28.3	25.0	9.1	B†

¹Warm season: November to April. Hot season: May to October.

²From an analysis of variance with a linear mixed model including the effects of breed (B), season (S), and interaction, and effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$.

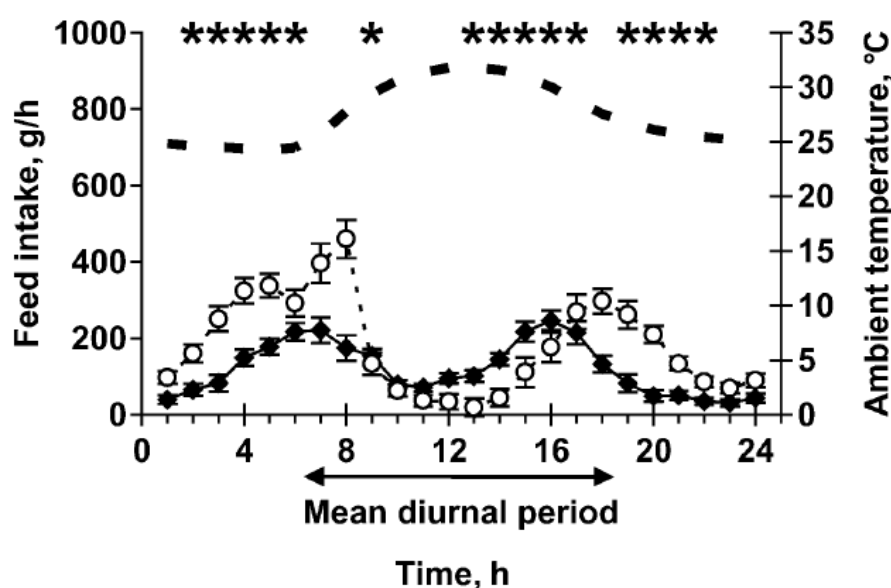


Figure 6. Effect of breed (○ = Large White sow; ◆ = Creole sow) on the hourly feed intake in lactation during the hot season; each point is the least squares mean of 14 Large White sows and 29 Creole sows; dashed line = daily ambient temperature; * = times when hourly feed consumption was affected ($P < 0.05$) by breed.

range (i.e., from 45 to 90 kg), Renaudeau et al. (2005b) found a greater meal size in CR pigs associated with a reduced number of meals. Similar results were also found by Hyun et al. (2001) in a comparison involving Meishan and LW group-housed pigs. Such a breed difference could be related to the housing conditions driving social competition phenomena (Nielsen and Lawrence, 1993). However, in individually kept Meishan and LW growing pigs, Quiniou et al. (1999) also found a reduced number of meals counterbalanced by a greater meal size in fat Meishan than in lean LW pigs. This breed effect on feeding behavior may indicate differ-

ences in maturity (mouth and gut sizes) and body composition: Meishan or CR pigs are older and closer to mature BW than conventional breeds at the same BW. As reviewed by Woods et al. (1998), the regulations of meal number and meal size are influenced by many factors, and their impacts are directly or indirectly modulated by the amount of adiposity in the body. Moreover, the relationship between body composition and feeding behavior seems to be different between growing pigs and lactating sows.

In the current study, a significant effect of breed on the rate of feed intake was observed. As reviewed by

Table 5. Residual correlation between the sow's body condition after farrowing, litter growth rate, and components of feeding behavior (the 2 breeds together)¹

	Feeding behavior				Performance in lactation		
	ADFI	FIM	IT	RFI	BW ^{0.75}	ABT	LGR
Number of meals (NM), meals/d	0.18	-0.60	-0.02	0.04	-0.31	0.21	0.45
ADFI, g·kg ^{-0.75}	—	0.57	0.84	-0.15	-0.18	-0.10	0.52
Feed intake per meal, g·kg ^{-0.75} (FIM)	—	—	0.64	-0.22	0.15	-0.21	0.05
Ingestion time, min/d (IT)	—	—	—	-0.53	-0.07	-0.26	0.54
Rate of feed intake per minute, g·kg ^{0.75} (RFI)	—	—	—	—	-0.04	0.22	-0.24
Metabolic BW in lactation, kg ^{0.75} (BW ^{0.75})	—	—	—	—	—	-0.21	-0.02
Average backfat thickness in lactation, mm (ABT)	—	—	—	—	—	—	-0.09
Litter growth rate, g/d (LGR)	—	—	—	—	—	—	—

¹Residual values for correlation analysis were obtained from an ANOVA with a linear mixed model including the effects of breed, season, and their interaction, the effect of group of sows within season and the effect of parity number as fixed effect; NM: number of meals per day; ADFI expressed per metabolic BW; FIM: feed intake per meal expressed per metabolic BW; IT: ingestion time; RFI: rate of feed intake expressed per metabolic BW; BW^{0.75}: sow metabolic BW during lactation; ABT: sow average backfat thickness during lactation; LGR: litter growth rate; correlation coefficients with absolute value greater than 0.20 (shown in bold) are significantly different from zero ($P < 0.05$); a total of 76 observations were used for each correlation.

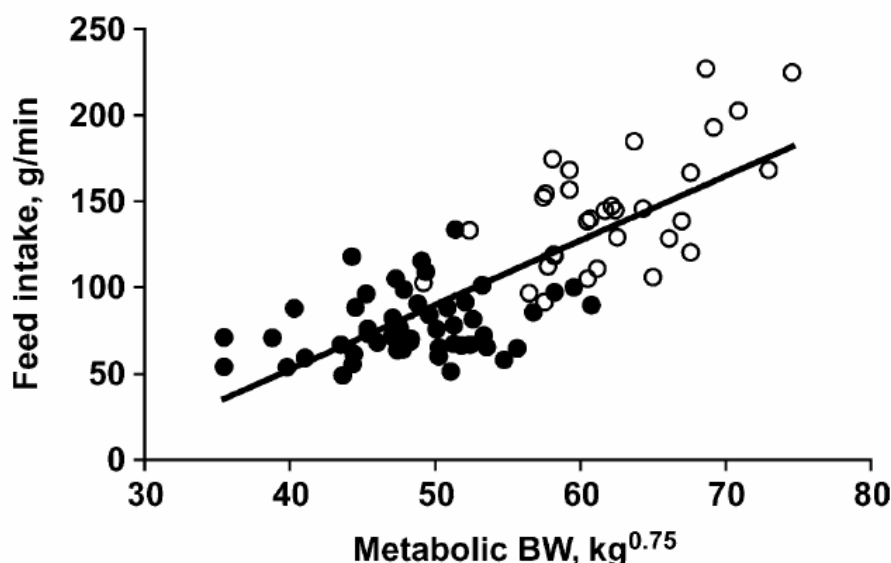


Figure 7. Relationship between rate of feed intake (RFI) and metabolic BW [RFI = $-97.3 (\pm 18.4) + 3.74 (\pm 0.34) \times \text{BW}^{0.75}$; $R^2 = 0.60$; $\circ$ = Large White; $\bullet$ = Creole].

Quiniou et al. (2000c), the rate of feed intake proportionally increased with BW when growing pigs and lactating sows were considered together (i.e., +5 g/min per extra 10 kg increase in BW). In the current study, a linear relationship was also found, corresponding to an increase of 9 g/min per extra 10 kg of BW (Figure 7). The increase in the rate of feed intake with BW could be explained by the increase of mouth size (ingestion capacity) with BW (between and within breeds). Moreover, in accordance with the results of Renaudeau et al. (2005b) in growing pigs, CR had a lower rate of feed intake even when it was expressed with respect to metabolic BW. These results suggest that apart from BW, other factors such as body composition and mouth and gut characteristics may also affect the rate of feed intake of lactating sows.

Breed to Season Effect on the Feeding Behavior of Lactating Sows

Our study shows that nycthemeral feeding pattern is influenced by breed (Figures 5 and 6). In CR sows, the second peak took place earlier than in LW sows, so that the proportion of ADFI consumed during the hottest period of the day was greater in CR than in LW sows. These results suggest that CR sows may have a better ability to tolerate high ambient temperature than LW sows. This was confirmed by the lower rectal temperature value in CR than in LW sows during lactation (38.8 vs. 39.1°C on average, Gourdine et al., 2006). The attenuated effect of hot season on ADFI in CR sows was mainly related to the between-breed difference in thermotolerance. The superior thermoregulatory abil-

ity of CR as compared with LW was also reported in growing pigs (Renaudeau, 2005). In 2 or 3 consecutive thermal challenge experiments involving 12 LW and 12 CR growing pigs, the author reported that in response to heat challenge (from 22 to 34°C between 0900 and 1500, and from 34 to 22°C between 1500 and 2100), the upper critical temperature, above which rectal temperature increases, was greater, and the increase of respiration rate and rectal temperature above 30°C were lower in CR than in LW pigs. The better ability to tolerate heat in CR breed may be the result of a reduced heat production, an increased capacity for loss of heat in the environment or some combination of both. Clearly, the low metabolic rate resulting from the reduced BW in CR sows can be considered as a major contributing factor to thermotolerance. Moreover, it is not excluded that CR sows may have greater ability to lose heat. Nonevaporative heat loss is partly dependent on cutaneous heat conductivity of the animal. When ambient temperature exceeds the lower critical temperature, pigs increase their heat conductivity by changing the blood flow to skin vessels. Berbigier (1975) showed better nonevaporative heat loss capacity in crossbred CR $\times$ LW pigs than in purebred LW pigs. However, the results were obtained on a low number of observations (4 piglets), and further investigations are needed to understand the biological mechanisms that make the CR breed better adapted to heat conditions.

IMPLICATIONS

The present results confirm the effect of high ambient temperature and humidity fluctuations on feed intake

and feeding behavior of lactating sows reared in tropical climatic conditions; a larger fraction of the daily intake was consumed during the night and during the cooler periods of the day. This also means that to maximize daily feed intake, feed should be made available at these preferred periods of feed consumption. Moreover, our results indicate that feed intake and feeding behavior in lactating sows are also affected by breed, principally to body weight differences between breeds. Finally, in our experimental conditions a better acclimation to daily high temperature and a better heat tolerance were found in Creole sows, in the sense that unlike Large White sows, they managed to eat under heat stress. Further studies are then required to characterize the adaptation of lactating sows exposed to fluctuating temperature and the mechanisms of heat tolerance.

LITERATURE CITED

- Berbigier, P. 1975. Echanges thermiques au niveau de la peau des porcelets élevés en climat tropical 1. Influence des conditions climatiques et de la race. *Ann. Zootech.* 24:423-432.
- Bigelow, J. A., and T. R. Houpt. 1988. Feeding and drinking patterns in young pigs. *Physiol. Behav.* 43:99-109.
- Canope, I. 1982. Etude des interactions entre le type génétique et le régime alimentaire chez le porc en milieu tropical humide. Ph.D. Diss. Institut National Polytechnique de Toulouse, France.
- Dourmad, J. Y. 1993. Standing and feeding behaviour of the lactating sow: Effect of feeding level during pregnancy. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 37:311-319.
- Feddes, J. J. R., B. A. Young, and J. A. DeShazer. 1989. Influence of temperature and light on feeding behavior of pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 23:215-222.
- Gourdine, J. L., J. P. Bidanel, J. Noblet, and D. Renaudeau. 2006. Effects of breed and season on performance of lactating sows in a tropical humid climate. *J. Anim. Sci.* 84:360-369.
- Hyun, Y., B. F. Wolter, and M. Ellis. 2001. Feed intake pattern and growth performance of purebred and crossbred Meishan and Yorkshire pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 14:837-843.
- Labroue, F., L. Maignel, P. Sellier, and J. Noblet. 1999. Consommation résiduelle chez le porc en croissance alimenté à volonté: Méthode de calcul et variabilité génétique. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 31:167-174.
- Littel, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, and R. D. Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed Models. 1st ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Nielsen, B. L., and A. B. Lawrence. 1993. The effect of group size on the behaviour and performance of growing pigs using computerised single-space feeders. *Pig News Inf.* 14:127N-129N.
- Noblet, J., and M. Etienne. 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *J. Anim. Sci.* 67:3352-3359.
- NRC. 1998. Nutrient Requirement of Swine. 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Quiniou, N., S. Dubois, Y. Le Colzer, J.-F. Bernier, and J. Noblet. 1999. Effect of growth potential (body weight and breed/castration combination) on the feeding behaviour of individually kept growing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 61:13-22.
- Quiniou, N., and J. Noblet. 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 77:2124-2134.
- Quiniou, N., D. Renaudeau, S. Dubois, and J. Noblet. 2000a. Influence of high ambient temperatures on feed intake and feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Anim. Sci.* 70:471-479.
- Quiniou, N., D. Renaudeau, S. Dubois, and J. Noblet. 2000b. Effect of diurnally fluctuating high ambient temperatures on performance and feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Anim. Sci.* 71:571-575.
- Quiniou, N., D. Renaudeau, A. Collin, and J. Noblet. 2000c. Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques. *INRA Prod. Anim.* 13:233-245.
- 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. *Anim. Res.* 54:81-93.
- Renaudeau, D., M. Giorgi, F. Silou, and J. L. Weisbecker. 2005b. Influence du climat tropical et du type génétique sur les performances zootechniques et le comportement alimentaire du porc en croissance entre 45 et 90 kg. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 37:259-266.
- Renaudeau, D., J. L. Gourdine, N. Quiniou, and J. Noblet. 2005a. Feeding behaviour of lactating sows in hot conditions. *Pig News Inf.* 26:17N-22N.
- Renaudeau, D., N. Quiniou, S. Dubois, and J. Noblet. 2002. Effect of high ambient temperature and dietary protein level on feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Anim. Res.* 51:227-243.
- Renaudeau, D., J. L. Weisbecker, and J. Noblet. 2003. Effect of season and dietary fibre on feeding behaviour of lactating sows in a tropical climate. *Anim. Sci.* 77:429-437.
- Sinclair, A. G., J. M. Shaw, S. A. Edwards, S. Hoste, and A. McCartney. 1999. The effect of dietary protein level on milk yield and composition and piglet growth and composition of Meishan synthetic and European White breeds of sow. *Anim. Sci.* 68:701-708.
- Woods, S. C., R. J. Seeley, J. Porte, and M. S. Schwartz. 1998. Signals that regulate food intake and energy homeostasis. *Science* 280:1378-1383.

2.6. Principaux enseignements de la Publication 3

En complément de la Publication précédente (Publication 2), la mesure du comportement alimentaire a permis de mieux comprendre les différences de « pattern » alimentaire associé aux effets du type génétique et du climat tropical sur la consommation d'aliment des truies en lactation.

En accord avec la bibliographie, la cinétique de la prise alimentaire de nos truies allaitantes montre une répartition bimodale au cours du nyctémère avec un pic d'alimentation le matin, et un second en fin d'après-midi. Dans nos conditions expérimentales, le comportement alimentaire des truies LW est essentiellement nocturne : les truies réduisent leur prise alimentaire durant les périodes les plus chaudes de la journée avec une compensation lors des périodes fraîches. D'un point de vue pratique, la capacité des truies LW à adapter leur prise alimentaire en fonction de la température pourrait être utilisée pour privilégier des distributions d'aliment dans les périodes les plus fraîches de la journée. La fréquence des repas n'étant pas affectée par la saison, la réduction de l'ingestion d'aliment observée en saison chaude se traduit par une réduction de la taille des repas et de la durée d'ingestion.

Ce travail met en évidence d'importantes différences entre les deux types génétiques. Contrairement aux truies LW, les CR ont une activité alimentaire importante aux périodes les plus chaudes de la journée, ce qui conforte les suggestions des résultats précédents (Publication 2) sur une meilleure tolérance à la chaleur des truies CR, et qui explique l'effet atténué de la saison sur la consommation d'aliment des CR. Par conséquent, la proportion de consommation diurne est plus élevée chez les CR. Le plus faible appétit des truies CR par rapport aux LW se traduit par une réduction de la taille des repas qui n'est pas compensée par un nombre plus élevé de repas. La vitesse d'ingestion des truies CR est aussi plus faible que celle des LW. Ces différences de comportement alimentaire entre les deux types génétiques peuvent s'expliquer par une différence de besoins et/ou par des différences de composition corporelle.

3. Etude expérimentale 3

3.1. Introduction à l'étude expérimentale 3

En milieu tempéré, une baisse des performances de reproduction est généralement observée pendant la période estivale. Elle se traduit principalement par une réduction de la productivité numérique des truies via un allongement des périodes « improductives » (intervalle sevrage-oestrus – ISO - ou intervalle sevrage saillie fécondante - ISSF) qui a des répercussions économiques importantes pour l'éleveur. Les problèmes de reproduction des truies observés après le sevrage sont en grande partie liés à un effet indirect du climat sur les performances de lactation et notamment sur la mobilisation des réserves.

Nos études précédentes montrent qu'en climat tropical humide, les performances de lactation des truies LW sont fortement réduites au cours de la saison chaude (Publications 1, 2 et 3). De ce fait, il est probable que le climat tropical pénalise aussi les performances de reproduction de la truie. A notre connaissance, les effets du climat tropical humide sur les performances de reproduction après le sevrage restent encore mal connus.

Dans cette 3^{ème} étude expérimentale, nous nous sommes principalement intéressés aux performances de reproduction de la truie LW en relation avec son rang de portée et ses performances durant la lactation précédente. Pour cela nous disposions d'une base de données contenant des enregistrements sur 1 181 saillies et 888 mises bas mesurées sur un total de 255 truies LW.

3.2. Publication n°4

Effects of season, parity and lactation performance on reproductive performance of sows in a tropical humid climate

Jean-Luc Gourdine, Hélène Quesnel, Jean-Pierre Bidanel et David Renaudeau

(acceptée pour publication à Asian-Australasian Journal of Animal Science)

Résumé :

L'objectif de cette étude a été d'analyser les effets du climat et du rang de portée sur les performances de reproduction des truies Large White élevées en milieu tropical humide. Cette étude a été conduite au sein de l'Unité Expérimentale en Production et Santé Animale du centre INRA de la Guadeloupe (Antilles françaises, latitude 16°N, longitude 61°O) entre Janvier 1993 et Décembre 2003. Les performances de reproduction sont particulièrement affectées par les variations saisonnières du climat tropical humide. Contrairement aux performances en lactation, les truies primipares sont plus sensibles que les truies multipares. En effet, leur retour en chaleur après le sevrage est retardé et le taux de conception est plus faible. Par ailleurs, les performances en lactation sont susceptibles d'agir directement ou en combinaison avec les changements climatiques sur les performances de reproduction, et en particulier sur les jeunes truies. Une consommation alimentaire moyenne journalière « élevée » réduit le risque d'avoir un retour à l'oestrus retardé ($P < 0,05$). La condition corporelle à la mise bas (poids et épaisseur de lard dorsal) affecte l'intervalle entre le sevrage et l'oestrus, ainsi que l'intervalle sevrage - saillie fécondante.



Asian-Aust. J. Anim. Sci.
Vol. 19, No. 7 : 0000 - 0000
July 2006

www.ajas.info

Effect of Season, Parity and Lactation on Reproductive Performance of Sows in a Tropical Humid Climate

J. L. Gourdine, H. Quesnel¹, J-P. Bidanel² and D. Renaudeau*

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité de Recherches Zootechniques 97170 Petit Bourg
Guadeloupe, French West Indies, France

ABSTRACT : The aim of this study was to analyze post-weaning reproductive performance of Large White sows in relation to season, parity and their lactation performance under tropical conditions in Guadeloupe (French West Indies, 16° Lat. N, 61° Long. W.). This work was based on data recorded in the experimental unit of INRA from January 1993 to December 2003. Two seasons were determined *a posteriori* from climatic parameters recorded continuously in a station close to the experimental unit. Mean ambient temperature was higher during the hot season than the warm season (26°C vs. 24°C) but relative humidity was comparable for both seasons (i.e. 87% on average). Season had a significant effect on all reproductive parameters analyzed. Primiparous sows weaned in the hot season had a higher probability of a prolonged weaning to estrus interval, WEI (odds ratio was 4.1; $p < 0.01$) but multiparous sows were not affected. A higher probability of a prolonged weaning to conception interval, WCI (odds ratio > 2.5 , $p < 0.01$) and a lower subsequent farrowing rate (-10% , $p < 0.01$) were found for sows weaned in the hot season. A higher daily feed intake during lactation reduced the probability of a prolonged WEI ($p < 0.05$). Body weight and average back-fat thickness at farrowing affected WEI and WCI ($p < 0.05$), whereas body weight and average backfat thickness change in lactation did not. This study confirms the negative effects of the hot season on primiparous reproductive performance. It also indicates that lactation performance influences sow non-productive period. (**Key Words :** Reproductive Performance, Sow, Parity, Tropical Climate)

INTRODUCTION

In commercial farms, nowadays, sows generally exhibit a fertile estrus within 7 d after weaning (Soede et al., 2000). However, estrus is delayed in a variable proportion of sows. Nutritional deficit during lactation is well known to increase the weaning to estrus interval, especially in primiparous sows (Vesseur et al., 1994; Whittemore, 1996). Lower feed intake in lactation and higher body weight loss have been found to be associated also with a lower conception rate (Kirkwood et al., 1987) and a reduced litter size (Hughes, 1993). As reviewed by Quesnel and Prunier (1995), reproductive performance is also affected by sow management (lactation length, feed characteristics), animal

related factors (milk production, genotype) and seasonal factors (temperature, photoperiod, humidity). In seasonal breeders, such as the European wild sow, changing photoperiod regulates the reproduction mechanism, through variations in melatonin secretion by the pineal gland. The melatonin profile of domestic sow is also influencing by season and Peltoniemi et al. (1999) concluded photoperiod as the primary environmental factor influencing the lower reproductive performance in summer. In other temperate climates and in climatic chambers, the combined negative effects of the ambient temperature and photoperiod contribute to affect the reproductive performance of sow (review by Prunier et al., 1996). Characteristics of tropical humid climate differ from temperate climates, particularly low changes in photoperiod and high variations in ambient temperature and relative humidity among seasons (Berbigier, 1988). Limited information is available on the effect of season on the reproductive performance of sows rearing in a tropical humid area. In Thailand, Tantasuparuk et al. (2000a) showed that the combined effects of high temperature and humidity play an important role in seasonal changes of sow reproductive efficiency. The aim of this

* Corresponding Author: D. Renaudeau. Tel: +590-(0)-590255428, Fax: +590-(0)-590255936, E-mail: David.Renaudeau@antilles.inra.fr

¹ Unité Mixte de Recherches Systèmes d'Elevage, Nutrition Animale et Humaine, 35590 Saint-Gilles, France.

² Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78 352 Jouy-en-Josas Cedex, France.

Received September 21, 2005; Accepted February 15, 2006

study is to investigate some factors affecting sow reproductive performance, including season and parity influences, as well as the effect of lactation performance. Analyses were performed from data recorded over an eleven-year period in the tropical humid context of the experimental herd of INRA in Guadeloupe F.W.I (16° Lat. N., 61° Long. W.).

MATERIALS AND METHODS

Data collection and animal management

The data were collected in an INRA experimental herd located in the humid tropical area (Guadeloupe, French West Indies, 16° Lat. N., 61° Long. W.) from January 1993 to December 2003. A total of 1,181 mating and 888 farrowing records (255 Large White sows) were available over the whole period considered. During the gestation period, sows were restrictively fed with a conventional diet based on corn, soybean, wheat middling, and wheat bran and containing 13 MJ/kg of digestible energy, 14% crude protein and 0.55% lysine. Between d 30 post-weaning and farrowing, sows were housed in groups of four animals and were daily given 3 kg of the gestation diet. Ten days before farrowing, the animals were moved to a semi open farrowing unit. The lactation diet contained 14 MJ/kg of digestible energy, 17.3% crude protein and 0.83% lysine and was formulated using corn, wheat middling, and soybean to meet or exceed amino acids requirements (National Research Council, 1998). On the farrowing day (d 0), sows received 1 kg of the gestation diet. Feed allowance was progressively increased by 1 kg each day until d 5. Over these first 4 d *post-partum*, the proportion of gestation diet decreased regularly (100, 75, 50, 25 and 0%, on d 0, d 1, d 2, d 3 and d 4, respectively) with the increase in the lactation diet. Sows were offered feed *ad libitum* from d 5. Sows were fed once daily at 07:00 and had free access to water from a low-pressure nipple drinker. Feed refusals were daily weighed. Cross fostering was practiced within the first 48 h after birth in order to standardize litter size to 10 or 11 piglets. Creep feed (15.3 MJ/kg of digestible energy, 20% crude protein and 1.47% lysine) was provided for piglets from 21 d of age. Lactation length was approximately 4 weeks (27.9±3.1 d). At weaning, sows were moved into individual stalls located in front of the boars' pens. During the first 14 d after weaning, sows were observed twice daily in presence of a mature boar for the onset of standing estrus. Other signs of estrus such as vulva swelling, reddening or reaction to back-pressure were also checked. Once sows stood to be mounted by a boar, they were inseminated twice with a maximum 24-h interval, using either supervised natural mating (NM) or artificial insemination (AI). A large part of seminal doses came from

the experimental unit (i.e. 88%) and the remaining came from selected purebred boars herd. The two repeated inseminations during the estrus were considered as the same insemination event. Sows not detected in estrus within 14 d after weaning were checked for signs of estrus once daily. Pregnancy diagnosis was performed using boar passage and confirmed by ultrasonography 3 weeks after insemination. Puberty was checked each day by observation of vulva reddening, swelling and response to back pressure and gilts were mated at the second or third post-pubertal estrus after a synthetic progestin treatment. Whatever the parity number, reasons for sow culling were conception failure after second remating (8.4%), small litter size (11.2%) and health problem (80.4%).

Measurements

Ambient temperature and relative humidity were continuously recorded (one measure every 30 s) from a meteorological station (Campbell Scientific Ltd., Shepshed, UK) close to the experimental unit. Sows were weighed and backfat thickness was measured ultrasonically (Agroscan, E.C.M., Angoulême, France) 10 d before and 1 d after farrowing, and at weaning. Backfat thickness measurements were carried out at 65 mm from the midline of the point beside the shoulder and the last rib on each flank. Average backfat thickness was calculated as the average of measurements on the two sites. Piglets were individually weighed at birth and every week until weaning.

Traits and statistical analyses

The 24 h maximum, minimum and mean of ambient temperatures and relative humidities were averaged per month. A principal component analyze and a hierarchical classification (SPAD-TM®, 1993) were used to discriminate seasons over year with 24 h mean temperature and relative humidity, diurnal changes in temperature and in relative humidity.

During the lactation period, sow's daily feed intake was determined as the difference between feed allowance and refusals. The studied variables for reproductive performance were the interval from weaning to estrus (WEI), the interval from weaning to conception (WCI), which was defined as the number of days between weaning and successful insemination; the farrowing rate (FR), which is defined as the proportion of inseminated sows that farrowed related to the total number of inseminated sows (including gilts and sows that were culled before successful farrowing) and the subsequent farrowing rate, SFR, which represents the occurrence of successful inseminations at the first estrus after weaning and then it excludes data from gilts that have experienced their first insemination. A total of ten sows (3 multiparous and 7 primiparous sows) with a

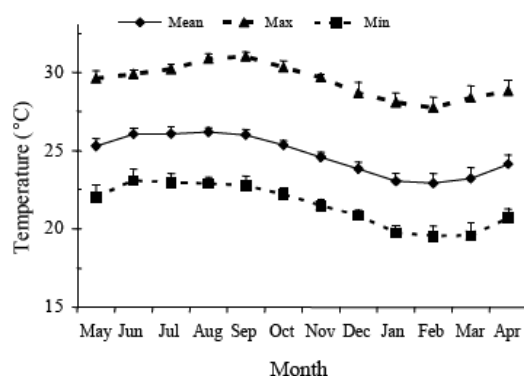


Figure 1. Seasonal variation ($\pm$ s.d.) in ambient temperature between January 1994 and December 2003; warm season: November to April; hot season: May to October.

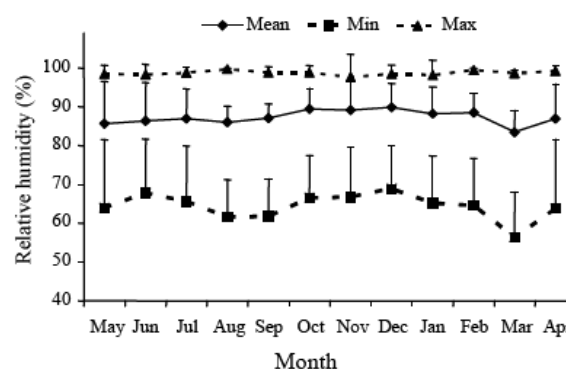


Figure 2. Seasonal variation ($\pm$ s.d.) in relative humidity between January 1994 and December 2003; warm season: November to April; hot season: May to October.

WEI higher than 22-d was excluded from the analyze because they are likely to include sows having a silent ovulation after weaning. For SFR, primiparous sows represented sows inseminated after their first lactation, rather than sows that have experienced two gestations. Discrete traits, i.e. DWEI and DWCI were defined from WEI and WCI measurements. Two categories were defined for DWEI, i.e. "normal" when the interval was up to 5 d and as "prolonged" when it exceeded 5 d. Similarly, DWCI was assigned a value of "0" when WCI was lower than 7 d and a value of "1" otherwise. Length of normal or prolonged interval was chosen according to the distribution of WEI and WCI. FR and SFR were defined as dichotomous traits, which were assigned a value of '1' when sows was successful mated and '0' otherwise. All discrete variables were assumed to follow a binomial distribution (DWEI, DWCI, FR, SFR) or a Poisson distribution (WEI, WCI). Descriptive statistics were obtained using MEANS and FREQ procedures (SAS, 1997). Logistic and log-linear models were applied to discrete variables. A sow effect was included as a random effect using the GLIMMIX macro (Littel et al., 1996) to account for repeated observations for many of the sows. Odds ratios were estimated from logistic linear models to get information about their relative risk pattern. From log-linear models, the results have been both presented as least square means before (in log linear scale) and after back transformation (in the original scale) and an approximate standard error in the original scale was calculated using the delta-method (Littel et al., 1996). The number of records including all measurements, especially weight and backfat thickness measurements, was limited ($n = 410$). For this reason, two sets of analyzes were performed. In the first set, all sows were considered and only the effects of sow, season (warm vs. hot), parity (primiparous vs. multiparous), type of mating (NM vs. AI) and two-way interactions between these factors could be

analyzed. The most appropriate definition of seasonal effects was used for each dependant variable, i.e. season of weaning for WEI, WCI, DWEI, DWCI, SFR, and season of mating for FR. Additional analyzes were performed using the effect of season of weaning for WEI, WCI, DWEI, DWCI and SFR and adding the effect of DWEI or WEI as fixed effect or covariable when analyzing SFR. In the second set of analyzes, only data with complementary information on sow lactation performance were used. Mean values of available variables were compared between the sub sample and the excluded data in order to check the representativity of the sub sample analyzed. The effects of lactation performance corrected by parity, i.e. average daily feed intake (ADFI), sow body weight and average back-fat thickness at farrowing, body weight and average back-fat thickness loss during lactation, litter body weight at weaning were investigated on DWEI and DWCI. Taking into account of significant correlation between lactation performance parameters, each explanatory variable was considered separately. Finally, Spearman correlations analyze was used to determine the relationships between residual values of performance in lactation and reproductive performance (CORR procedure, SAS Institute, 1997).

RESULTS

Characterization of the two seasons

Figure 1 and 2 show the seasonal changes and yearly variation in ambient temperature and relative humidity, respectively. The lowest and the highest mean 24 h temperatures were measured in February (i.e. $22.9 \pm 0.6^\circ\text{C}$) and in August (i.e. $26.2 \pm 0.3^\circ\text{C}$), respectively. Mean relative humidity was the lowest in March (i.e. $83.5 \pm 5.6\%$) and the highest in December (i.e. $89.9 \pm 6.2\%$). Two seasons were discriminated from a principal component analyze: a warm season between November and April and a hot season

Table 1. Main characteristics of seasons (means±standard deviations)*

Item	Season	
	Warm	Hot
Temperature (°C)		
Minimal	20.3±0.9	22.7±0.5
Maximal	28.6±0.8	30.3±0.7
Mean	23.6±0.8	25.8±0.5
Relative humidity (%)		
Minimal	64.2±13.1	64.6±12.8
Maximal	98.6±2.9	98.8±1.8
Mean	87.7±6.8	86.9±7.5
Duration of diurnal period (hh:min) ^c	11:40	12:20

* Correspond to the mean daily ambient temperature and relative humidity between January 1994 and December 2003; Season: Warm season: November to April. Hot season: May to October; Diurnal period: 06:20 h to 18:00 h and 05:50 h to 18:10 h, for warm and hot seasons, respectively (according to Météo France).

between May and October. The average ambient temperature was lower in the warm season than in the hot season (23.6±0.8 vs. 25.8±0.5°C; Table 1). Relative humidity was comparable and averaged 87.0%, so that seasonal difference was more attributable to difference in ambient temperature than in humidity. According to data from the French national meteorological institute (Météo France), day length was slightly lower during the warm than during the hot season (11 h 40 min vs. 12 h 20 min, respectively).

Table 2. Descriptive statistics of the data*

	n	Mean	s.d.	Median
Dependant variables*				
FR (%)	1,181	75.2	-	-
SFR (%)	639	77.2	-	-
WEI (days)	761	4.7	2.4	4.0
WCI (days)	639	10.2	15.9	4.0
Independent variables				
Parity	1,181	3.3	2.2	3.0
Lactation length (days)	859	27.9	3.1	28.0
ADFI in lactation (kg)	410	4.21	0.88	4.22
Sow BW at farrowing (kg)	410	239.4	40.4	242.7
Sow BW at weaning (kg)	410	222.5	40.6	222.9
Sow BW change (kg)	410	16.8	13.8	17.0
BFT at farrowing (mm)	410	20.8	4.8	20.1
BFT at weaning (mm)	410	17.4	4.2	16.7
BFT change (mm)	410	3.4	2.9	3.2
Litter size at birth	888	10.5	3.9	12.0
Litter size at weaning	859	8.7	2.0	9.0
Litter weight at birth (kg)	410	14.0	3.7	14.1
Litter weight at weaning (kg)	410	62.8	17.1	64.3

* s.d. = Standard deviation, n = Number of samples; FR = Farrowing rate; SFR = Subsequent farrowing rate after weaning; WEI = Weaning-to-estrus interval; WCI = Weaning-to-conception interval; ADFI = Average daily feed intake; BW = Body weight; BFT = Back-fat thickness.

Reproductive performance

Descriptive statistics for both reproduction and production traits of sows are presented in Table 2. From a total of 1,181 mating, AI was used more frequently (i.e. 66%) than NM. The yearly farrowing rate and the yearly

Table 3. Structure of the analyzed data and levels of significance*

Dependant variables ^b	First analyze					
	FR	SFR	WEI	WCI	DWEI	DWCI
First analyze						
No of observations	1,181	639	639	639	639	639
Explanatory variables						
Season ^c	0.01	0.01	n.s.	0.01	0.01	0.01
Parity ^c	n.s.	n.s.	0.01	0.01	0.01	0.05
Season×parity	0.05	n.s.	0.01	n.s.	0.01	n.s.
Type of mating	0.01	-	-	-	-	-
WEI	-	n.s.	-	-	-	-
DWEI	-	0.01	-	-	-	-
Second analyze					DWEI	DWCI
No of observations	-	-	-	-	410	335
ADFI	-	-	-	-	0.05	n.s.
Sow BW at farrowing	-	-	-	-	0.01	0.01
Sow BFT at farrowing	-	-	-	-	0.01	0.01
Sow BW at weaning	-	-	-	-	0.01	0.01
Sow BFT at weaning	-	-	-	-	0.01	0.01
Sow BW change	-	-	-	-	n.s.	n.s.
Sow BFT change	-	-	-	-	n.s.	n.s.
Litter size at weaning	-	-	-	-	0.05	n.s.
Litter weight at weaning	-	-	-	-	0.05	0.05

* n.s.: Non-significant (p>0.05); FR = Farrowing rate; SFR = Subsequent farrowing rate after weaning; WEI = Weaning-to-estrus interval; WCI = Weaning-to-conception interval; DWEI = Percentage of prolonged weaning-to-estrus interval (>5 d); DWCI = Percentage of weaning-to-conception interval (>7 d); ADFI = Average daily feed intake; BW = Body weight; BFT = Back-fat thickness; Season: Warm season: November to April. Hot season: May to October; season of mating (FR) or of weaning (WEI, DWEI, WCI, DWCI, SFR); Parity: primiparous vs. multiparous.

Table 4. Effect of season and parity on the interval from weaning to estrus (WEI), the interval from weaning to conception (WCI), the percentage of prolonged WEI (DWEI), the percentage of prolonged WCI (DWCI) and the subsequent farrowing rate after weaning (SFR) (n = 639 except for FR n = 1,181; least square means±standard errors)*

	Season ^b				Significance		
	Warm		Hot		S	P	S×P
	Primiparous	Multiparous	Primiparous	Multiparous			
FR (%)	70.3±13.0 ^a	79.2±7.9 ^a	66.5±16.5 ^a	56.3±15.6 ^b	0.01	n.s	0.05
WEI (days)	4.76±1.05 ^a	4.71±0.85 ^a	5.64±1.15 ^b	4.52±0.83 ^a	n.s	0.01	0.01
DWEI (%)	10.6±5.9 ^a	6.0±2.9 ^a	43.9±20.7 ^b	5.4±2.7 ^a	0.01	0.01	0.01
SFR (%) ^c	97.0±2.0 ^a	97.5±1.3 ^a	82.2±9.1 ^b	87.6±5.9 ^b	0.01	n.s	n.s
WCI (days)	6.78±2.62 ^a	6.13±1.92 ^a	16.42±5.07 ^b	10.54±3.12 ^c	0.01	0.01	n.s
DWCI (%)	10.4±6.1 ^a	8.0±3.9 ^a	38.0±18.4 ^b	20.5±9.2 ^c	0.01	0.05	n.s

* From mixed linear model analyze including the effect of season of weaning (S), parity (P), season-parity interaction as fixed effects and sow as random effect; standard errors were approximated using the Delta method; means values, within the same row, with different superscript letters differ at $p < 0.05$; n.s: Non-significant ($p > 0.05$).

Warm season: November to April. Hot season: May to October.

Significant effect ($p < 0.01$) of DWEI on SFR: 95% for sows with WEI < 5 d and 87% for sows with WEI > 5 d.

Table 5. Residual correlation coefficients between performance during lactation and postweaning reproductive performance (n = 324)*

WCI	BW at farrowing	BW at weaning	BW change	BFT at farrowing	BFT at weaning	BFT change	ADFI	Litter size at weaning	Litter weight at weaning
WEI	0.34**	-0.02	-0.07	-0.07	-0.04	-0.06	0.03	-0.13*	-0.09
WCI	-0.08	-0.05	-0.06	-0.11*	-0.10	-0.02	-0.09	0.05	0.02
BW at farrowing		0.89**	0.14*	0.32**	0.37**	0.00	0.07	-0.05	-0.10
BW at weaning			0.26**	0.27**	0.39**	-0.12*	0.14*	-0.19**	-0.29*
BW change				-0.09	0.09	-0.31**	0.16**	-0.37**	-0.50**
BFT at farrowing					0.73**	0.52**	-0.24**	0.07	0.01
BFT at weaning						-0.10	-0.16**	-0.04	-0.12*
BFT change							-0.14*	0.15**	0.22**
ADFI								0.06	0.31**
Litter size at weaning									0.65**

* For abbreviations see Table 3; Correlation with absolute value of 0.11 and above are significant at 5% level and of 0.15 or above are significant at 1% level of significance; residual values of each variable were obtained with a linear model included the effect of season, parity and their interaction.

culling percentage for the 11-year period were 75.7±9.1% and 32.5±15.2%, respectively. Culling during the warm season accounted for 46.4% of the total culls (53.6% during the hot season). WEI and WCI averaged 4.7, and 10.2 d, respectively. The median value for these data was comparable (i.e. 4.0 d). During lactation, ADFI, body weight loss and back-fat thickness loss averaged 4.21 kg/d, 16.8 kg, and 3.4 mm, respectively. At weaning, litter size and litter weight averaged 8.7 and 62.8 kg, respectively.

Influence of season, parity, type of mating on reproductive performance

Table 3 summarizes the structure of the data analyzed and the levels of significance for the factors of variation (or exploratory variables) considered. FR was greater ($p < 0.01$) when sows were mated naturally. FR obtained through NM compared with AI was 75.9 vs. 58.8% for primiparous sows and 76.2 vs. 61.9% for multiparous sows. There was a parity x season interaction for FR, WEI and DWEI (Table 3). Season influenced ($p < 0.05$) the FR of multiparous sows, whereas primiparous sows were not affected (Table 4). In

contrast, WEI and the percentage of sows with a prolonged WEI increased during the hot season for first parity sows (but not for multiparous sows, +0.9 d and +33%, respectively, Table 4). The effect of WEI on SFR was not significant ($p < 0.09$), but DWEI was associated with SFR ($p < 0.01$); SFR for sows with WEI ≤ 5 d averaged 95% vs. 87% for sows with a prolonged WEI. A highly significant seasonal influence ($p < 0.01$) was observed for SFR (Table 4). The highest proportion of successful insemination after weaning was observed for sows weaned in the warm season (97 vs. 85%). WCI and DWCI were also influenced by the season ($p < 0.01$); the probability for a primiparous sow to have a prolonged WCI was almost 4 times higher when weaning occurred during the hot than during the warm season; the effect was more than 2.5 times higher in multiparous sows.

Influence of lactation performance on WEI and WCI

The residual correlations between lactation performance, WEI and WCI are presented in Table 5. Significant correlations between WEI, WCI and lactation

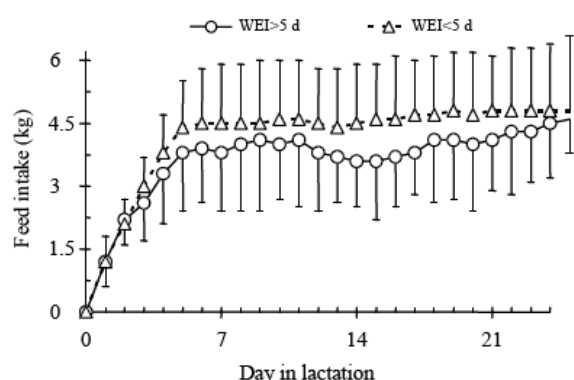


Figure 3. Daily feed intake during lactation according to the subsequent WEI (WEI > 5 d: $n = 39$; WEI < 5 d: $n = 371$). Coefficient of correlation between WEI and average daily feed intake average -0.19 in week 1 (** $p < 0.01$), -0.17 in week 2 ($p < 0.01$), -0.18 in week 3 ($p < 0.01$) and 0.10 in week 4 ($p > 0.05$).

performance are low (i.e. less than 0.40): WEI was negatively correlated with ADFI and litter size at weaning (i.e. $r = -0.13$, $p < 0.05$) and WCI was poorly associated with back-fat thickness at farrowing (i.e. $r = -0.11$, $p < 0.05$).

Whatever the considered week in lactation, sow feed intake pattern was significantly different between sows showing estrus symptoms within 5 d after weaning and sows with prolonged WEI (Figure 3). The correlation between WEI and the average weekly feed intake was greater than 0.17 during the first three weeks of lactation, but it was not significant during the last week of lactation. The difference between the two patterns was highest in mid-lactation (10-19 d after farrowing) and averaged 1 kg. Logistic regression analyze revealed that an increase in sow body weight or back-fat thickness at farrowing or at

weaning reduced the probability of a prolonged WEI (Table 6). A sow was 1.12 times and 1.02 times as likely to have a prolonged WEI when average back-fat thickness and body weight at farrowing were 1 mm less ($p < 0.01$) and 1 kilogram less ($p < 0.05$), respectively. For instance, the probability for a sow with 15 mm back-fat thickness at farrowing, to have an extended WEI was 1.40 times ($= 1.12^3$) higher than for a sow with 18 mm average back-fat thickness at farrowing. The probability for a sow with 200 kg body weight at farrowing, to have a prolonged WEI, was 2.3 times higher than a sow with 240 kg body weight at farrowing. A greater sow body weight at farrowing or a greater back-fat thickness at farrowing reduced the probability of a prolonged WCI (odds ratios larger than 0.90, $p < 0.05$).

DISCUSSION

In our study, the proportion of sows expressing estrus between 3 and 8 d after weaning was approximately 95%. This is consistent with performance reported in analyses of production database (in France: Le Colzer et al., 1997; in the USA: Koketsu et al., 1997a; in Thailand: Tantasuparuk et al., 2000a). It is now well established that WEI is extended in first parity sows as compared to higher parities (Martinat-Botte et al., 1984; Tummaruk et al., 2000a). In the present study, this is true only during the hot season. Indeed, during the warm season WEI is similar in primiparous and in multiparous sows. Moreover, the WEI of first parity sows was affected by season, which is in agreement with some results obtained in tropical (Omeke, 1989; Tantasuparuk et al., 2000a) and temperate areas (Clark et al., 1986; Xue et al., 1994; Tummaruk et al., 2000b). When testing the effect of ambient temperature (20

Table 6. Estimated odds ratios of performance in lactation on prolonged weaning-to-estrus interval (DWEI) and prolonged weaning-to-conception interval (DWCI)

Item	DWEI ($n = 410$)				DWCI ($n = 325$)			
	Odds ratio	95% confidence		Significance	Odds ratio	95% confidence		Significance
		Lower	Upper			Lower	Upper	
Sow BW								
At farrowing	0.98	0.97	1.00	0.05	0.98	0.97	1.00	0.05
At weaning	0.99	0.97	1.00	0.05	0.99	0.98	1.01	n.s.
Variation	1.00	0.97	1.02	n.s.	0.99	0.96	1.01	n.s.
Sow BFT								
At farrowing	0.89	0.81	0.97	0.01	0.90	0.82	0.98	0.05
At weaning	0.87	0.78	0.97	0.01	0.87	0.79	0.97	0.01
Variation	0.98	0.86	1.11	n.s.	0.99	0.88	1.11	n.s.
Feed intake in lactation								
ADFI	0.98	0.99	1.00	0.05	1.00	0.99	1.01	n.s.
Total	0.99	0.99	1.00	n.s.	1.00	0.99	1.01	n.s.
Litter performance								
No. piglets at weaning	0.81	0.68	0.96	0.05	0.87	0.73	1.03	n.s.
Weight at weaning	0.98	0.97	1.01	n.s.	0.98	0.96	1.01	n.s.

n.s.: Non-significant; $p > 0.05$; the effect of parity was included in the model.

vs. 26°C) on post-weaning reproductive performance in lactating sows over three consecutive lactations, Quiniou et al. (2001) did not find a significant effect of temperature on WEI, but the proportion of animals with delayed estrus at 26°C was higher in primiparous sows than in higher parities. From French commercial data collection, Martinat-Botte et al. (1984) showed that the effect of seasonal changes of WEI was accentuated in primiparous sows than in multiparous sows.

Recent findings in the pig suggested that photoperiod is the primary cue to seasonal infertility (Peltoniemi et al., 2000). In our experimental conditions, the length of the diurnal period was rather comparable in both seasons. Hence, the effect of season in the present study is more likely related to climatic parameters (ambient temperature and relative humidity) than to photoperiod. The mechanisms by which season affects reproductive performance are not fully understood (Prunier et al., 1996; Tummaruk et al., 2001). The delayed estrus after weaning in the hot season could be attributed to a heat stress-induced decrease in ADFI and the subsequently accentuated nutritional deficit during lactation (reviewed by Black et al., 1993 and more recently by Prunier et al., 2003). Indeed, in the present study, first parity sows consumed 12% less feed and they lost 7 kg body weight more than multiparous sows, in the hot season than in the warm season. The effect of feed level during lactation on occurrence of estrus after weaning has been extensively described, especially for primiparous sows (Dourmad et al., 1994). From our results, sows with prolonged WEI consumed less than others, and the reduction in ADFI was accentuated in early and mid-lactation (i.e. between d 1 and d 21). Investigating the influence of weekly feed intake during a 3-wk lactation period on WEI, Koketsu et al. (1996a and 1996b; 1997b) reported that increased sow feed intake during the first and/or the second week improves return to estrus after weaning. The WEI is mainly related to mean or episodic secretion of luteinizing hormone (LH) during mid-lactation or before weaning (Shaw and Foxcroft, 1985; Tokach et al., 1992). The secretion of LH as early as d 14 after farrowing has been demonstrated to be influenced by inadequate nutrient intake and sow catabolic state in early lactation (Tokach et al., 1992; Koketsu et al., 1996b). As a consequence, the ovaries may not be able to respond properly to the gonadotropic stimuli associated with weaning, which normally allow the sow to ovulate within a week. Besides nutrient intake influence, sow body reserves have also been reported to affect WEI (King and Williams, 1984a, b; Whittemore and Morgan, 1990). In the present study, higher body weight and back-fat thickness at farrowing decreased the risk of having prolonged WEI. This supports previous assumptions, that a critical amount of adipose and/or muscle tissues at farrowing is necessary for

a normal ovarian activity after weaning (for review, see Dourmad et al., 1994). Therefore, the reduced post-weaning reproductive performance of first parity sows during the hot season may be related to their lower body reserves at farrowing as compared to multiparous sows (188±20 vs. 253±32 kg of body weight and 18±4 vs. 21±5 mm of average back-fat thickness at farrowing). Supporting this, in a meta-analyze on 25 publications, Charette et al. (1995) showed that WEI and DWEI were similar for sows of various parities with similar body weight at farrowing. In first parity sows, Mullan and Williams (1989) pointed out that the mobilization of body reserves during lactation was partly determined by the amount of reserves present at the beginning of lactation. However, no negative association between body weight or back-fat thickness losses and WEI was found in our study. Charette et al. (1995) suggested that the WEI is not related with protein or lipid loss in lactation but rather with the absolute body mass or protein mass at farrowing. Finally, independently of its effects on voluntary feed intake, an elevated ambient temperature has a direct effect on reproductive performance. Messias de Bragança et al. (1998) reported in pair fed primiparous sows that the first estrus after weaning was delayed in sows exposed to 30°C during lactation compared to sows maintained at 20°C. However, the conclusions drawn in their study need to be confirmed on a larger number of animals.

According to Robinson and van Niekerk (1978), Singh et al. (1989), and Peltoniemi et al. (1999), the farrowing rate is reduced during the hottest season. Recent studies (Tast et al., 2002; Singh and Singh, 2003) which reported a seasonal effect on FR have suggested that the major biological parameters leading to the FR reduction are failures in fertilization and/or sow inability to maintain pregnancy. In addition, a reduced reproductive performance of boars could also be involved in the decrease of FR in elevated temperature (Wettmann et al., 1976; Hughes, 1998; Chiang and Hsia, 2005). Unfortunately, no semen evaluation was performed in our work, but according to previous studies, heat stress has been demonstrated to decrease semen quality in boars (Kennedy and Wilkins, 1984; Suriyasomboon et al., 2004). Present findings, as previous ones (Xue et al., 1994), show that the effect of month of insemination affects farrowing rate only in multiparous sows. This suggests that season has more impact on insemination or gestation success in sows that have experienced lactation than in gilts at first breeding. Consistently, farrowing rate of sows that were inseminated after weaning (SFR) was reduced during the hot season.

Part of the seasonal farrowing rate impairment is likely to be related to the seasonal impact on WEI. In the present study, sows with shorter WEI had the highest SFR. Better reproductive results were previously reported in sows with short interval (Steverink et al., 1999; Tummaruk et al.,

2000b). Bracken et al. (2003) have found a 27% decrease in conception rate when the weaning-to-ovulation interval increases beyond 6.5 d. Under tropical humid conditions, Tantasuparuk et al. (2000b) have observed lower SFR for sows showing estrus between 7 and 10 d after weaning than for sows showing estrus within 6 d. As reviewed by Prunier et al. (2003), the relationship between WEI and subsequent reproductive performance is likely to be the consequence of lactation impact on post-weaning ovulation rate, fertilization and embryo survival.

In relation with the increased WEI and the reduced SFR, the occurrence of extended WCI was significantly higher during the hot season than during the warm season. Moreover, the proportion of sows with a prolonged WCI after weaning in the hot season was affected by parity with longer WCI in primiparous than in multiparous sows. Similarly to WEI, primiparous sows had higher WCI than multiparous sows only during the hot season. The latest results contrast with those obtained by Tantasuparuk et al. (2000a) who reported a decrease in WCI with parity whatever the season, in a study conducted in Thailand over a 3-yr period and involving about 4,600 sows. To explain these effects, the latter authors suggested a climatic acclimatization of sows with age.

CONCLUSION

Present results confirm the effects of season and parity on reproductive performance in sows raised in tropical humid area. They showed that small annual variations (only 2°) in the ambient temperature could be significant for reproductive performance of sows. In the warm season, return to estrus is similar in multiparous and primiparous sows, but first parity sows are more prone to reproductive problems during the hot season. Moreover, sow non-productive period is also influenced by lactation performance which emphasizes that some attention should be directed toward the influence of lactation performance combined with seasonal change on young sows.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the Guadeloupe Region and the European social funds and the technical assistance of C. Anaïs, K. Benony, B. Bocage, P. De Cacqueray, E. Depres, M. Giorgi, G. Gravillon, D. Lange, A. Racon, F. Silou and J-L. Weisbecker.

REFERENCES

Berbigier, P. 1988. Description des climats équatoriaux et tropicaux. In: Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale (INRA Ed.). Paris, pp. 11-18.

- Black, J. L., B. P. Mullan, M. L. Lorsch and L. R. Giles. 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livest. Prod. Sci.* 35:153-170.
- Bracken, C. J., T. J. Lamberson, T. J. Safranski and M. C. Lucy. 2003. Factors affecting follicular populations on day 3 postweaning and interval to ovulation in a commercial sow herd. *Theriogenol.* 60:11-20.
- Charette, R., M. Bigras-Poulin and G. P. Martineau. 1995. Une méta-analyse de l'anoestrus nutritionnel chez la truie. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 27:31-36.
- Chiang, S. H. and L. C. Hsia. 2005. The effect of wet pad and forced ventilation house on the reproductive performance of boar. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 18:96-101.
- Clark, J. R., A. Komkov and L. F. Tribble. 1986. Effects of parity, season, gonadotrophin releasing hormone and altered suckling intensity on the interval to rebreeding in sows. *Theriogenol.* 26:299-308.
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, A. Prunier and J. Noblet. 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livest. Prod. Sci.* 40:87-97.
- Hughes, E. H. 1998. Effects of parity, season and boar contact on the reproductive performance of weaned sows. *Livest. Prod. Sci.* 54:151-157.
- Hughes, P. E. 1993. The effects of food level during gestation and early gestation on the reproductive performance of mature sows. *Anim. Prod.* 57:437-445.
- Kennedy, B. W. and J. N. Wilkins. 1984. Boar, breed and environmental factors influencing semen characteristics of boars in artificial insemination. *Can. J. Anim. Sci.* 64:833-843.
- King, R. H. and I. H. Williams. 1984a. The effect of nutrition on the reproductive performance of first-litter sows: 1. Feeding level during lactation, and between weaning and mating. *Anim. Prod.* 38:241-247.
- King, R. H. and I. H. Williams. 1984b. The effect of nutrition on the reproductive performance of first-litter sows: 2. Protein and energy intakes during lactation. *Anim. Prod.* 38:249-256.
- Kirkwood, R. N., E. S. Lythogoe and F. X. Aherne. 1987. Effect of lactation feed intake and gonadotrophin-releasing hormone on the reproductive performance of sows. *Can. J. Anim. Sci.* 67:715-719.
- Koketsu, Y., G. D. Dial and V. L. King. 1997a. Influence of various factors on farrowing rate on farms using early weaning. *J. Anim. Sci.* 75:2580-2587.
- Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew and V. L. King. 1996a. Feed intake pattern during lactation and subsequent reproductive performance of sows. *J. Anim. Sci.* 74:2875-2884.
- Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew and V. L. King. 1997b. Influence of feed intake during individual weeks of lactation on reproductive performance of sows on commercial farms. *Livest. Prod. Sci.* 49:217-225.
- Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew, W. E. Marsh and V. L. King. 1996b. Influence of imposed feed intake patterns during lactation on reproductive performance and circulating levels of glucose, insulin and luteinizing hormone in primiparous sows. *J. Anim. Sci.* 74:1036-1046.
- Le Colzer, Y., J. Dagorn, J. Y. Dourmad, S. Johansen and A. Aumaitre. 1997. Effect of weaning-to-conception interval and lactation length on subsequent litter size in sows. *Livest. Prod.*

- Sci. 51:1-11.
- Little, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup and R. D. Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed Models. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Martinat-Butte, F., B. Badouard and M. Terqui. 1984. Intervalle tarissement - 1er oestrus : bilan 1975 - 1982: influence de quelques paramètres. Journ. Rech. Porcine Fr. 16:153-160.
- Messias de Bragança, M., A. M. Mounier and A. Prunier. 1998. Does feed restriction mimic the effects of increased ambient temperature in lactating sows? J. Anim. Sci. 76:2017-2024.
- Mullan, B. P. and I. H. Williams. 1989. The effect of body reserves at farrowing on the reproductive performance of first-litter sows. Anim. Prod. 48:449-457.
- National Research Council. 1998. Nutrient Requirement of Swine 10th Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Omeke, B. C. 1989. A comparison of seasonal effects on fertility of Landrace and Large White sows in a subhumid tropical environment. Br. Vet. J. 145:462-466.
- Peltoniemi, O. A. T., R. J. Love, M. Heinonen, V. Tuovinen and H. Saloniemi. 1999. Seasonal and management effects on fertility of the sow : a descriptive study. Anim. Reprod. Sci. 55:47-61.
- Peltoniemi, O. A. T., A. Tast and R. J. Love. 2000. Factors affecting reproduction in the pig: seasonal effects and restricted feeding of the pregnant gilt and sow. Anim. Reprod. Sci. 60-61:173-184.
- Prunier, A., H. Quesnel, M. Messias de Bragança and A. Y. Kermabon. 1996. Environmental and seasonal influences on the return-to-oestrus after weaning in primiparous sows: a review. Livest. Prod. Sci. 45:103-110.
- Prunier, A., N. M. Soede, H. Quesnel and B. Kemp. 2003. Productivity and longevity of weaned sows. In Weaning the pig. Concepts and consequences. (Ed. J. R. Pluske, J. Le Dividich and M. W. A. Verstegen). Wageningen, pp. 385-419.
- Quesnel, H. and A. Prunier. 1995. L'ovulation après le tarissement des truies : mécanismes physiologiques et facteurs de variation. INRA Prod. Anim. 8:165-176.
- Quiniou, N., D. Gaudré and D. Guillou. 2001. Influence de la température ambiante et de la concentration en nutriments de l'aliment sur les performances de lactation des truies selon le rang de portée. Journ. Rech. Porcine Fr. 33:157-163.
- Robinson, R. D. V. and B. D. H. van Niekerk. 1978. Effect of ambient temperature on farrowing rate in pigs. S. Afr. J. Anim. Sci. 8:105-109.
- SAS Institute Inc. 1997. SAS/STAT User's Guide: Version 7. 4th edn. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Shaw, H. J. and G. R. Foxcroft. 1985. Relationships between LH, FSH, and prolactin secretion and reproductive activity in the weaned sow. J. Reprod. Fert. 75:17-28.
- Singh, B. K. and B. Singh. 2003. Factors affecting conception rate in exotic pigs under tropical climate. Indian Vet. J. 80:290-291.
- Singh, B. K., B. Singh and A. K. Sinha. 1989. Reproductive performance of exotic breeds of pigs under tropical climate. Indian J. Anim. Sci. 59:737-738.
- Soede, N. M., A. Prunier, B. Kemp and H. Quesnel. 2000. Variation in weaning-to-oestrus interval in sows : causes and consequences. Reprod. Dom. Anim. (Suppl.) 6:111-117.
- SPAD-TM®. 1993. Analyse de tableaux multiples. In Système Pour l'Analyse des Données. Manuel de référence (Version 4.5). Centre International de Statistique et d'Informatique Appliquées (Ed.), Paris.
- Steverink, D. W. B., N. M. Soede, G. J. R. Groenland, F. W. van Schie, J. P. T. M. Noordhuizen and B. Kemp. 1999. Duration of estrus in relation to reproduction. Results in pigs on commercial farms. J. Anim. Sci. 77:801-809.
- Suriyasomboon, A., N. Lundeheim, A. Kunavongkrit and S. Einarsson. 2004. Effect of temperature and humidity on sperm production in Duroc boars under different housing systems in Thailand. Livest. Prod. Sci. 89:19-31.
- Tantasuparuk, W., N. Lundeheim, A.-M. Dalin, A. Kunavongkrit and S. Einarsson. 2000a. Reproductive performance of purebred Landrace and Yorkshire sows in Thailand with special reference to seasonal influence and parity number. Theriogenol. 54:481-496.
- Tantasuparuk, W., N. Lundeheim, A.-M. Dalin, A. Kunavongkrit and S. Einarsson. 2000b. Effects of lactation length and weaning-to-service interval on subsequent farrowing rate and litter size in Landrace and Yorkshire sows in Thailand. Theriogenol. 54:1525-1536.
- Tast, A., O. A. T. Peltoniemi, J. V. Virolainen and R. J. Love. 2002. Early disruption of pregnancy as a manifestation of seasonal infertility in pigs. Anim. Reprod. Sci. 74:75-86.
- Tokach, M. D., J. E. Pettigrew, G. D. Dial, J. E. Wheaton and L. J. Johnston. 1992. Characterization of luteinizing hormone secretion in the primiparous lactating sow: Relationship to blood metabolites and return-to-estrus interval. J. Anim. Sci. 70:2195-2201.
- Tunmaruk, P., N. Lundeheim, S. Einarsson and A.-M. Dalin. 2000a. Reproductive performance of purebred Swedish Landrace and Swedish Yorkshire sows: 1. Seasonal variation and parity influence. Acta Agr. Scand. Sect. A-Anim. Sc. 50:216.
- Tunmaruk, P., N. Lundeheim, S. Einarsson and A.-M. Dalin. 2000b. Reproductive performance of purebred Swedish Landrace and Swedish Yorkshire sows: 2. Effect of mating type, weaning-to-first-service interval and lactation length. Acta Agr. Scand. Sect. A-Anim. Sc. 50:217-224.
- Tunmaruk, P., N. Lundeheim, S. Einarsson and A. M. Dalin. 2001. Reproductive performance of purebred Hampshire sows in Sweden. Livest. Prod. Sci. 68:67-77.
- Vesseur, P. C., B. Kemp and L. A. den Hartog. 1994. Factors affecting the weaning-to-estrus interval in the sow. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 72:225-233.
- Wettmann, R. P., M. E. Wells, I. T. Omtvedt, C. E. Pope and E. J. Turman. 1976. Influence of elevated ambient temperature on reproductive performance of boars. J. Anim. Sci. 42:664-669.
- Whittemore, C. T. 1996. Nutrition reproduction interactions in primiparous sows. Livest. Prod. Sci. 46:65-83.
- Whittemore, C. T. and C. A. Morgan. 1990. Model components for the determination of energy and protein requirements for breeding sows: a review. Livest. Prod. Sci. 26:1-37.
- Xue, J. L., G. D. Dial, W. E. Marsh and P. R. Davis. 1994. Multiple manifestations of season on reproductive performance of commercial swine. J. Am. Vet. Med. Assoc. 204:1486-1489.

3.3. Principaux enseignements de l'étude expérimentale 3

Cette étude expérimentale montre qu'en moyenne les performances de reproduction des truies LW (intervalle sevrage oestrus - ISO, intervalle sevrage-saillie fécondante – ISSF, et taux de conception) sont comparables aux résultats disponibles dans la bibliographie.

Les effets de la saison chaude sur les performances de lactation de la truie se traduisent au niveau des performances de reproduction par une augmentation globale de la durée de la période « improductive ». Le taux de conception après le sevrage est réduit et l'ISSF est plus élevé en saison chaude. Dans notre étude expérimentale, nous n'avons pas étudié les effets du climat sur les performances de reproduction du verrat. Par conséquent, nous ne pouvons pas conclure définitivement sur la part respective des effets de la saison sur la qualité de la semence du verrat et des effets propres à la truie.

Contrairement aux performances de lactation (Publication 1), ce travail suggère que les effets de la saison chaude sur les performances de reproduction sont accentués sur les truies primipares. En effet, l'ISO et l'ISSF des primipares augmentent en saison chaude en relation avec leur déficit nutritionnel et leur perte de poids accrus. Cette plus faible sensibilité des truies multipares pourrait être également attribuée à un effet de « censure » puisque, par le biais de notre politique de réforme, nous avons probablement conservé les animaux les moins sensibles. D'après ces résultats, il apparaît particulièrement important en milieu tropical de mettre à la reproduction les jeunes truies avec un niveau de réserves protéiques et adipeuses suffisant pour pallier les déficits énergétiques pendant la première lactation et ses conséquences néfastes sur les performances de reproduction. En effet, dans cette étude expérimentale, nous mettons en évidence des relations significatives entre la condition corporelle de la truie à la mise bas et le risque d'avoir un ISO prolongé (> 5 jours). Ainsi, la réduction de 3 mm de l'épaisseur de lard à la mise bas (18 vs 15 mm) se traduit par une augmentation de 40% de la probabilité d'avoir un retour en chaleur retardé. De la même manière, une truie LW de 200 kg à la mise bas a 2,3 fois plus de chance d'avoir un ISO prolongé qu'une truie de 240 kg à la mise bas.

4. Etude expérimentale 4

4.1. Introduction à l'étude expérimentale 4

La truie étant un animal homéotherme, elle maintient sa température interne en équilibrant sa production de chaleur, due essentiellement à l'effet thermique de l'aliment et à la mobilisation de ses réserves corporelles pour la production laitière, avec sa perte de chaleur par voie sensible et par voie évaporative. Dans la zone de confort thermique de la truie allaitante (entre 12 et 20°C), le maintien de l'homéothermie est assuré par une augmentation des pertes de chaleur. Au-dessus de la température critique d'évaporation, la truie a besoin d'accroître sa perte de chaleur par évaporation et doit réduire sa consommation pour diminuer la production de chaleur métabolique, au détriment de sa production laitière ; les processus de thermorégulation ne suffisent plus et la température interne de la truie augmente. La température rectale (TR) étant la résultante de l'ensemble des processus de la thermorégulation, elle constitue un bon indicateur de la sensibilité de la truie au stress thermique.

Si les effets de la température sur la température rectale de la truie en lactation sont décrits dans quelques travaux de la bibliographie, il n'existe pas à notre connaissance d'étude traitant des effets du type génétique et du rang de portée de la truie. Par ailleurs, il n'existe aucune étude traitant de la variabilité génétique des caractères de thermorégulation et de leurs relations avec les caractères de production dans l'espèce porcine.

Le principal objectif de cette 4^{ème} étude expérimentale est d'abord de quantifier les effets respectifs du climat tropical, du type génétique et du rang de portée de la truie, et de leurs interactions sur la TR des truies en lactation (Publication 5) et ensuite d'estimer dans une première approche les paramètres génétiques des caractères de thermorégulation, comme la température rectale et sa relation avec les caractères de production de la truie en lactation. Pour la première étude (Publication 5), nous disposons d'informations sur 222 lactations obtenues sur 43 truies Créoles et 42 Large White. La TR des truies a été mesurée deux fois par jour (07 et 12 heures) et 2 fois par semaine (lundi et jeudi), du 3^{ème} jour avant la mise bas au 4^{ème} jour après le sevrage. Les données utilisées pour la seconde étude (Publication 6) ont été obtenues sur 356 lactations de 94 truies provenant de 24 pères et de 57 mères, ce qui représente un pedigree de 246 animaux.

4.2. Publication n°5

Rectal temperature of lactating sows in a tropical humid climate according to breed, parity and season

Jean-Luc Gourdine, Jean-Pierre Bidanel, Jean Noblet et David Renaudeau

(soumise à Asian-Australasian Journal of Animal Science)

Résumé :

L'objectif de cette étude a été d'analyser les effets du climat, du type génétique et du rang de portée de la truie sur sa température rectale (TR). Cette étude a été conduite sur un total de 222 lactations de 85 truies (43 Créoles (CR) et 42 Large White (LW)), entre juin 2002 et avril 2005. La température ambiante moyenne est de 24,1 et 26,0°C, respectivement, en saison fraîche et en saison chaude, et l'humidité relative est comparable pour les deux saisons (89%). A la mise bas, les truies CR sont moins lourdes (172 vs. 233 kg) et plus grasses (37 vs. 21 mm) que les truies LW ($P < 0,01$). En saison chaude, la réduction de la consommation d'aliment est plus prononcée chez les LW que chez les CR (- 920 vs. - 480 g/j ; $P < 0,05$). La TR est plus élevée à 12h00 qu'à 07h00, ce qui coïncide avec les valeurs maximales et minimales de la température ambiante. Pendant la lactation, la TR augmente (+ 0,9°C ; $P < 0,01$) entre j -3 et j +7 après la mise bas, puis reste constante entre j 7 et j 25 et diminue ensuite (-0,6°C ; $P < 0,01$) entre j 25 et j 32. La TR moyenne pendant la lactation est plus élevée en saison chaude qu'en saison fraîche (38,9 vs. 38,6°C ; $P < 0,01$). La TR n'est pas significativement affectée par le type génétique, mais l'écart de TR entre la saison chaude et la saison fraîche est plus élevé chez les LW que chez les CR (+ 0,4 vs. + 0,2°C ; $P < 0,05$). La TR est plus élevée chez les truies primipares que chez les multipares (38,9 vs. 38,7°C ; $P < 0,01$). Cette étude suggère que la réponse des mécanismes de thermorégulation au stress thermique peut être différente entre types génétiques et entre numéros de portée.

ABSTRACT. The effects of season (hot vs. warm) in a tropical humid climate, parity (primiparous vs. multiparous) and breed (Creole: CR, Large White: LW) on rectal temperature (RT) were studied on a total of 222 lactations obtained on 85 sows (43 CR and 42 LW; 56 primiparous and 166 multiparous) over a 28-d lactation, between June 2002 and April 2005. Mean daily ambient temperature was higher during the hot season than during the warm season (26.0 vs. 24.1°C) and relative humidity was high and similar in both seasons (89% on average). At farrowing, BW was lower (172 vs. 233 kg) and backfat thickness was higher (37 vs. 21 mm) in CR than in LW sows ($P < 0.01$). During the hot season, the reduction of ADFI was more pronounced in LW than in CR sows (- 920 vs. - 480 g/d; $P < 0.05$). Rectal temperature was higher at 1200 than at 0700, which coincides with the maximum and the minimum values of daily ambient temperature. The daily RT increased (+ 0.9°C; $P < 0.01$) between d -3 and d 7 (d0: farrowing day), remained constant between d 7 and d 25 and decreased ($P < 0.01$) thereafter (i.e. - 0.6°C between d 25 and d 32). The average daily RT was significantly higher during the hot than during the warm season (38.9 vs. 38.6°C; $P < 0.01$). It was not affected by breed, but the difference in RT between the hot and warm seasons was more pronounced in LW than in CR sows (+ 0.4 vs. + 0.2°C; $P < 0.05$). Parity influenced the RT response; it was greater in primiparous than in multiparous sows (38.9 vs. 38.7°C; $P < 0.01$). This study suggests that thermoregulatory responses to heat stress can differ between breeds and between parities.

Keywords: Rectal temperature, thermoregulation, sows, breed, parity, tropical climate.

INTRODUCTION

It is well established that performance of sows in hot conditions depends on their ability to maintain thermal balance (Makkink and Schrama, 1998). Like other homeothermic animals, pigs have to regulate body temperature by maintaining a balance between heat production and heat loss. According to its high nutrient requirement, the lactating sow is particularly sensitive to high ambient temperature. When ambient temperature increases above the thermoneutral zone (between 12 and 20°C, Black et al., 1993), homeothermy is maintained by a modification in the posture and an increase of skin blood flow. With further increase in temperature above the evaporative critical temperature, homeothermy is maintained by an increase of evaporative heat loss and by a decrease in metabolic heat production via a reduction of voluntary feed intake (VFI) (as reviewed by Renaudeau, 2001). This reduced VFI has negative consequences on body reserves mobilization, milk production and more generally on sow longevity (Dourmad et al., 1994). These problems occur in (sub)tropical countries but also in temperate countries during summer temperature peaks and therefore reduce the economic loss in animal production. Moreover, an increase of rectal temperature (RT) is reported in the literature when sows are exposed to experimental temperature higher than 25°C (Quiniou and Noblet, 1999). In other words, when temperature exceeds 25°C, the pathways implicated in body temperature regulation are saturated or insufficient to prevent an increase of RT. Interpretations have often been based on the assumptions that RT is the result of the entire thermoregulation process and therefore quantification of RT has been used to characterize the body ability to maintain the thermal balance in beef cattle (Amakiri and Funsho, 1979; Turner, 1982) and in pig (Renaudeau, 2005 ; Huynh, 2005). Surprisingly, little has been published on the influence of animal related factors on RT in lactating sows and on variation of these responses with seasonal and diurnal changes encountered in tropical

conditions. The objective of this study was to investigate effects of season and parity on RT of Large White and Creole sows reared in a tropical humid climate.

MATERIALS AND METHODS

Animal management

A total of 222 lactations on 85 sows (43 Creole and 42 Large White sows) divided in 20 successive groups of nine to 11 animals were used in a trial conducted at the INRA experimental facilities in Guadeloupe, French West Indies (Latitude 16°N, Longitude 61°W); this area is characterized by a tropical humid climate (Berbigier, 1988). The Creole genotype is the most popular local breed of pig in Caribbean regions. The Guadeloupe Creole pig originated from Iberian pigs brought in the late 15th and 16th centuries and it was first crossed with French native pigs such as the Normand and Craonnais and further crossed with various breeds such as the Large Black, Yorkshire, Duroc and Hampshire (Canope and Raynaud, 1980; Rinaldo et al., 2003). This genotype is characterized by early sexual maturity, low prolificacy, high adiposity, good meat quality and its apparently good adaptation to harsh tropical environmental conditions. For this reason, this breed was introduced into our experimental facilities to study genetic variability of heat tolerance. The data covered the period between June 2002 and April 2005 and two successive seasons were determined a posteriori from average monthly daily ambient temperature (°C) and relative humidity (%): a warm season ($24.1 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ and $90.4 \pm 4.4\%$, on average) and a hot season ($26.0 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ and $87.6 \pm 5.5\%$ on average).

Over the gestation period, sows were restrictively fed a conventional diet based on maize, wheat middlings and soybean meal (13 MJ DE/kg, 140 g CP/kg). The lactation diet was formulated to meet or exceed requirements for all nutrients (NRC, 1998). Farrowing room conditions and the feeding plan during the gestation period and lactation have been previously described by Gourdine et al. (2006a). To sum up, feed was distributed once per day between 0700 and 0800 and sows had free access to water provided by a low-pressure nipple drinker. Lactation length was approximately 4 weeks (27.4 ± 2.4 d on average). Infrared lights provided supplemental heat for the piglets during the entire lactation period. During the 48-h post farrowing period, litter size was standardized by cross-fostering within breed at 8 or 9 piglets per litter, and at 10 or 11 piglets per litter, in Creole (CR) and Large White (LW) sows, respectively. From d 21 of lactation, piglets were offered ad libitum creep feed

containing 15.3 MJ DE per kg, 20% CP and 1.47% crude lysine. From weaning to d 14 after weaning, sows were observed twice daily for the onset of standing estrus in presence of a mature boar. Other signs of estrus such as vulva swelling or reddening or reaction to back-pressure were also checked. Sows that were detected in standing estrus were mated twice within a maximum 24-h interval, using either supervised natural mating or artificial insemination with boar or semen from the same genotypes. Pregnancy diagnosis was performed using boar passage and confirmed by ultrasonography three weeks after insemination.

Measurements

Backfat thickness and BW were measured on the day after farrowing and at weaning. Backfat thickness measurements were ultrasonically (Agroscan, E.C.M., Angoulême, France) carried out at 65 mm from the midline of the back beside the shoulder and the last rib on each flank. The total number of piglets born, born alive, stillborn and dead during lactation were recorded for each litter. Piglets were individually weighed at birth, at d 7, 14 and 21 of lactation and at weaning. For all sows, ADFI was determined as the difference between the amount of feed offered and the amount of refusals collected on the next morning between 0600 and 0800. Rectal temperature (RT) was measured twice daily (i.e. at 0700 and 1200 which corresponded to minimum and maximum values of daily ambient temperature (Gourdine et al., 2006b) with a digital thermometer (Microlife Corporation, Paris, France), every Monday and Thursday from the Monday before farrowing to the Monday after weaning. Hence, RT were measured at -3, 0, 4, 7, 11, 14, 18, 21, 25, 28, and 32 days of lactation (with d 0 = farrowing day).

Statistical analyses

Two seasons were determined according to the average monthly ambient temperature and relative humidity obtained from climatic measurements. When lactation occurred over two successive seasons, the lactation of a sow was attributed to the season in which the sow spent the largest number of days in lactation. The statistical model included the fixed effects of breed (CR vs. LW), season of lactation (warm vs. hot), parity (primiparous vs. multiparous) and their interactions, the effect of contemporary group within season and a random sow effect. Because of creep feed consumption from d 21 of lactation, milk production was estimated only over the first 3 weeks from calculation of mean daily milk dry matter with piglet average daily gain (g/d) between d 1 and d 21 (Noblet and Etienne, 1989)¹ and assuming that milk had a 18 % dry matter content (Gourdine et al., 2006a). The performance of sows and their litter during lactation were analyzed using the MIXED procedure of

SAS/STAT (Version 8.1, SAS Inst., Inc., Cary, NC, 1999) with breed, season, parity, contemporary group of sows within season and their interactions as fixed effects. The random effect of the sows was also studied. The average daily RT (RT_{av}) (defined as the mean of RT measurements at 0700 and at 1200), RT measured at 0700 (RT_{07}) and at 1200 (RT_{12}), and the daily variation between RT_{12} and RT_{12} (ΔRT_{12-07}) were pooled per sow over the lactation period (i.e. between d 0 and d 28). These data were analyzed using the same previous model. Preliminary results from the Shapiro-Wilk tests for normality of RT provided insufficient evidence to reject the assumption of normality (Figure 1) ($P > 0.15$). Consequently, RT was studied as a raw variable but a test for normality was performed on residual values to confirm normality distribution.

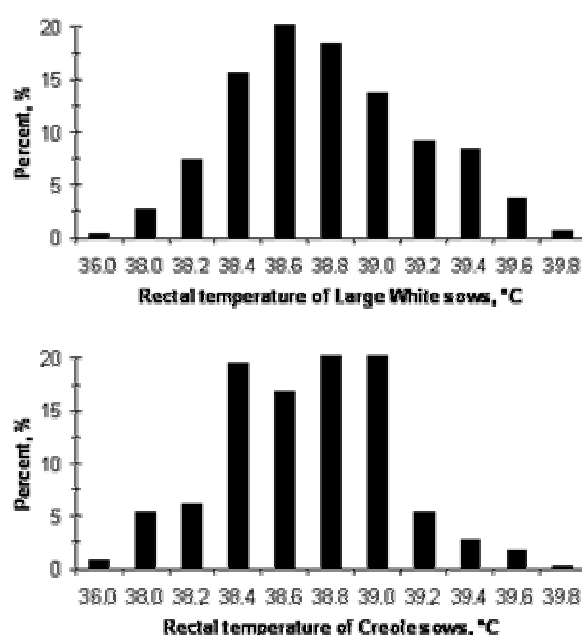


Figure 1 Histogram distribution of average rectal temperature (RT_{av}) of Large White (n = 109) and Creole lactating sows (n = 113).

Residual values of lactating and reproductive performance were computed from the preceding models (without the random effect of sow) and correlation coefficients in the CORR procedure of SAS/STAT were used to identify possible residual correlations between RT and sows performance within each breed and parity level. A Fisher Z transformation was used to compare the correlation coefficients between primiparous and multiparous sows within breed

¹ $DM_L = 0.72 \times ADG - 7$, where DM_L , dry matter of milk ($g \cdot piglet^{-1} \cdot d^{-1}$); ADG, piglet average daily gain (g).

(COMPCORR Macro of SAS/STAT); a Bonferroni correction was applied to take into account multiple comparisons of correlation coefficients. Data for RT_{av} , RT_{07} , RT_{12} and ΔRT_{12-07} , during the whole period of measurements (i.e., from d -3 to d 32), were analyzed using the MIXED procedure of SAS/STAT with the fixed effects of breed, parity, season, day of measurements and their interactions. Because of the unequal number of observations between days, least-squares were weighed with the inverse of the variance of RT at each day of measurements. The effect of day was included in the model and analyzed as repeated measures (day) with an 11×11 unstructured covariance matrix (UN). This parametric covariance structure is useful when the structure is unknown, when the assumptions of stationarity (i.e. constant variances over time and equal correlations between measurement equidistant in time) are not met and when measurements are made on unequally spaced time intervals (Nunez-Anton and Zimmerman, 2000).

To evaluate the importance of individual differences for RT parameters, attention was paid on the variability between and within sows and comparison was assessed in two ways. First, a comparison between the standard deviation of the random effect of the sow in the linear mixed models with the standard deviation of the residuals was performed. Secondly, four variables were constructed, defining intra-sow and inter-sow variability (within contemporary group), for RT_{av} , RT_{07} , RT_{12} , and ΔRT_{12-07} . The intra-sow variability was assessed by computing the standard deviation of RT mean for each lactation of one sow. Likewise, the inter-sow variability was calculated as the standard deviation of the mean of RT values for each of the 11 d of measurements across sow's lactations within the same contemporary group. Analyses of variance were performed on these four variables with fixed effects of breed (CR vs. LW), type of variability (intra vs. inter) and their interactions, and effect of contemporary group.

The effects of season in a tropical humid climate, parity and breed on performance of sows during lactation have been investigated and discussed in a previous paper (Gourdine et al., 2006a). In the present study, results on sow performance during lactation will be shortly presented with most attention devoted to changes in RT.

RESULTS

Sows performance

During the hot season, ADFI was lower than during the warm season (3,380 vs. 4,080 g/d; $P < 0.01$) (Table 1).

Table 1 Effect of breed, season and parity number on performance of lactating sows and their litters (Least square means).

Item	Breed				Parity		SEM	Statistical analysis ^b
	Large White		Creole		Primiparous	Multiparous		
	Warm ^a	Hot ^a	Warm ^a	Hot ^a				
No. lactations	52	57	59	54	56	166		
No. sows	34	37	39	33	56	69		
Parity number	3.1	3.1	3.0	3.0	1.0	3.8		
ADFI, kg	4.66 ^x	3.74 ^y	3.48 ^y	3.01 ^z	3.68 ^y	3.77 ^y	0.63	B**, S**, B×S*, G**
ADFI, g.kg ^{-0.75} .d ⁻¹	82.8 ^x	68.6 ^y	75.2 ^z	69.3 ^y	80.0 ^x	68.0 ^y	13	P**, S**, B×S†, G**
BW, kg								
At farrowing	238.9 ^x	227.4 ^x	181.1 ^y	162.9 ^y	187.8 ^y	217.3 ^x	8.8	B**, P**, S**, P×B**, G**
Loss	4.9	10.9	8.2	9.4	8.4	8.3	14.8	G**
Backfat thickness, mm								
At farrowing	19.2 ^x	22.8 ^x	37.6 ^y	36.9 ^y	26.7 ^x	31.5 ^y	6.0	B**, P**, B×S†, G**
Loss	1.8 ^x	4.6 ^y	6.0 ^z	4.7 ^y	3.2 ^y	3.8 ^y	4.9	B*
Litter size at weaning	8.2 ^x	9.0 ^y	7.9 ^x	7.7 ^x	8.2 ^x	8.2 ^x	1.8	B*, G*
Piglet ADG, g/d	219 ^x	196 ^y	197 ^y	188 ^z	193 ^y	208 ^x	29	B*, P*, S*
BW at weaning, kg/piglet	7.3 ^x	6.8 ^y	6.5 ^y	6.3 ^y	6.4 ^y	7.0 ^x	1.0	B**, P*, S†, B×P*, G*
Milk production ^d , g/(piglet.d)	776 ^x	698 ^y	703 ^x	670 ^y	678 ^y	747 ^x	142	S*, P**

^a Warm season: November to April. Hot season: May to October.

^b From an analysis of variance with a linear mixed model including the effects of breed (B), season (S), parity (P), and their interactions, and effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$.

^c Metabolic body weight $BW^{0.75} = (BW \text{ at weaning}^{1.75} - BW \text{ at farrowing}^{1.75}) / (1.75 \times (BW \text{ at weaning} - BW \text{ at farrowing}))$ adapted from Labroue et al. (1999)

^d Daily milk production over the first 21 days of lactation was estimated from piglet growth rate between d1 and d21 using the equation of Noblet and Etienne (1989) for milk dry matter and assuming that milk has a 18 % dry matter content.

^{x, y, z} In a row, for each main effect, least square means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

Irrespective of season, ADFI was higher ($P < 0.01$) for LW than CR sows (4,200 vs. 3,250 g/d). However, this difference was no longer significant ($P = 0.29$) when ADFI was considered with respect to metabolic BW (75.7 vs. 72.2 g.d⁻¹.kg^{-0.75} BW in LW and CR sows,

respectively). An interaction between breed and season was found for feed intake ($P < 0.10$). During the hot season, the decrease in ADFI (in $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ or in $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{kg}^{0.75}\text{BW}$) was more pronounced in LW than in CR sows (-920 vs. -480 g/d and -14.0 vs. -6.0 $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{kg}^{0.75}\text{BW}$). ADFI was not different among parities (3,680 vs. 3,770 g/d ; $P = 0.40$, in primiparous and multiparous sows, respectively) but when expressed with respect to $\text{BW}^{0.75}$, it was greater in primiparous than in multiparous sows (80.0 vs. 68.0 $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{kg}^{0.75}\text{BW}$, respectively; $P < 0.01$). After farrowing, LW sows were heavier than CR sows (233 vs. 172 kg, respectively; $P < 0.01$) and had thinner backfat thickness (21.0 vs. 37.0 mm; $P < 0.01$). The lactation BW loss was found to be affected ($P > 0.17$) neither by season nor by breed (8.4 kg on average). However, backfat thickness loss was higher in CR than in LW sows (4.5 vs. 2.5 mm; $P < 0.05$). Litter size at weaning was lower in CR than in LW sows (7.8 vs. 8.6 piglets; $P < 0.05$) but was affected neither by season ($P = 0.44$) nor by parity ($P = 0.99$). Between d 1 and weaning, piglet daily BW gain was higher during the warm than the hot season (210 vs. 190 g/d ; $P < 0.05$). It was also higher in LW than in CR sows (210 vs. 190 g/d ; $P < 0.05$). Estimated milk production per piglet was higher during the warm than during the hot season (740 vs. 680 g/d ; $P < 0.05$) and it was also affected by parity ($P < 0.01$) with greater values in multiparous than in primiparous sows (750 vs. 680 g/d).

Rectal temperature of the sows

Whatever the hour of measurement, RT increased from d -3 to d 7 (+ 0.9°C) and decreased from d 25 to d 32 (- 0.6°C) (Figure 2). RT_{av} was higher ($P < 0.05$) during the hot season than during the warm season from d 4 to d 11 and from d 21 to d 28 (Figure 2).

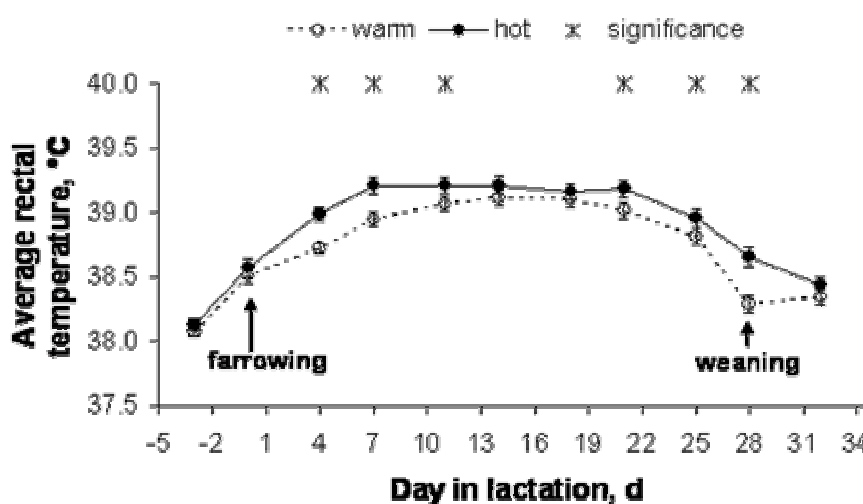


Figure 2 Effect of season on the kinetics of the average daily rectal temperature measured from d -3 to d 32 (least square means $\pm$ SEM); each point represents the least square mean of 111 lactations for both seasons; * rectal temperature was significantly affected by season ($P < 0.05$).

During the warm season, no significant differences in RT_{av} between breed with advancement of lactation were found (Figure 3). In contrast, RT_{av} was greater in LW sows at farrowing, from d 7 to d 11 and on d 21 during the hot season. Whatever the season, RT_{av} was higher ($P > 0.4$) in primiparous than in multiparous sows from d 4 to d 21, but the daily change was not affected by parity (Figure 4).

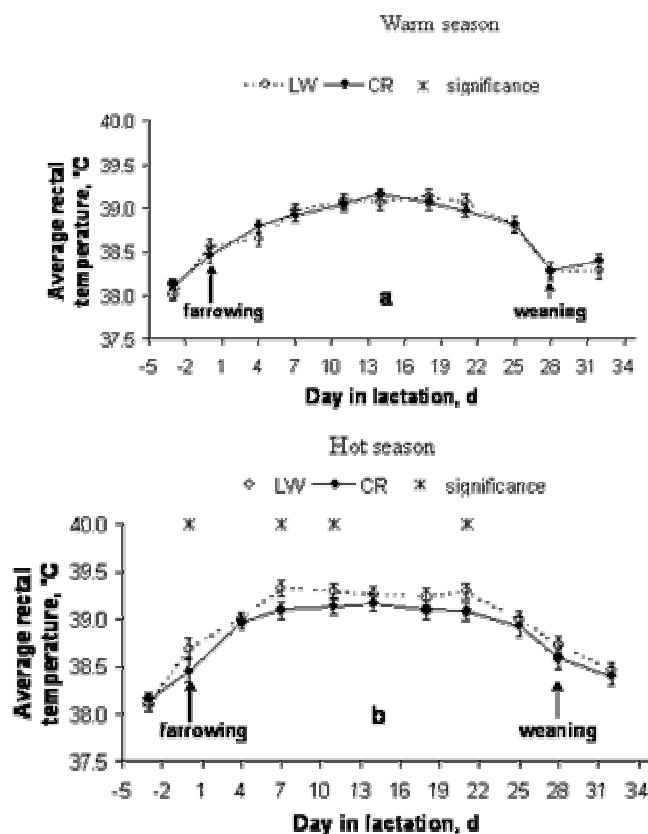
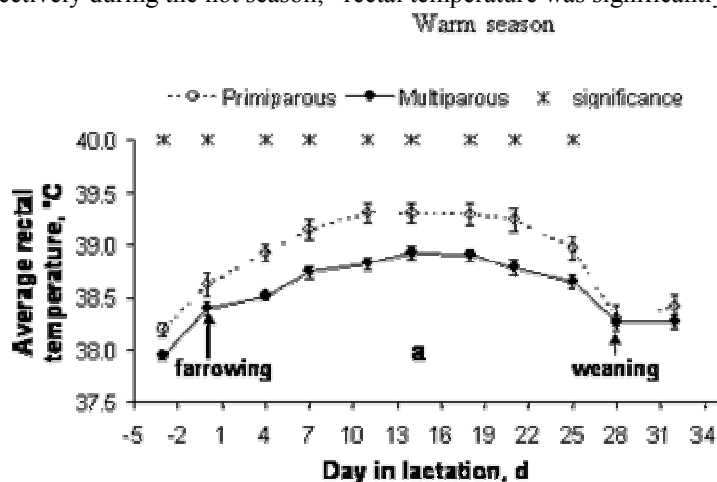


Figure 3 Effect of breed and season on the kinetics of the average daily rectal temperature measured from d -3 to d 32 (least square means $\pm$ SEM); each point represents the least square mean of 59 and 52 lactations of Large White and Creole sows, respectively during the warm season; 54 and 57 lactations of Large White and Creole sows, respectively during the hot season; * rectal temperature was significantly affected by season ($P < 0.05$)



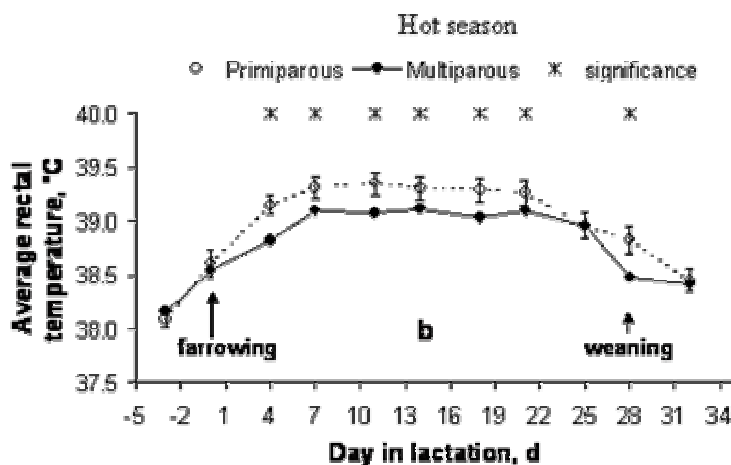


Figure 4 Effect of parity and season on the kinetics of the average daily rectal temperature measured from d -3 to d 32 (least square means $\pm$ SEM); each point represents the least square mean of 29 and 82 lactations of primiparous and multiparous sows, respectively during the warm season; 27 and 84 lactations of primiparous and multiparous sows, respectively during the hot season; * rectal temperature was significantly affected by season ($P < 0.05$)

The effects of breed, season and parity on the average daily RT during lactation (i.e., the average value from d 0 to d 28) are presented in Table 2.

Table 2 Effect of season, breed and parity on the average daily rectal temperature during lactation (least square means)

Item	Breed				Parity		SEM	Statistical analysis ^b
	Large White		Creole		Primiparous	Multiparous		
	Warm ^a	Hot ^a	Warm ^a	Hot ^a				
No. lactations	52	57	59	54	56	166		
No. sows	34	37	39	33	56	69		
Parity number	3.1	3.1	3.0	3.0	1.0	3.8		
RT _{av} , °C ^c	38.6 ^x	39.0 _y	38.7 ^z	38.9 ^w	38.8 ^w	38.7 ^z	0.2	S**, P**, B×S*, B×P*, G**
RT ₀₇ , °C ^c	38.2 ^x	38.5 _y	38.3 ^x	38.5 ^y	38.5 ^y	38.3 ^x	0.2	S**, P**, B×S†, B×P**, G**
RT ₁₂ , °C ^c	39.0 ^x	39.4 _y	39.0 ^x	39.3 ^z	39.2 ^z	39.1 ^x	0.2	S**, P*, B×S*, B×P*, G**
ΔRT ₁₂₋₀₇ , °C ^c	0.8 ^x	1.0 ^y	0.7 ^z	0.8 ^x	0.8 ^x	0.9 ^y	0.2	B*, S**, P*, G**

^a Warm season: November to April. Hot season: May to October.; ^b From an analysis of variance with a linear mixed model including the effects of breed (B), season (S), parity (P) and their interactions, and effect of group of sows within season (G) as fixed effects. The effect of sow was tested as a random effect. Statistical significance: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, † $P \leq 0.10$; RT_{av}: average daily rectal temperature; RT₀₇: average daily rectal temperature measured at 0700; RT₁₂: average daily rectal temperature measured at 1200; ΔRT₁₂₋₀₇: gradient RT₁₂ and RT₀₇; ^{w,x,y,z} In a row, for each main effect, least square means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

Whatever the time of measurement (0700 or 1200 h), RT was higher during the hot than during the warm season (38.9 vs. 38.6°C; $P < 0.01$). However, RT measured at 1200 (RT₁₂) was higher than RT₀₇ (39.2 vs. 38.3°C, on average) and its diurnal variation between 0700 and

1200 (ΔRT_{12-07}) was higher in hot than in warm season (0.9 vs. 0.8°C ; $P < 0.01$). Breed did not affect RT_{av} , RT_{07} , and RT_{12} but it had a significant effect on ΔRT_{12-07} with a higher value in LW than in CR sows (0.9 vs. 0.8 ; $P < 0.05$). Irrespective of the breed or the season, RT_{07} and RT_{12} were greater in primiparous than in multiparous sows (38.5 vs. 38.3°C and 39.2 vs. 39.1°C , at 0700 and 1200 h, respectively; $P < 0.05$) but ΔRT_{12-07} was greater in multiparous than in first parity sows (0.9 vs. 0.8°C ; $P < 0.05$). The breed $\times$ season interaction effect was found to be significant for both RT_{07} and RT_{12} measurements: during the hot season, the increase of RT being more pronounced in LW than in CR sows ($+ 0.3$ vs. $+ 0.1^\circ\text{C}$ for RT_{07} ; $P = 0.07$; $+ 0.5$ vs. $+ 0.3^\circ\text{C}$ for RT_{12} ; $P < 0.05$). A breed $\times$ parity interaction was found for RT_{07} and RT_{12} , (Figure 5): the difference between primiparous and multiparous sows was more pronounced in CR than in LW sows ($+ 0.3$ vs. $+ 0.1^\circ\text{C}$ for RT_{07} and $+ 0.1$ vs. $+ 0.0$ for RT_{12} , respectively; $P < 0.05$).

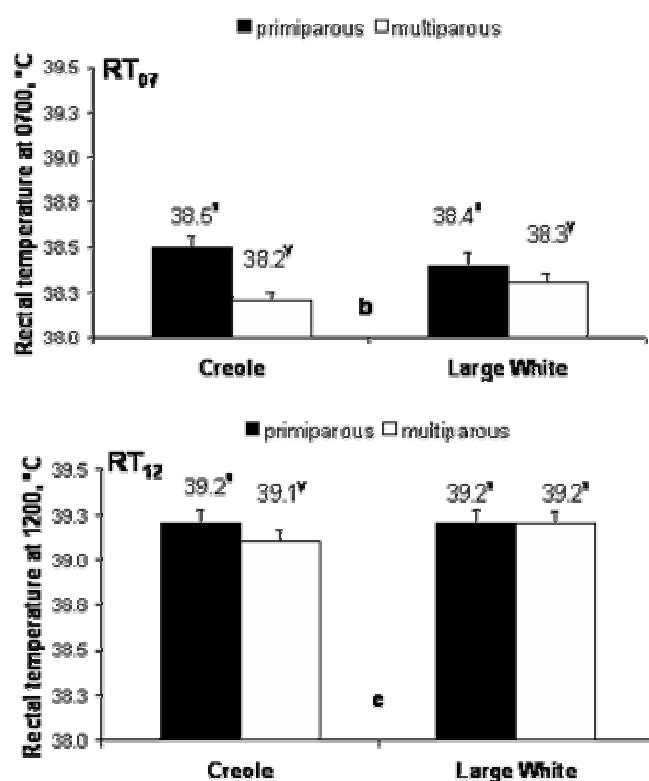


Figure 5 Effect of breed and parity on the average daily rectal temperature during lactation; ^{x y} least square means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$); each point is the least square mean of 56 lactations of primiparous sows (29 Large White and 27 Creole) and 166 lactations of multiparous sows (80 Large White and 86 Creole), respectively.

According to analyses of variance obtained with linear mixed models on RT_{07} , RT_{12} , the variance accounted for by individual sows represented 79 to 90 % of the total variance. As

showed in Figure 6, intra and inter-variability in RT at 0700 did not differ but variability for RT at 1200 was greater in LW than in CR sows ($P < 0.05$) and intra-variability was greater than inter-variability ($P < 0.05$).

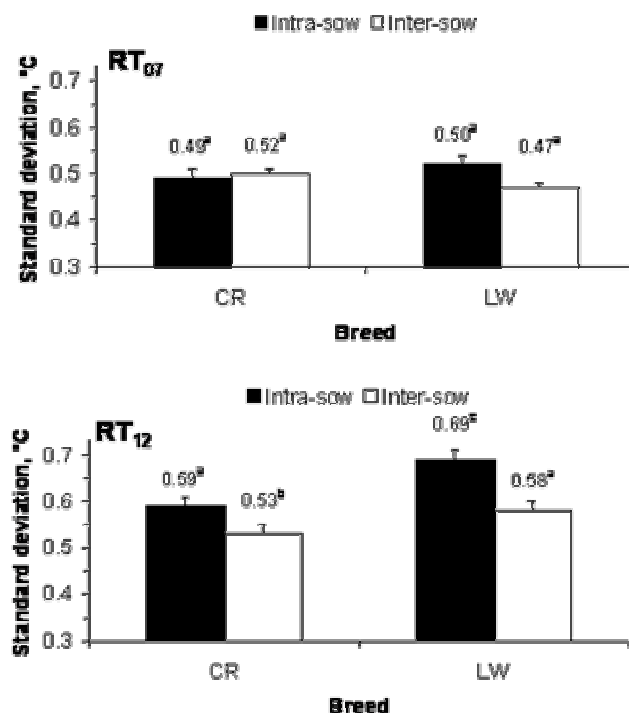


Figure 6 Intra and inter-variability analysis on rectal temperature at 0700 (RT₀₇), and rectal temperature at 1200 (RT₁₂) of Large White (LW) and Creole (CR) lactating sows; least square means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$); Each bar is the least square means (+ SEM) of 109 and 113 lactations of Large White and Creole sows, respectively.

DISCUSSION

Rectal temperature (RT) is one of the criteria most frequently used in the literature to characterize the animals thermoregulatory responses to heat stress (Holmes, 1973; Kadzere et al., 2002). Interpretations have often been based on the assumption that RT is the result of the entire thermoregulation process which mainly explains that RT was used to characterize the body ability to maintain the thermal balance in beef cattle (Amakiri and Funsho, 1979; Morris et al., 1989) or in pig (Renaudeau, 2005; Huynh, 2005). In addition, RT measurement is inexpensive and easily realizable. Finally, in genetic selection view, RT is one of the heat tolerance parameters for which estimations of heritability and correlations with other traits are available (Burrow, 2001; Mackinnon et al., 1991).

Effect of hour of measurement and stage of lactation on rectal temperature

Independently of season, rectal temperature (RT) was higher at 1200 h (RT₁₂) than at 0700 h (RT₀₇). In fact, RT₀₇ and RT₁₂ coincide with the minimum values (i.e. 21.7 and 24.2°C around 0700 in the warm and the hot seasons, respectively) and the maximum values (i.e. 28.2 and 31.9°C in the warm and the hot seasons, respectively) of ambient temperature. According to previous results reported in buffaloes (Koga et al., 1999; Sethi et al., 1992) or in pigs (Korthals et al., 1999), diurnal variation of body temperature follows that of ambient temperature, suggesting that in addition to feeding behaviour and physical activity, circadian rhythm of body temperature is affected by changes in external ambient temperature.

Whatever the hour of measurement, RT increased at farrowing (i.e. from d -3 to d 4), remained relatively constant thereafter during lactation and decreased after weaning (i.e., from d 28 to d 32). Similar variations in RT were obtained by Prunier et al. (1997) in primiparous sows and by Littledike et al. (1979) and Renaudeau et al. (2001) in multiparous sows. From these results, it can be hypothesized that the increase in RT during lactation is a direct consequence of the increase in metabolic heat production (HP) related to milk synthesis. Likewise, the decrease in RT after weaning reflects a decline in HP related to the interruption of milk synthesis with weaning.

From d 4 to d 25, RT remained constant which agrees with findings of Quiniou and Noblet (1999) and Renaudeau et al. (2001) in sows kept at 29°C during the whole lactation period. These authors suggested a quick acclimation to high temperature (within 3 days) not followed by a further adaptation thereafter. In contrast, Schoenherr et al. (1989) and more recently Spencer et al. (2003) noted a significant decrease of RT during lactation, and suggested a possible long term acclimation to elevated temperature (i.e. 32°C) as lactation progressed. The discrepancy between both sets of results could be related to the difference in ambient temperature (29 vs. 32°C) and it can be hypothesized an existence of a threshold of ambient temperature from upwards long-term acclimation responses to elevated ambient temperature.

In a recent study, Thiel et al. (2004) showed that HP in sows did not vary significantly between wk 2 and wk 4 of lactation whereas feed intake and milk production increased. They suggested that constant HP throughout the lactation period could be related to a better efficiency of ME utilisation for milk production. In the present work, ADFI was also relatively constant but milk production increased with the advancement of lactation (results not shown). Because the efficiency of utilization of dietary ME is lower than that of energy from body reserves (72 vs. 88 %, Noblet et al., 1990) and assuming that heat loss capacity did not vary over the lactation period, it can be hypothesized that a constant HP and, consequently a constant RT, with advancement of lactation would be related to an overall increase of

energy efficiency for milk production. This is probably due to either an increase of body reserves mobilization or to an increase of efficiency of dietary ME utilization for milk production or some combinations of them.

Effect of season on rectal temperature

Under tropical humid climate conditions, average daily ambient temperature frequently exceeds the evaporative critical temperature (i.e. estimated at about 22°C by Quiniou and Noblet, 1999). Consequently, sows were heat stressed most of the time during lactation under our conditions. Moreover, infrared lights providing supplemental heat for the piglets may have emphasized the effect of elevated ambient temperatures.

A high RT value recorded in hot season (i.e. 38.9 °C) implies that thermogenesis exceeds thermolysis or that heat loss mechanisms are saturated. When we compare warm and hot seasons in LW sows, RT_{av} increased by about 0.15°C for each degree rise in ambient temperature (i.e. between 24.1 and 26.0°C). According to the results of Renaudeau (2005) and Huynh (2005) obtained in growing pigs, high relative humidity (RH) increases the threshold temperature at which RT begins to increase (i.e. upper critical temperature) and the RT response to rise in ambient temperature. Thereafter, it can be suggested that high RH encountered in a tropical humid climate accentuates the negative effect of elevated temperature on sow RT.

The ADFI in LW sows was reduced by about 900 g/d in hot season but the associated reduction of metabolic HP was insufficient to prevent an increase of RT during hot season. In fact, according to the low residual correlation coefficients, the relationship between ADFI and RT remains unclear in LW sows, implying that the reduced ADFI has no direct effect on RT. This finding is in contradiction with the literature in lactating sows (Lorschy et al., 1991; Quiniou and Noblet, 1999) and in lactating cows (Spiers D.E. et al., 2004; Nardone, 1998). In these latter studies, climatic conditions were experimentally controlled and the range of temperature was higher than that of our uncontrolled conditions. Finally, this suggests that in our experimental conditions, other uncontrolled factors would be interacting in the relationship between RT and ADFI.

In the present study, it seems that different strategies were adopted by lactating sows to cope with hot conditions. According to a multiple correspondence analysis and a cluster analysis (not presented), some sows (21 %) decreased their feed consumption to reduce their heat production and to avoid an accentuated increase of their RT whereas others maintained their feed intake with an increase of their RT. In the literature, differences between individuals have been found in physiological responses (Hagen et al., 2005; Refinetti and Piccione,

2005). In the present study, individual variability accounted for more than 79 % of the variance. That suggests that genetic variations as well as phenotypic differences in RT affects variability of lactating sow. In cattle and in poultry, moderate heritability of RT was estimated ($h^2 = 0.29$ on average) (Morris et al., 1989; Taouis et al., 2002; Turner, 1982 and 1984) with moderate to high phenotypic and genetic correlations between RT and variables of production performance. Furthermore, in the present study, the analysis of intra and inter-variability in daily RT change showed that intra-variability was greater than inter-variability. This finding suggests that an 'average' lactating sow is a sensible notion, but daily adjustments in daily RT differs between sows. As reported by Renaudeau et al. (2004), genetic and phenotypic estimations based on daily fluctuation in RT may be different than estimations based on average RT parameters

Effect of parity on rectal temperature

In the present study, RT was greater in first parity than in multiparous lactating sows. To our knowledge, the effect of parity on rectal temperature is poorly documented in lactating sows. In lactating buffaloes, Sethi et al. (1992) found no statistical difference between parities, but according to a lower respiration rate in primiparous, the authors suggested a greater heat tolerance capacity in younger animals. In lactating cows, Saama and Mao (1993) did not found an effect of parity on cow's heat production. Surprisingly, in a simulation based on the same milk production and the same body reserves mobilization, Makkink and Schrama (1998) found an increase in the upper critical temperature with increasing sow BW. In contrast, a probable increase of thermogenesis associated with a higher fasting heat production and HP related to the rise of milk production would have to make the multiparous more sensible to heat stress.

From our results, it has been hypothesized that a decrease of ME efficiency for milk production and (or) a decrease of heat loss efficiency could explain the lower ability to maintain homeothermia in primiparous sows. Assuming that maintenance requirement of metabolizable energy is $456 \text{ kJ/kg}^{0.75}$ (Noblet and Etienne, 1987), the amount of dietary ME above maintenance available for milk production was higher in primiparous than in multiparous sows (80.0 vs. $68.0 \text{ g.d}^{-1}.\text{kg}^{-0.75}\text{BW}$) whereas milk yield was found to be slightly lower in first parity sows. In fact, ME intake in primiparous sows was used to meet both growth and milk production requirements which could explain the lower apparent efficiency of dietary ME for milk synthesis.

Furthermore, it can not be excluded that lower RT observed in multiparous sows is an indirect consequence of culling policy of our experimental herd; after the first weaning, sows are

culled mainly for reasons involving reproductive failure (non return in oestrus, fertility problems) and lactation failure (low milk production or prolificacy, locomotion problems). Consequently, it can be suggested that the discarded sows after first lactation were those with a reduced ability to acclimate to hot conditions. In addition, when RT evolution of lactating sows was analysed in 3 consecutive parities (from parity 1 to parity 3 and corrected for BW, VFI and milk production differences, results not presented), a linear decrease of RT with parity was observed ($-0.096\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P < 0.05$), suggesting a long term adaptation to heat stress with age.

Effect of breed on rectal temperature

The effect of breed on thermoregulation capacity is poorly documented in pigs. Herpin et al. (2004) reported similar cold thermoregulatory abilities between Meishan and European piglets at birth, but different BW effect within breed on thermoregulatory capacity. In beef cattle, Finch (1985) measured a more efficient thermolysis in Brahman than in Shorthorn cattle. Koga et al. (1999) indicated that RT was lower in buffaloes than in cows but the amplitude of diurnal change of RT was greater in buffaloes. The authors attributed this fact to a lower basal heat production in buffaloes, but also to a greater heat transport through changes in blood flow.

In the present study, the average RT calculated for the whole lactation period (i.e. from d 0 to d 28) was comparable for both breeds but diurnal variation in RT was slightly greater in LW than in CR sows which contrasts with results of Koga et al. (1999). Furthermore, with regard to residual correlations between RT and performance during lactation, it seems that factors susceptible to affect RT variation differ between breeds. Indeed, our study indicates that RT of LW sows was more associated with body condition at farrowing and milk production for primiparous sows and body change during lactation for multiparous sows, whereas RT variation in CR sows was more related to change in feed intake level. However, with this set of data, correlation coefficients were not accurate enough for predictive purposes.

In contrast to other species like ruminant or poultry (as reviewed by Nardone, 1998; West, 2003), limited information is available in pigs about the combined effect of heat stress and breed on RT. Breed differences have been reported for responses to heat stress between halothane positive and negative pigs with higher RT and heat production in pigs possessing the halothane gene (Aberle et al., 1975; Tauson et al., 1998).

Based on ADFI data, our study shows that the negative effect of hot season was more attenuated in CR than in LW sows. Similarly, the average RT was lower in CR and LW sows during the hot season. The between breed difference may be the result of a lower

thermogenesis or of a better capacity for dissipating heat in CR than in LW sows. A previous study (Gourdine et al., 2006b) indicated that whatever the season, physical activity during lactation, i.e., the duration of the standing or sitting position, did not differ between LW and CR sows. Consequently, it can be excluded that between breed difference in RT change with season is due to differences in physical activity during lactation, but rather in fasting and metabolic HP differences as a result of differences in body condition and in production level. Indeed, fasting HP is a function of BW and body composition (van Milgen et al., 1998; Noblet et al., 1999). Consequently, according to their lower BW and their greater body fat content, it can be assumed that fasting HP of CR sows is lower than LW sows. Similarly, lower feed intake in CR sows, related to lower milk production, may result in lower metabolic HP. Furthermore, the better heat tolerance in CR than in LW sows may be attributable to their greater thermolysis capacity. In an experiment involving a low number of crossbred CR $\times$ LW and purebred LW piglets ($n = 4$), Berbigier (1975) showed a better non-evaporative heat loss capacity in crossbred piglets. This hypothesis agrees with the results reported by Finch (1985) in a beef cattle comparison. The author suggested a great contribution of ability to dissipate heat non-evaporatively in the regulation of body temperature. In growing pigs, Renaudeau (2005) found that the upper critical temperature is slightly greater and the increase in RT above 30°C is reduced in CR pigs than in LW pigs. However, further studies in pigs are needed to understand the effect of breed to season interaction on thermoregulation responses.

IMPLICATIONS

The present study confirms the negative effect of hot season on sow's performance and RT. Even if the sow decreases its metabolic heat production level, RT increases during the hot season. Furthermore, our results show an improved heat tolerance with parity, suggesting that mechanisms involved in heat stressed sows are different between primiparous and multiparous sows. Finally, this study also indicates that CR sows would have a better tolerance to heat stress than LW sows, probably related to a lower heat production due to a lower BW and a lower production level and probably combined with a better heat loss capacity. However, further studies are required to examine the genetic variation among sows, both between and within breed.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the Guadeloupe Region and the European social funds and the technical assistance of C. Anaïs, K. Benony, B. Bocage, M. Bructer, M. Giorgi, G. Gravillon, A. Racon, F. Silou and J-L. Weisbecker.

REFERENCES

- Aberle, E. D., R. A. Merkel, J. C. Forrest, and C. W. Alliston. 1975. Physiological responses of stress susceptible and stress resistant pigs to heat stress. *J. Anim. Sci.* 38:954-959.
- Amakiri, S. F. and O. N. Funsho. 1979. Studies of rectal temperature, respiratory rates and heat tolerance in cattle in the humid tropics. *Anim. Prod.* 28:329-335.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Washington, DC.
- Berbigier, P. 1975. Echanges thermiques au niveau de la peau des porcelets élevés en climat tropical 1. Influence des conditions climatiques et de la race. *Ann. Zootech.* 24:423-432.
- Berbigier, P. 1988. Description des climats équatoriaux et tropicaux. Pages 11-18 in INRA (Ed.) *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*.
- Black, J. L., B. P. Mullan, M. L. Lorsch, and L. R. Giles. 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livest. Prod. Sci.* 35:153-170.
- Burrow, H. M. 2001. Variances and covariances between productive and adaptative traits and temperament in composite breed of tropical beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 70:213-233.
- Canope, I. and Y. Raynaud. 1980. Etude comparative des performances de reproduction des truies de races Créoles et Large White en Guadeloupe. *Annales de Génétiques et de Sélection Animale*. 12 :267-280.
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, A. Prunier, and J. Noblet. 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livest. Prod. Sci.* 40:97.
- Finch, V. A. 1985. Comparison of non evaporative heat transfert in different cattle breeds. *Aust. J. Agric. Res.* 36:497-508.
- Gourdine, J. L., H. Quesnel, J. P. Bidanel, and D. Renaudeau. 2006a. Effects of season, parity and lactation on reproductive performance of sows in a tropical humid climate. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19 (accepted)
- Gourdine, J. L., J. P. Bidanel, J. Noblet, and D. Renaudeau. 2006b. Effects of season and breed on the feeding behavior of multiparous lactating sows in a tropical humid climate. *J Anim Sci.* 84:469-480.
- Hagen, K., J. Langbein, C. Schmied, D. Lexer, and S. Waiblinger. 2005. Heart rate variability in dairy cow-influences of breed and milking system. *Physiol. Behav.* 85:195-204.

Herpin, P., A. Vincent, and M. Damon. 2004. Effect of breed and body weight on thermoregulatory abilities of European (Piétrain x (Landrace x Large White)) and Chinese (Meishan) piglets at birth. *Livest. Prod. Sci.* 88 : 17-26.

Holmes, M. A. 1973. The energy and protein metabolism of pigs growing at a high temperature. *Anim. Prod.* 16:117-133.

Huynh, T. T. T. 2005. Heat stress in growing pigs. PhD. Thesis Wageningen Institute of Animal Science, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silznikove, and E. Maltz. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77:59-91.

Koga, A., K. Kurata, R. Furukawa, M. Nakajima, Y. Kanai, and T. Chikamune. 1999. Thermoregulatory responses of Swamp Buffaloes and Friesian Cows to Diurnal Changes in Temperature. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 12:1273-1276.

Korthals, R. L., R. A. Eigenberg, G. L. Hahn, and J. A. Nienaber. 1999. Measurements and spectral analysis of tympanic temperature regulation in swine. *Transactions Am. Soc. Agric. Eng.* 38:905-909.

Labroue, F., L. Maignel, P. Sellier, and J. Noblet. 1999. Consommation résiduelle chez le porc en croissance alimenté à volonté: méthode de calcul et variabilité génétique. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 31:167-174.

Littledike, E. T., D. A. Witzel, and J. L. Riley. 1979. Body temperature changes in sows during the periparturient period. *Laboratory Anim. Sci.* 5:621-624.

Lorsch, M. L., L. R. Giles, C. R. Smith, J. M. Gooden, and J. L. Black. Food intake, heat production and milk yield of lactating sows exposed to high temperature. Page 81 in *Manipulating Pig Production*. APSA Committee (ed.). Australasian Pig Science Assoc. Animal Research Institute, Werribee, Australia.

Mackinnon, M. J., K. Meyer, and D. J. S. Hetzel. 1991. Genetic variation and covariation for growth, parasite resistance and heat tolerance in tropical cattle. *Livest. Prod. Sci.* 27:105-122.

Makkink, C. A. and J. W. Schrama. 1998. Thermal requirements of the lactating sow. Pages 271-284 in *The lactating sow*. M. W. Verstegen, P. J. Moughan, and J. W. Schrama (Eds.), Wageningen, The Netherlands.

Morris, C. A., K. R. Jones, and J. A. Wilson. 1989. Heritability of rectal temperature and relationships with growth in young cattle in a temperate climate. *N. Z. J. Agric. Res.* 32:375-378.

Nardone, A. 1998. Thermoregulatory capacity among selection objectives in dairy cattle in hot environment. *Zootc. Nutr. Anim.* 6:295-306.

Noblet, J., J. Y. Dourmad, and M. Etienne. 1990. Energy Utilization In Pregnant and Lactating Sows: Modelling of Energy requirements. *J. Anim. Sci.* 68:562-572.

Noblet, J. and M. Etienne. 1987. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in lactating sows. *J. Anim. Sci.* 64:774-781.

- Noblet, J. and M. Etienne. 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *J. Anim. Sci.* 67:3352-3359.
- Noblet, J., C. Karege, S. Dubois, and J. van Milgen. 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J. Anim. Sci.* 77:1208-1216.
- NRC. 1998. Nutrient Requirement of Swine 10th ed.. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Nunez-Anton, V. and D. L. Zimmerman. 2000. Modeling nonstationary longitudinal data. *Biometrics* 56:699-705.
- Prunier, A., M. Messias de Bragança, and J. Le Dividich. 1997. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livest. Prod. Sci.* 52:123-133.
- Quiniou, N. and J. Noblet. 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 77:2124-2134.
- Refinetti, R. and G. Piccione. 2005. Intra- and inter-individual variability in the circadian rhythm of body temperature of rats, squirrels, dogs, and horses. *J. Therm. Biol.* 30:139-146.
- Renaudeau, D. 2001. Adaptation nutritionnelle et physiologique aux températures ambiantes élevées chez la truie en lactation. Thesis, Univ. Rennes I, Rennes, France.
- Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Carribbean (Creole) restrictively fed growing pigs. *Anim. Res.* 54:81-93.
- Renaudeau, D., N. Mandonnet, M. Tixier-Boichard, J. Noblet, and J. P. Bidanel. 2004. Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs : la voie génétique. *Prod. Anim.* 17:93-108.
- Renaudeau, D., N. Quiniou, and J. Noblet. 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 79:1240-1249.
- Rinaldo, D., I. Canope, R. Christon, C. Rico, J. Ly and F. Dieguez. 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 Inform.* 24:17N-26N.
- Saama, P. M. and I. L. Mao. 1993. Sources of variation in partitioning of intake energy for lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 76:1334-1341.
- Schoenherr, W. D., T. S. Stahly, and G. L. Cromwell. 1989. The effects of dietary fat or fiber addition on energy and nitrogen digestibility in lactating, primiparous sows housed in a warm or hot environment. *J. Anim. Sci.* 67:473-481.
- Sethi, R. K., A. Bharadwaj, and S. C. Chopra. 1992. Effect of heat stress on buffaloes under different shelter strategies. *Indian J. Anim. Sci.* 64:1282-1285.

Spencer, J. D., R. D. Boyd, R. Cabrera, and G. L. Allee. 2003. Early weaning to reduce tissue mobilization in lactating sows and milk supplementation to enhance pig weaning weight during extreme heat stress. *J. Anim. Sci.* 81:2041-2052.

Spiers D.E., J. N. Spain, J. D. Sampson, and R. P. Rhoads. 2004. Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat stressed dairy cows. *J. Therm. Biol.* 29:759-764.

Taouis, M., V. De Basilio, S. Mignon-Gastreau, S. Crochet, C. Bouchot, K. Bigot, A. Collin, and M. Picard. 2002. Early age thermal conditionning reduces uncoupling protein messenger RNA expression in pectoral muscle of broiler chicks at seven days of age. *Poult. Sci.* 80:1640-1643.

Tauson, A. H., A. Chwalibog, J. Ludvigsen, K. Jakobsen, and G. Thorbek. 1998. Effect of Short-term exposure to high ambient temperatures on gas exchange and heat production in boars of different breeds. *Anim. Sci.* 66:431-440.

Thiel, P. K., H. Jorgensen, and K. Jakobsen. 2004. Energy and protein metabolism in lactating sows fed two levels of dietary fat. *Livest. Prod. Sci.* 89:265-276.

Turner, H. G. 1982. Genetic variation of rectal temperature in cows and its relationship to fertility. *Anim. Prod.* 35:401-412.

Turner, H. G. 1984. Variation in rectal temperature of cattle in a tropical environment and its relation to growth rate. *Anim. Prod.* 38:417-427.

van Milgen, J., J. F. Bernier, Y. Le Cozler, S. Dubois, and J. Noblet. 1998. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *Br. J. Nutr.* 79:509-517.

West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131-2144

4.3. Publication n°6

Genetic parameters of rectal temperature in sows in a tropical humid climate and its association with performance during lactation: preliminary results

Jean-Luc Gourdine, Nathalie Mandonnet, Michel Naves, Jean-Pierre Bidanel et David Renaudeau

(accepté au 8^{ème} World Congress on Genetics applied to Livestock Production)

Résumé :

Les paramètres génétiques de la température rectale de la truie allaitante, mesurée à 0700 et à 1200 (RT₇ and RT₁₂), de l'écart entre RT₁₂ et RT₇ (dRT), de la consommation moyenne journalière de la truie en période *ad libitum* (DFI), de la vitesse de croissance de la portée (LGR) et de la perte de poids en lactation relativement au poids vif à la mise bas de la truie (BWL) ont été estimés chez des truies allaitantes Large White élevées en milieu tropical humide. Les héritabilités h^2 sont de $0,28 \pm 0,03$, $0,32 \pm 0,05$ et de $0,49 \pm 0,14$ pour RT₇, RT₁₂ et dRT, respectivement. Les héritabilités pour DFI, LGR et BWL sont faibles. Les corrélations génétiques entre les caractères de thermorégulation et les caractères de performance en lactation varient entre $-0,63 \pm 0,13$ (entre RT₁₂ et LGR) et $0,87 \pm 0,42$ (entre dRT et BWL). Ces résultats préliminaires suggèrent l'existence d'une variabilité génétique de la thermorégulation.

ABSTRACT : Genetic parameters of rectal temperature measured at 0700 and 1200 (RT_7 and RT_{12}), the difference between RT_{12} and RT_7 (dRT), daily feed intake during *ad libitum* period in lactation (DFI), litter growth rate (LGR) and sow relative body weight loss during lactation (BWL) were estimated in Large White lactating sows reared in a tropical humid climate. h^2 were 0.28 ± 0.03 , 0.32 ± 0.05 and 0.49 ± 0.14 for RT_7 , RT_{12} and dRT. The h^2 for DFI, LGR and BWL were low. Genetic correlations between thermoregulation and performance traits in lactation ranged from -0.63 ± 0.13 (between RT_{12} and LGR) to 0.87 ± 0.42 (between dRT and BWL). These preliminary results show the existence of genetic variability for thermoregulation.

GENETIC PARAMETERS OF RECTAL TEMPERATURE IN SOWS IN A TROPICAL HUMID CLIMATE AND ITS ASSOCIATION WITH PERFORMANCE DURING LACTATION: PRELIMINARY RESULTS

J.L. Gourdine¹, N. Mandonnet¹, M. Naves¹, J.P. Bidanel² and D. Renaudeau¹

Institut National de la Recherche Agronomique, France

¹Station de Recherches Zootechniques, Domaine Duclos 97170 Petit Bourg, Guadeloupe (F.W.I.)

²Station de Génétique Quantitative et Appliquée 78352 Jouy-en-Josas Cedex

INTRODUCTION

In tropical areas, ambient temperature and humidity are frequently high. Moreover, buildings for animal production systems are usually opened or semi-opened to the outdoor ambient environment. Under these conditions, lactating sows, more than pigs in other physiological stages, often suffer from heat stress because of their high nutrient requirements. In consequence, sow performances are dependent on their ability to tolerate heat (Gourdine et al., 2004).

To establish whether the selection of sows for heat tolerance is feasible, genetic variation of thermoregulation traits and its relationships with production traits must be better understood. In contrast to other species like ruminants (Turner, 1984; Burrow, 2001) or chickens (Obeidah et al., 1974; Taouis et al., 2002), genetic variation for thermoregulation criteria is poorly known in the pig.

Inner temperature of homeothermic animals like pig is the result of the entire thermoregulation process, its measurements by rectal temperature is simple and the material is inexpensive.

The objective of this preliminary study is to evaluate genetic parameters of thermoregulation and its association with performance during lactation in our tropical humid experimental conditions, through rectal temperature measurements of Large White (LW) lactating sows.

MATERIAL AND METHODS

Data. The data used in this study were collected in LW lactating sows between 1999 and 2005 at the INRA experimental farm of Duclos – Petit Bourg, in the French West Indies (Lat. 16°N, Long 61°W). This area is characterized by a tropical humid climate. Two seasons of lactation were determined from means and daily variations in ambient and relative humidity recorded near the experimental farm: a warm season from November to April (ambient temperature: $23.8 \pm 0.8^\circ\text{C}$; relative humidity: $86.0 \pm 8.7\%$) and a hot season from May to October ($26.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$; $83.3 \pm 10.5\%$). The 94 lactating sows were the progenies of 24 sires and 57 dams; a total of 356 litters were produced. The pedigree of each generation (sires and dams) till foundation generation was available and used in this study (246 animals).

The lactation diet was formulated to meet or exceed requirements for all nutrients and sows were fed *ad libitum* from day 6 *post-partum*. Lactation length was approximately 4 weeks (27.4 ± 2.4 d on average). Sow body weight (BW) was measured on the day after farrowing and at weaning and piglets were individually weighed each week, from birth to weaning. Sow BW loss was expressed as a percentage of BW at farrowing. During the 48-h post farrowing period, litter size was standardized by cross-fostering at 10 or 11 piglets per litter. For all sows, daily feed intake was determined as the difference between the amount of feed offered and the amount of refusals collected on the next morning. Rectal temperature was measured twice daily with a digital thermometer (Microlife Corporation, Paris, France), every Monday and Thursday during the lactation period.

The traits analyzed were rectal temperature during lactation measured at 0700 (RT₇) and at 1200 (RT₁₂), and the difference between RT₁₂ and RT₇ (dRT), daily feed intake during *ad libitum* period in lactation (DFI), litter growth rate (LGR) and sow relative body weight loss during lactation (BWL).

Statistical analysis. All traits were normally distributed so that standard mixed linear model procedures were considered adequate to analyze the data. The VCE program (Kovac et al., 2002) was used to estimate genetic parameters by Restricted Maximum Likelihood Methodology applied to univariate and multivariate animal models. Two levels of repetition were considered: successive lactations of the same sow and for RT₇, RT₁₂, dRT and DFI repeated measurements during lactation on the same trait. LGR and BWL were single traits. Because of the low number of sows per batch, contemporaneous groups were formed by the combination of consecutive batches within the same season and the same year (20 groups).

For univariate analyses, the model for repeated data included the batch-season-year interaction, the parity (1,2-3 and more than 3) and the stage of lactation as fixed effects, with the direct additive genetic value of each sow,

the maternal permanent environment effect, the effect of repeated measurements of the sow within the same lactation and the residual as random effects. The same model, but without the stage of lactation effect was used for LGR and BWL. Metabolic body weight was added as a covariate for DFI and LGR.

For multivariate analysis, mean values of repeated data (RT₇, RT₁₂, dRT and DFI) were considered. The data set was too small to allow a single five-trait REML analysis. Hence, fifteen successive bivariate analyses were performed with the same model as for univariate analyses.

RESULTS AND DISCUSSION

Means and estimated phenotypic and genetic standard deviations are presented in table 1.

In our experimental tropical humid conditions, the daily feed intake of LW lactating sows during the fed-to-appetite period averaged 4.73 kg/d, litter growth rate was around 1.93 kg/d and sows lost on average 0.072 of their BW at farrowing. Rectal temperature was higher at 1200 (RT₁₂) than at 0700 (RT₀₇) which coincides with the higher values of ambient temperature at 1200 (28.2 and 31.9°C in the warm and the hot seasons, respectively) than at 0700 (21.7 and 24.2°C in the warm and the hot seasons, respectively).

Table 1. Means, phenotypic and additive genetic standard deviation

Traits	N	Mean	Phenotypic S.D	Genetic S.D.
Rectal temperature, °C				
RT ₇	2,647	38.53	0.56	0.30
RT ₁₂	1,219	39.58	0.68	0.39
dRT	1,219	1.02	0.26	0.18
Lactating traits				
DFI, kg/d	7,082	4.73	1.32	0.13
LGR kg/d	356	1.93	0.39	0.00
BWL	356	0.072	0.034	0.013
Parity	356	3.4	1.9	-
Metabolic body weight ^A , kg ^{0.75}	356	60.31	7.02	-

^A Metabolic body weight was calculated as $(BWw^{1.75} - BWf^{1.75}) / [(1.75 \times (BWw - BWf))]$ where BWw = sow BW at weaning and BWf = sow BW at farrowing.

The estimated heritabilities, phenotypic and genetic correlations obtained for the 6 traits analysed are shown in table 2.

Table 2. Estimates of heritability (diagonal), phenotypic (below diagonal) and genetic (above diagonal) correlations between the traits studied

	RT ₇	RT ₁₂	dRT	DFI	LGR	BWL
RT ₇	0.28 ± 0.03	0.91 ± 0.03	0.29 ± 0.15	0.82 ± 0.67	-0.35 ± 0.12	0.16 ± 0.69
RT ₁₂	0.78	0.32 ± 0.05	0.70 ± 0.05	0.67 ± 0.23	-0.63 ± 0.13	-0.18 ± 0.04
dRT	-0.06	0.58	0.49 ± 0.14	0.88 ± 0.43	-0.61 ± 0.25	0.87 ± 0.42
DFI	0.05	0.13	0.20	0.01 ± 0.03	-0.96 ^A	0.52 ± 0.45
LGR	-0.12	-0.26	-0.63	0.33	0.00 ± 0.00	0.75 ^B
BWL	0.15	0.09	0.04	0.18	0.50 ^B	0.14 ± 0.1

^A: no convergence, best point found; ^B: no convergence but variation between iterations tended toward zero

Heritability estimates for RT₇ and RT₁₂ were moderate and were close to available estimations of rectal temperature in other species (Obeidah *et al.*, 1974; Turner, 1984). These results suggest that selection may change thermoregulation capacity in lactating sows in LW breed. However, inner temperature of homeothermic animals is a constrained trait which tends to return to a basis value (around 38.7°C for sows). Consequently, the possibility to select animals for lower rectal temperature is questionable. It is possible that genetic estimation of thermoregulation parameters made from fluctuation with diurnal or seasonal variation is more interesting (Koga *et al.*, 2004). In the present study, heritability and variability for dRT was higher and it seems to be more useful.

Estimates of heritability for performance during lactation (DFI, LGR and BWL) were lower than usual values reported in the literature (Rydhmer, 2000). As reviewed by Eissen (2000), voluntary feed intake is a heritable trait which can depend on the stage of lactation.

Estimates of phenotypic correlations showed large positive correlations between RT₇ and RT₁₂. Phenotypic correlations between thermoregulation traits (RT₇, RT₁₂ and dRT) and both DFI and BWL were low. Low to large negative phenotypic correlations were obtained between thermoregulation traits and LGR. Performance traits during lactation (DFI, LGR and BWL) were positively correlated.

The genetic correlations were estimated with large standard errors so that the associations between thermoregulation and performance traits in lactation have to be interpreted with caution. However, a negative correlation between thermoregulatory parameters and LGR can be observed. In tropical beef cattle, negative genetic correlations were found between rectal temperature and growth performance (Turner, 1984; Mackinnon et al., 1991), suggesting that selection for production traits in tropical environment will be most effective in conjunction with selection for heat tolerance.

CONCLUSION

This preliminary study shows the existence of a genetic variability for thermoregulation in our population of Large White sows, which means that there is space for breeding methods. However, additional studies and observations are required to confirm our results and evaluate the relationship between rectal temperature and production parameters, in order to establish an adequate selection criterion with an optimum between production traits and adaptation traits.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to the staff of Duclos experimental unit for technical assistance.

REFERENCES

- Burrow, H. M. (2001) *Livest. Prod. Sci.* **70** : 213-233.
- Eissen, J. (2000) PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Gourdine, J.L., Renaudeau, D., Noblet, J. and Bidanel, J.P. (2004) *Anim. Sci.* **79** : 273-282.
- Koga, A., Sugiyama, M., Del Barrio, A.N., Lapitan, R.M., Arenda, B.R., Robles, A.Y., Cruz, L.C. and Kanai, Y. (2004). *J. Agric. Sci.* **142** : 351-355.
- Kovač, M., Groeneveld, E. and García-Cortés, L.A. (2002) *Proc 7th WCGALP*, CD-ROM Communication No.28-06.
- Mackinnon, M.J., Meyer, K. and Hetzel, D.J.S. (1991) *Livest. Prod. Sci.* **27** : 105-122.
- Obeidah, A., Mostageer, A. and Shafie, M.M. (1974) *Ann. Génét. Sél. Anim.* **6** : 267-274.
- Rydhmer, L. (2000) *Lives. Prod. Sci.* **66** : 1-12.
- Taouis, M., De Basilio, V., Mignon-Gastreau, S., Crochet, S., Bouchot, C., Bigot, K., Collin, A. and Picard, M. 2002. *Poult. Sci.* **80** : 1640-1643.
- Turner, H.G. (1984) *Anim. Prod.* **38** : 417-427

4.3. Principaux enseignements de l'étude expérimentale 4

Dans nos conditions expérimentales, la température rectale (TR) de la truie en lactation fluctue pendant la journée, et elle avoisine 39,0°C lors des périodes les plus chaudes de la journée (i.e., à 12 heures). Par ailleurs, pendant la lactation, la TR des truies est en moyenne plus élevée en saison chaude qu'en saison fraîche. Ceci indique qu'en dépit de la réduction de la production de chaleur associée à la chute de l'appétit en saison chaude, la truie allaitante n'est pas capable de maintenir l'homéothermie, en raison de la saturation des mécanismes d'évacuation de la chaleur.

Ce travail met en évidence un effet du rang de portée de la truie, avec des valeurs de TR plus élevées chez les truies primipares que chez les multipares. De manière analogue aux résultats sur les performances de reproduction (Publication 4), il est possible que la pression de réforme appliquée dans notre élevage expérimental nous ait conduit à éliminer les animaux les plus sensibles.

A l'image de nos travaux précédents (Publications 2 et 3), notre étude montre la TR des truies LW est plus élevée en saison chaude que celle des CR, ce qui confirme la meilleure tolérance à la chaleur des CR. Ces différences entre types génétiques peuvent s'expliquer par des différences de niveau de production, mais également par des différences physiologiques dans la résistance à la chaleur.

Enfin, ce travail montre une forte variabilité interindividuelle, ce qui explique notre incapacité à relier les variations de la TR avec celles des performances de lactation des truies. Ce résultat original a été approfondi dans une étude préliminaire afin de déterminer les parts génétique et non génétique de la variabilité observée. L'héritabilité de la TR est estimée entre 0,28 et 0,32. Notre première estimation de l'héritabilité de la TR est en accord avec celle obtenue dans l'espèce bovine (0,21 en moyenne) et chez les volailles (0,37). Quoi qu'il s'agisse de résultats préliminaires sur l'estimation des paramètres génétiques de la TR, nos résultats ont le mérite d'être, à notre connaissance, les premiers obtenus dans l'espèce porcine. Il semble y avoir beaucoup à espérer de cette forte variabilité inter-individuelle dans une démarche de sélection, avec une approche globale, intégrant la capacité des animaux à résister au chaud et leur capacité à produire au chaud.

Synthèse et Discussion générale

1. Performances la truie Large White en milieu tropical humide

L'arc antillais est sous l'influence d'un climat tropical d'alizé se rapprochant du climat équatorial, et qui se caractérise par une pluviométrie élevée et des contrastes thermiques peu marqués (Berbigier, 1988). Dans nos conditions expérimentales, deux saisons ont été déterminées *a posteriori* à partir des données météorologiques mesurées par une station située à 50 m de notre élevage expérimental : une saison fraîche entre le mois de novembre et le mois d'avril, et une saison chaude entre le mois de mai et le mois d'octobre. L'hygrométrie moyenne étant comparable pour les deux saisons (i.e., environ 86%), les différences climatiques entre les deux saisons sont davantage liées aux différences de températures ambiantes (23,7 contre 26,0°C, respectivement, en saison fraîche et en saison chaude).

1.1. La consommation et le comportement alimentaire

1.1.1. La consommation d'aliment de la truie en lactation

D'après nos travaux (Publications 1 et 2), la truie multipare LW consomme en saison fraîche en moyenne 4,6 kg/j d'aliment sur toute la durée de la lactation (moyenne obtenue sur 145 lactations et sur un total de 78 truies). Cela correspond à un niveau d'ingestion équivalent à 2,2 fois les besoins d'entretien (EMe, avec $EMe = 456 \text{ kJ/j/kg}^{0.75}$ d'après Noblet and Etienne (1987a)). Cette valeur est largement inférieure aux niveaux d'ingestion habituellement mesurés en milieu tempéré pour des conditions d'élevage assez comparables (composition de l'aliment, valeur génétique des animaux) (2 à 3×EMe; Christon et al. (1999)). En milieu tropical humide, la température ambiante excède généralement 22°C, quelle que soit la période de l'année considérée. Dans ces conditions, la truie en lactation se trouve donc très souvent en situation de stress thermique, même pendant les périodes les plus fraîches de l'année. Ceci est confirmé par une température rectale fluctuante pendant la journée, qui avoisine 39,0°C lors des températures ambiantes les plus élevées de la journée (Publication 5).

En saison chaude, nos résultats montrent que la diminution de la CMJ des truies multipares LW est en moyenne de 6,2 MJ ED/j/°C (Publications 1 et 2), ce qui est légèrement inférieur aux résultats de Renaudeau et al. (2003a) (8,4 MJ ED/°C), obtenus dans les mêmes conditions expérimentales sur un nombre plus réduit d'animaux. En revanche, la chute de la prise alimentaire représente le double de la valeur rapportée par Quiniou et Noblet (1999) entre 25 et 27°C (i.e., 3,1 MJ ED/°C) pour une hygrométrie non contrôlée mais fluctuante entre 50 et

60%. Ceci suggère que les effets négatifs des températures ambiantes élevées sur la prise alimentaire des truies sont accentués par la forte humidité caractéristique des conditions tropicales humides. Il semble donc important de prendre en compte l'hygrométrie ambiante pour quantifier les effets du climat. Or, les données de la littérature sur ce thème sont quasi inexistantes ; d'autres travaux sont donc nécessaires pour quantifier les effets respectifs de la température et de l'hygrométrie sur les performances de la truie en lactation. De plus, nos résultats montrent que la réduction de la CMJ en saison chaude n'apparaît pas suffisante pour maintenir l'homéothermie et prévenir une augmentation de la température interne (+ 0,4°C ; Publication 5).

1.1.2. Le comportement alimentaire de la truie en lactation

Dans nos conditions expérimentales, la cinétique de la prise alimentaire sur l'ensemble du nyctémère montre une répartition de type bimodal avec deux pics d'alimentation (Publication 3), conformément à ce qui est rapporté chez la truie élevée en chambre climatique (Dourmad, 1993; Quiniou et al., 2000e; Renaudeau et al., 2002), en condition tropicale humide (Renaudeau et al., 2003c) ou plus généralement chez le porc en croissance (Feddes et al., 1989). Dans notre expérience (Publication 3), le nombre de repas et la vitesse d'ingestion mesurés au cours de la saison fraîche sont comparables aux résultats disponibles dans la bibliographie utilisant le même système d'enregistrement (Tableau 1).

Tableau 1. Comparaison des résultats concernant les travaux disponibles sur les effets de la température élevée sur le comportement alimentaire de la truie multipare en lactation (paramètres mesurés uniquement pendant la période où les animaux étaient nourris à volonté)

Etudes	1	2	3	4	5
Références	Quiniou et al. (2000e)	Quiniou et al. (2000h)	Renaudeau et al. (2002)	Renaudeau et al. (2003c)	Nos résultats
Conditions climatiques					
Bâtiment	ac	ac	ac	Semi-ouvert	Semi – ouvert
Température	25°C	25 ± 4°C	29°C	25°C (S. fraîche)	23,5°C (S. fraîche)
Hygrométrie	50 à 60%	50 à 60%	50 à 60%	86,8%	83,2
Durée du jour, h	14	14	14	12	12
Truies					
N. observations	8	5	18	15	12
Type génétique	LW	LW	LW×LD	LW	LW
Durée de la lactation, j	21	21	28	28	28
Poids à la mise bas, kg	280	280	262	260	265
GMQ de la portée, kg/j	2,2	2,4	2,2	2,4	1,9
Nombre de repas/j	7,2	6,2	6,5	9,0	8,8
CMJ, kg/j	6,3	6,9	4,1	5,6	5,0
Taille du repas, g/j	930	1130	690	690	605
Vitesse d'ingestion, g/min	130	163	124	165	155

ac pour air conditionné ; S pour saison ; LW pour Large White ; LD pour Landrace ; CMJ pour consommation moyenne journalière en période *ad libitum*

De plus, nos résultats montrent que la truie LW réduit sa prise alimentaire durant les périodes les plus chaudes de la journée (en période diurne) avec une compensation pendant les périodes fraîches du jour (i.e., essentiellement en période nocturne). Cette adaptation observée en saison fraîche est plus prononcée en saison chaude. Elle se traduit par une augmentation de la proportion de consommation nocturne (65% vs. 56% en saison fraîche) qui ne compense pas la réduction d'ingestion dans les périodes chaudes diurnes. En faisant fluctuer de manière artificielle la température ambiante, Quiniou et al. (2000h) observent également que la prise alimentaire s'accroît pendant les périodes fraîches. Mais cela ne se traduit pas par une augmentation de la consommation nocturne, probablement en raison de différences de fluctuation des températures entre leur dispositif expérimental et le nôtre. Cela peut aussi signifier que l'effet de la température ambiante est plus important que celui du nycthémère.

Nos résultats montrent que la réduction de l'ingestion d'aliment en saison chaude résulte principalement d'une réduction de la taille des repas, alors que le nombre de repas reste inchangé, ce qui est conforme aux résultats de Renaudeau et al. (2003c). En fait, en utilisant plusieurs niveaux de températures ambiantes variant de 18 à 29°C, Quiniou et al. (2000e) suggèrent que la réduction de la CMJ est due tout d'abord à une réduction de la taille des repas, puis à la fois d'une diminution de la fréquence des repas et de leur taille au fur et à mesure de l'augmentation de la température ambiante. Cela suggère que la régulation de la production de chaleur métabolique de la truie avec l'augmentation de la température ambiante passe d'abord par une réduction de la chaleur produite par le catabolisme, combinée ensuite avec une réduction de l'activité physique liée à l'ingestion de l'aliment. Conformément aux résultats de Quiniou et al. (2000e) et de Renaudeau et al. (2002), la vitesse d'ingestion de la truie LW n'est pas affectée par la variation saisonnière. Par conséquent, la plus faible durée d'ingestion mesurée pendant la saison chaude est directement liée à la réduction de l'ingestion d'aliment.

Enfin, au vu de nos résultats, il serait envisageable de fractionner les apports alimentaires en privilégiant certaines périodes de la journée (les plus fraîches) pour permettre d'augmenter l'ingestion en période *ad libitum* et tenter de régulariser la production de chaleur des animaux au cours du nycthémère.

1.2. Les performances de lactation et de reproduction

1.2.1. La mobilisation des réserves corporelles

Dans nos expériences (Publications 1 et 2), les pertes de poids vif et d'épaisseur de lard dorsal pendant la lactation des truies multipares LW sont en moyenne plus faibles que celles rapportées par Quiniou et Noblet (1999) chez des truies multipares maintenues à une température ambiante constante de 22 ou 25°C. Dans ce dernier travail, la vitesse de croissance de la portée est plus élevée que celle observée dans nos expériences (2,35 vs. 1,90 kg/j). Les variations de mobilisation de réserves ou de consommation des truies entre les deux études peuvent donc s'expliquer par des différences de niveau de production. Par ailleurs, en utilisant un dispositif expérimental de « pair feeding » (voir bibliographie p 29), Messias de Bragança et al. (1998) et Renaudeau et al. (2003a) suggèrent un effet direct de la température sur la capacité des truies à mobiliser leurs réserves. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse d'un effet direct du climat tropical sur la perte de poids et de lard des truies.

Par ailleurs, nos résultats suggèrent que la composition tissulaire et chimique des réserves corporelles mobilisées par la truie diffère d'une saison à l'autre (Tableau 2).

Tableau 2. Effet de la saison sur la composition tissulaire et chimique des réserves corporelles mobilisées par la truie Large White en lactation en milieu tropical humide^a

	Saison fraîche	Saison chaude
Mobilisation des tissus corporels		
Maigre, g/j	240	400
Gras, g/j	180	240
Rapport gras/maigre, %	75	60
Mobilisation des composantes chimiques		
Energie, MJ/j	10,6	15,1
Lipides, g/j	220	300
Protéines, g/j	58	104
Rapport protéines/lipides, %	26,4	34,7

^a Estimations effectuées à partir des équations de Dourmad et al. (1997) en utilisant la moyenne des pertes de poids vif et de lard dorsal des truies Large White multipares (Publications 1, 2 et 3)

En effet, l'augmentation de la mobilisation des réserves de la truie en saison chaude se manifeste par une mobilisation accrue des tissus maigres par rapport aux tissus gras, ce qui se traduit par une diminution du rapport gras/maigre des tissus mobilisés et un déficit protéique plus marqué au cours de la saison chaude. Au contraire, en réalisant les mêmes estimations, Quiniou et Noblet (1999) et Renaudeau et al. (2001) montrent que la température élevée n'affecte pas la composition de la perte de poids. Ces différences peuvent principalement s'expliquer par des différences de niveau de production ou d'état corporel à la mise bas (Dourmad et al., 1998).

1.2.2. La production laitière et la croissance des porcelets

Comme pour la consommation d'aliment, la vitesse de croissance des porcelets LW est plus faible (Publications 1 et 2) que les valeurs obtenues dans les conditions tempérées ou en

chambre climatique. En effet, dans les trois premières semaines de lactation (période pendant laquelle le porcelet se nourrit exclusivement du lait de la truie), la vitesse de croissance du porcelet est de 200 g/j en saison fraîche, ce qui est de 20 à 30% plus faible que les résultats obtenus par Auldist et King (1995), Hulten et al. (2002a) et Quiniou (2005) en milieu tempéré, pour des tailles de portée similaires aux nôtres. Ce plus faible niveau de production laitière observé en saison fraîche peut être imputé à la faible CMJ et au faible niveau de mobilisation des réserves corporelles de nos truies comparativement aux valeurs obtenues en milieu tempéré.

Par ailleurs, nos travaux montrent une diminution de la production laitière au cours de la saison chaude (Publications 1 et 2). En moyenne, la production laitière quotidienne de la truie diminue de 40 g/°C/porcelet (entre 23,5 et 26°C), ce qui représente quasiment le double de la valeur obtenue par Quiniou et Noblet (1999) pour une gamme de températures similaire (19 g/°C/porcelet entre 22 et 27°C). Ce résultat pourrait s'expliquer par une réduction de la CMJ en saison chaude qui ne serait pas compensée par une mobilisation plus élevée des réserves corporelles de la truie. De plus, nos résultats montrent que la teneur en lipides du lait des truies LW est légèrement plus élevée en saison fraîche (+ 0,8%), alors que la teneur en protéines du lait est comparable pour les deux saisons (Publication 2). La composition chimique du lait varie selon le niveau de mobilisation des réserves de la truie. En effet, Klaver et al. (1981) montrent une augmentation de la teneur en lipides du lait des truies lorsque la perte de poids augmente, en réponse à un rationnement énergétique de la truie. Par conséquent, la modification de la composition du lait observée en saison chaude peut être attribuée à l'augmentation de la mobilisation des réserves corporelles maternelles.

Quelle que soit la saison, la vitesse de croissance des porcelets au cours de la dernière semaine de lactation augmente (Publications 1 et 2), en accord avec les résultats de Quiniou et al. (2000c) et de Renaudeau et Noblet (2001). Pendant cette période, les porcelets reçoivent de l'aliment 1^{er} âge en complément au lait maternel. En fait, le ratio protéine sur énergie du lait de la truie est particulièrement faible (environ 10 g/MJ EB), ce qui favorise le dépôt de lipides par rapport à celui de protéines et limite la croissance du porcelet (Williams, 1995; Pluske et Dong, 1998). La distribution d'aliment complémentaire avec un ratio protéine/énergie de 13 g/MJ EB permet d'améliorer l'apport protéique et donc le gain de poids des porcelets (Renaudeau et Noblet, 2001). Ainsi, la plus forte croissance en 4^{ème} semaine de lactation peut en partie s'expliquer par la consommation d'aliment complémentaire plus riche en protéines que le lait maternel.

1.2.3. Les performances de reproduction

Dans notre étude, la proportion de truies qui manifestent une chaleur entre le 3^{ème} et le 8^{ème} jour post-sevrage est proche de 95% (Publication 4). Cette valeur est conforme aux résultats obtenus à partir des bases de données, en France (Le Colzer et al., 1997), aux Etats-Unis d'Amérique (Koketsu et al., 1997) ou en Thaïlande (Tantasuparuk et al., 2000). Par ailleurs, nos résultats montrent que l'effet de la saison sur l'intervalle sevrage-oestrus (ISO) des truies diffère selon le rang de portée (voir paragraphe 2.1). En revanche, quel que soit le rang de portée, le taux de conception après le sevrage est réduit, l'intervalle sevrage saillie fécondante (ISSF) et la proportion de truies ayant un ISSF prolongé (> 7 j) sont plus élevés en saison chaude. En fait, l'ISSF est la résultante de plusieurs événements ayant lieu entre le sevrage et la lactation suivante. Ainsi, en Thaïlande, Tantasuparuk et al. (2000) montrent que les truies dont le sevrage ou la saillie ont lieu pendant la saison chaude, ont à la fois un taux de conception réduit et un ISO prolongé, et par conséquent un ISSF allongé. L'effet de la saison sur l'ISO (Martinat-Botte et al., 1984; Xue et al., 1994) et sur le taux de conception (Peltoniemi et al., 1999; Hennessy et al., 1984, cités par Quesnel et al. (2005)) a largement été mis en évidence dans de nombreuses études et dans des régions différentes. Un retour à la cyclicité retardé est sans doute lié au déficit nutritionnel induit par la baisse de la consommation et la mobilisation des réserves corporelles qui en découle (Koketsu et al., 1996a; Koketsu et Dial, 1997). L'effet de la saison sur le taux de conception serait la conséquence des événements ayant lieu pendant la gestation, particulièrement pendant les 15 premiers jours après la saillie (Omtvedt et al., 1971). Les principales raisons avancées pour expliquer la réduction du taux de conception sont la chute de la fertilité des truies et/ou leur incapacité à maintenir la gestation (Wettmann et al., 1976; Hughes, 1998). De plus, le stress thermique est susceptible de diminuer la qualité de la semence du verrat et donc de diminuer le taux de conception des truies (Kennedy et Wilkins, 1984; Suriyasomboon et al., 2004). La qualité de la semence des verrats n'a pas été mesurée dans nos expériences. Par conséquent, nous ne pouvons pas conclure définitivement sur la part respective des effets du verrat et de la truie sur la chute du taux de conception au cours de la saison chaude.

En conclusion, nos résultats confirment les effets négatifs du climat tropical humide et de ses variations saisonnières sur les performances de la truie LW. L'effet néfaste de la chaleur semble être accentué par la forte humidité relative bien que nous n'ayons pas mesuré directement dans nos études les effets respectifs de la température et de l'humidité.

L'interaction entre ces deux paramètres climatiques explique sans doute en grande partie le plus faible niveau de performances de nos truies LW par rapport à des animaux de valeur génétique comparable mais élevés dans les conditions tempérées. Par ailleurs, nos résultats montrent que les performances des truies diffèrent selon la saison (fraîche vs. chaude). Les effets du climat tropical sont accentués en saison chaude, notamment sur l'ingestion d'aliment, la croissance de la portée et la mobilisation des réserves corporelles, ce qui provoque une augmentation de la durée de la période dite « improductive » mesurée par l'intervalle sevrage saillie fécondante.

2. Facteurs de variation des performances de la truie reproductrice en milieu tropical humide

Nos résultats montrent que les effets de la saison sur les performances de la truie reproductrice élevée en conditions tropicales humides sont modulés par différents facteurs. Dans nos expériences, nous nous sommes principalement intéressés au rang de portée de la truie (Publications 1, 4 et 5) et à son type génétique (Publications 2, 3 et 5).

2.1. Effets du rang de portée de la truie et de son interaction avec la saison

2.1.1. Les performances de lactation

En accord avec la bibliographie (revue par Dourmad (1988)), nos résultats montrent une réduction de 14% de la CMJ chez les truies primipares par rapport aux multipares. Cet effet peut s'expliquer par des besoins d'entretien et/ou une capacité d'ingestion et de digestion moins élevés pour les truies primipares (Eissen et Kemp, 2000). Exprimée en fonction du poids métabolique ($PV^{0.75}$), la consommation d'aliment en saison fraîche est plus élevée pour les primipares que pour les multipares. En d'autres termes, une fois les besoins d'entretien (EMe) couverts (avec $EMe=456 \text{ kJ/j/kg}^{0.75}$ selon Noblet et Etienne (1987a)), la quantité d'énergie disponible pour la production (dépôts corporels/production laitière) des primipares est supérieure à celle des multipares (80 vs. 68 g/j/kg^{0.75}). Cependant, cela ne se traduit pas par une augmentation de la production de lait. Au contraire, la production laitière par porcelet est inférieure chez les truies primipares par rapport aux multipares (775 vs. 815 g/j/porcelet). Ce résultat est conforme à ceux classiquement rapportés dans la bibliographie (revues de Etienne et al. (2000) et de Eissen et Kemp (2000)) qui rapportent une augmentation de la

production laitière avec le rang de portée en relation avec l'augmentation de la taille de portée. En fait, dans notre étude, la diminution de la production laitière des truies primipares peut être à la fois expliquée par une plus faible taille de portée au sevrage (0,7 porcelets en moins en moyenne en saison fraîche) mais également par la partition de l'énergie entre le dépôt de tissus maternels (fin de la croissance squelettique) et la production laitière (Pluske et al., 1998). Dans notre travail, la différence de consommation d'aliment au dessus de l'entretien est de 15% entre les primipares et les multipares, alors que la différence pour la production laitière n'est que de 5%. Il en résulte une perte de poids beaucoup plus importante chez la truie primipare (7,0 vs. 4,5% du poids vif à la mise bas). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés dans les travaux de Neil et al. (1996) et ils expliquent en grande partie les problèmes de reproduction observés après le sevrage chez les primipares (voir paragraphe 2.1.3).

Nos résultats montrent que l'effet de la saison chaude sur l'ingestion d'aliment des truies multipares est plus marqué que chez les primipares (-18% vs. -7%). Cet effet est principalement à mettre en relation avec un niveau d'ingestion plus élevé des multipares en saison fraîche. A notre connaissance, nous disposons de peu d'informations dans la bibliographie sur l'effet des températures élevées en interaction avec le rang de portée sur les performances de lactation de la truie. Contrairement à nos résultats, Quiniou et al. (2001) n'observent pas de différences liées au numéro de portée de la truie sur la réduction de l'ingestion d'aliment lorsque la température ambiante passe de 20 à 26°C. Ces auteurs attribuent cette absence d'interaction entre la température ambiante et le rang de portée à la politique de réforme qui conduit à éliminer indirectement les truies les plus «sensibles» après leur premier sevrage.

2.1.2. La température interne de la truie en lactation

Nos résultats montrent que la température rectale moyenne pendant la lactation de la truie primipare est plus élevée que celle de la truie multipare (Publication 5). Cet effet pourrait être d'abord attribué à notre conduite de l'élevage expérimental, qui consiste après une première lactation à réformer les truies ayant eu des problèmes de fertilité, de locomotion ou de faible productivité. Par ce biais, il est donc possible que nous ayons indirectement sélectionné les truies les moins sensibles aux contraintes du climat tropical. En revanche, sur un faible nombre de truies mesurées sur trois lactations consécutives ($n = 9$), nous montrons une décroissance linéaire de la température rectale ($- 0,1^{\circ}\text{C}$, $R^2 = 0,15$) de la truie avec le rang de portée. Ce résultat suggère une acclimatation à long terme à la chaleur (à l'échelle de la

carrière) des truies, qui pourrait s'expliquer par une optimisation des voies métaboliques avec l'âge conduisant à une réduction de la production de chaleur totale. A notre connaissance, il y a peu de travaux dans la littérature sur les effets du numéro de portée sur la température corporelle des animaux allaitants. Chez les buffles, Sethi et al. (1992) n'observent pas d'effet du rang de portée sur la température rectale, mais mesurent un plus faible rythme respiratoire chez les primipares. Chez les vaches allaitantes de race Holstein, la production de chaleur n'est pas influencée par le numéro de portée (Saama et Mao, 1993). Au contraire, Ahn et al. (2003) ont observé des températures rectales plus élevées pour les vaches Holstein au premier et deuxième vêlage (39,2°C et 39,0°C) que pour les vaches au troisième vêlage et au-delà (38,7°C en moyenne).

2.1.3. Les performances de reproduction

En accord avec Xue et al. (1994), le taux de conception est moins important au cours de la saison chaude chez les truies ayant déjà réalisé au moins une lactation que chez celles qui sont à leur première mise bas (Publication 4). D'après nos résultats, l'ISO est plus élevé chez les primipares par rapport aux multipares, en particulier en saison chaude, ce qui est en accord avec les précédents résultats obtenus dans d'autres régions tropicales (au Nigéria, Omeke, 1989; en Thaïlande, Tantasuparuk et al., 2000). Quiniou et al. (2001) ne montrent pas d'interaction significative entre le rang de portée de la truie et la température ambiante (20 vs. 26°C) sur l'ISO, mais ces auteurs observent que la proportion d'animaux ayant un retour en chaleur retardé (i.e., ISO > 14 j) à 26°C est plus élevée chez les primipares. Il est probable que les effets de la chaleur sur le retour en oestrus s'exercent indirectement, via la réduction de la CMJ et la perte de poids accrue qui en résulte (Black et al., 1993; Prunier et al., 2003). En fait, nos résultats montrent que le risque d'avoir un ISO prolongé (i.e., > 5 jours) diminue avec l'amélioration de la condition corporelle à la mise bas, en accord avec Dourmad et al. (1994). Par exemple, la réduction de 3 mm de l'épaisseur de lard à la mise bas (18 vs 15 mm) se traduit par une augmentation de 40% de la probabilité d'avoir un retour en chaleur retardé. Au contraire, la relation entre le niveau de mobilisation des réserves musculaires et/ou adipeuses et le retour en oestrus est beaucoup moins clair chez les multipares (Hughes, 1993; Hulten et al., 2002b). Les truies plus âgées semblent être moins sensibles au déficit nutritionnel et à l'importance de la mobilisation des réserves corporelles pendant la lactation. Enfin, il convient de noter, comme pour l'effet du rang de portée sur la température interne des animaux, qu'en raison de la politique de réforme, il peut exister une « censure » de l'effet du rang de portée sur les performances de reproduction de la truie. De manière analogue à l'effet

de l'interaction entre le rang de portée et la saison sur l'ISO, l'ISSF est plus élevé chez les primipares que chez les multipares, uniquement pendant la saison chaude. Au contraire, Tantasuparuk et al. (2000) en Thaïlande montrent que l'ISSF diminue avec le rang de portée même en saison chaude. Ces auteurs attribuent cet effet à une acclimatation des truies avec l'âge. Comme nous avons vu précédemment, par construction, l'ISSF est la résultante d'une combinaison de l'ISO et du taux de conception après le sevrage. Dans notre étude, l'ISSF prolongé des primipares en saison chaude est la combinaison d'une augmentation de l'ISO avec une réduction du taux de conception après le sevrage, alors que chez les multipares, il résulte davantage d'une réduction du taux de conception après le sevrage.

En résumé, nos résultats montrent plus généralement que les truies primipares ont de plus faibles performances de lactation que les truies plus âgées. En revanche, les truies multipares sont plus affectées par la saison chaude, sans doute en raison de leur niveau de production plus élevé. En ce qui concerne les performances de reproduction, nos résultats confirment ceux de la bibliographie, à savoir que les effets de la saison sont plus marqués chez les primipares, ce qui peut être connecté à une plus forte mobilisation de leurs réserves corporelles en lactation.

2.2. Effets du type génétique et de son interaction avec la saison

A notre connaissance, il y a peu de travaux traitant de l'effet du type génétique sur les performances de la truie en lactation (Sinclair et al., 1999). Dans la Caraïbe, le type génétique Créole (CR) est très répandu et il se caractérise principalement par sa précocité sexuelle, sa plus faible prolificité, et son apparente bonne rusticité face aux conditions d'élevage en milieu tropical comparativement au type génétique Large White (LW) (Canope et Raynaud, 1981; Canope, 1982; Rinaldo et al., 2003). Le type génétique CR a été réintroduit en 2000 dans notre élevage expérimental principalement pour disposer d'un modèle d'adaptation au climat tropical. Par ailleurs, contrairement aux types génétiques « conventionnels », les besoins nutritionnels du porc CR sont très mal connus. Par conséquent, le porc CR est alimenté quel que soit son stade physiologique avec un aliment formulé sur la base des besoins nutritionnels de races européennes plus productives. De ce fait, dans nos conditions d'élevage, le génotype CR est caractérisé par une forte adiposité corporelle, ce qui en fait un modèle également très intéressant pour l'étude des relations pouvant exister entre la composition corporelle de la truie et ses performances.

2.2.1. La consommation et le comportement alimentaire

Nos résultats montrent que le niveau d'ingestion spontanée de la truie CR est considérablement plus faible que celui de la truie LW (3,4 vs 4,8 kg/j) (Publications 2 et 3). En accord avec les résultats de Dourmad (1991) et de Revell et al. (1998), il existe une relation négative entre le niveau d'adiposité à la mise bas et la consommation d'aliment au cours de la lactation. Par conséquent, le plus faible niveau d'ingestion des truies CR pourrait résulter de sa forte épaisseur de lard à la mise bas (39 vs. 21 mm pour la truie LW). Pourtant, dans nos travaux, nous ne mettons pas en évidence de corrélations significatives entre l'épaisseur de lard et la consommation d'aliment (Publication 2). Compte tenu de la différence de poids à la mise bas (+ 70 kg de PV pour la truie LW), l'effet du type génétique sur le niveau d'ingestion peut s'expliquer pour une grande part par des besoins d'entretien plus faible chez la truie CR. L'effet du type génétique est également lié à une différence de niveau de production en relation avec une taille de portée réduite chez la truie CR. De plus, nos résultats montrent que les effets de la saison chaude sur la réduction de la CMJ sont accentués chez la truie LW (-20%) par rapport à la truie CR (-14%). Ce résultat est probablement lié au niveau de CMJ plus élevé en saison fraîche des truies LW, et peut être interprété comme une meilleure tolérance à la chaleur des truies CR.

A notre connaissance, l'effet du type génétique sur le comportement alimentaire de la truie en lactation n'a fait l'objet d'aucune étude. L'étude des effets du type génétique sur la répartition nycthémérale de la prise alimentaire montre une réduction significative du premier pic d'alimentation et un décalage du second pic vers les périodes les plus chaudes de la journée pour la truie CR en saison fraîche. Ces modifications de la cinétique de la prise alimentaire induisent une augmentation de la proportion d'aliment consommée en période diurne chez les truies CR par rapport au LW (60 vs. 46% ; Publication 3). Cet effet s'accroît au cours de la saison chaude. En effet, nos résultats montrent que la quantité d'aliment consommée pendant les périodes les plus chaudes de la journée en saison chaude (31,9°C entre 11h00 et 15h00), est de 13% chez la truie CR contre 3% chez la truie LW. En d'autres termes, cette plus grande aptitude de la truie CR à consommer de l'aliment au cours des périodes les plus chaudes de la journée pourrait également aller dans le sens d'une meilleure tolérance à la chaleur.

Dans notre expérience, l'effet du type génétique sur l'appétit de la truie en lactation se traduit par une diminution de la taille des repas chez les CR, qui n'est pas compensée par un nombre plus élevé de repas (Publication 3). De plus, nos résultats montrent que la vitesse

d'ingestion est plus élevée chez les truies LW que chez les CR. En accord avec les résultats de Quiniou et al. (2000b), la vitesse d'ingestion et la taille moyenne des repas augmentent de manière proportionnelle avec le poids de l'animal (respectivement, + 3.7 g/min et 11 g/repas pour une augmentation de 1 kg $PV^{0.75}$). Ainsi, cela suggère que les plus faibles vitesses d'ingestion et tailles des repas de la truie CR sont principalement liées à son moindre gabarit et/ou à sa plus faible capacité d'ingestion. Par ailleurs, chez le porc en croissance élevé en groupe, Renaudeau et al. (2006) n'observent pas d'effet du type génétique sur la consommation d'aliment, mais ils constatent une diminution du nombre de repas chez le CR qui est compensée par des repas de plus grande taille lorsque les deux races sont comparées sur une même gamme de poids (i.e., 45-90 kg). En se basant sur les corrélations significatives entre la composition corporelle (taux de viande maigre et épaisseur de lard à 90 kg) et le nombre ou la taille des repas, ces auteurs suggèrent que certains paramètres du comportement alimentaire du porc peuvent être influencés par la composition corporelle des animaux (Hyun et al., 2001; Quiniou et al., 1999).

2.2.2. Les performances de lactation

Nos résultats montrent que la truie CR mobilise davantage de réserves corporelles que la truie LW. En effet, en saison fraîche, la truie CR perd pendant la lactation 8% de son poids vif à la mise bas et 4,2 mm de lard dorsal, ce qui représente le double du niveau de mobilisation de la truie LW (Publication 2). Cette mobilisation plus importante des CR s'explique d'une part par son plus faible niveau d'ingestion d'aliment et, d'autre part, par un niveau de réserves adipeuses plus élevé à la mise bas. En saison chaude, l'augmentation de la mobilisation des réserves corporelles est plus importante chez les truies LW que chez les CR. Ce résultat est à connecter à l'interaction significative entre le type génétique et la saison sur le CMJ. Nos travaux soulignent une plus faible vitesse de croissance des porcelets CR par rapport aux LW. En revanche, la composition du lait est peu influencée par le type génétique, ce qui contraste avec le fait que les truies CR semblent mobiliser davantage de réserves lipidiques. La réduction des performances de croissance des porcelets s'explique donc principalement par une réduction de la production laitière. Compte tenu de la relation linéaire entre la production laitière et la taille de portée (Etienne et al., 2000), la plus faible production laitière de la truie CR pourrait être liée à sa plus faible prolificité. Cependant, à partir de nos données, il est difficile d'attribuer cette plus faible production laitière à une moindre capacité de la truie CR à produire du lait ou à une demande moins importante de la portée en relation avec la taille de

portée ou avec le poids des porcelets à la naissance. Pour tenter de répondre à ces interrogations des expériences basées sur le principe d'adoption croisée pourraient être envisagées.

2.2.3. Les performances de reproduction

Dans notre étude sur les performances de reproduction (Publication 4), l'effet du type génétique n'a pas été pris en considération. Des analyses supplémentaires montrent qu'en saison fraîche, l'ISO des truies CR ne diffère pas de celui des LW, mais l'ISSF est plus élevé chez les LW que chez les CR. Au contraire, Canope (1982) observe que l'ISO et l'ISSF sont plus longs chez les truies LW par rapport aux CR (respectivement 15 vs. 11 j et 22 vs. 15 j). Les différences observées sur l'ISO entre son étude et la nôtre sont sans doute liées aux progrès réalisés ces vingt dernières années dans la conduite d'élevage en bande des truies. Nos résultats montrent que le taux de conception ne diffère pas entre types génétiques (Figure 1).

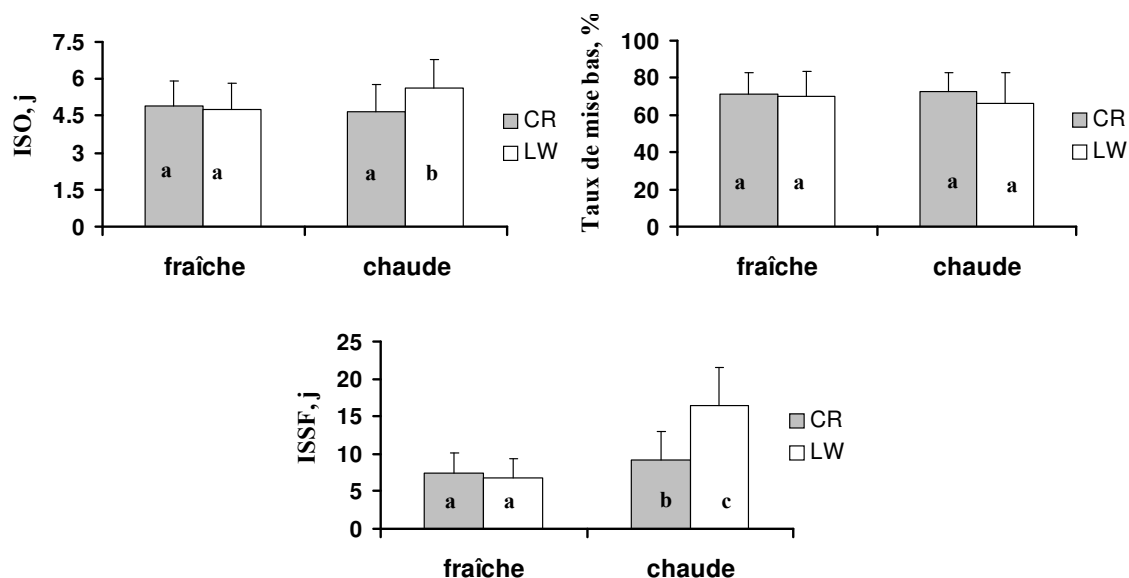


Figure 1. Effet du type génétique et de la saison sur les performances de reproduction des truies primipares (Gourdine et al., non publié).

Contrairement à l'ISO des truies LW, celui des truies CR n'est pas affecté par la saison. Cet effet peut être relié à une augmentation plus importante de la perte de poids en lactation au cours de la saison chaude chez les LW. Par contre, comme pour les truies LW, l'ISSF des truies CR est plus élevé en saison chaude ; cependant l'effet de la saison est beaucoup moins

marqué sur les truies CR. Les résultats disponibles dans la bibliographie sur les effets de l'interaction entre la saison et le type génétique sur les performances de reproduction des truies sont différents selon les études. Dans le milieu tropical humide de la Thaïlande, Tantasuparuk et al. (2000) observent un ISO plus élevé chez les truies Landrace par rapport aux LW. En revanche, au Nigéria, Steinbach (1976) et Omeke (1989) ne montrent pas des différences marquées de l'effet de la saison sur ces deux types génétiques.

En conclusion, dans nos conditions expérimentales, la truie CR a des performances zootechniques en lactation réduites par rapport à la truie LW, principalement à cause des différences de prolificité existant entre les deux types génétiques. En fait, contrairement à la truie LW, la race CR n'a jamais fait l'objet de programme d'amélioration génétique sur ce critère. De plus, nos résultats suggèrent une meilleure adaptation de la truie CR au climat tropical, puisque ses performances de lactation et de reproduction sont moins affectées par la saison chaude.

3. Existe-t-il une variabilité inter et intra type génétique de l'adaptation à la chaleur ?

L'accumulation des observations provenant de nos travaux nous permet d'apporter des éléments originaux sur l'existence d'une variabilité inter et intra type génétique pour l'adaptation à la chaleur. Le terme d'adaptation à la chaleur regroupe à la fois des notions de résistance et de résilience. Dans notre contexte, la résistance se définit comme l'aptitude à mettre en place des réponses physiologiques efficaces pour permettre le maintien de l'homéothermie. La résilience est définie, elle, comme l'aptitude à produire sous la contrainte thermique.

3.1. Entre type génétique

Compte tenu de l'effet de la saison chaude moins marqué chez les truies CR que chez les truies LW (Publication 2) et de la capacité des CR à consommer de l'aliment au cours des périodes les plus chaudes de la journée (Publication 3), nos résultats suggèrent une meilleure tolérance à la chaleur des CR par rapport aux LW. En fait, les truies CR sont plus aptes à maintenir leur niveau de performances en saison chaude. Cette meilleure tolérance au chaud de la truie CR est confirmée par une plus faible température rectale en saison chaude que la truie LW (Publication 5). Cependant, nos résultats doivent être relativisés par le fait que les

truies LW ont un niveau de production qui demeure élevé même en saison chaude. La meilleure tolérance de la truie CR peut être d'abord attribuée à un effet indirect lié à son plus faible niveau de production, qui la rendrait moins sensible à l'élévation de la température ambiante. De plus, en utilisant la méthode des abattages comparés, Renaudeau et al. (résultats non publiés) estiment un plus faible besoin d'entretien chez le CR par rapport au LW. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus lors de la comparaison de porcs Meishan avec des porcs européens (van Milgen et al., 1998) et peuvent être reliés à des différences de composition corporelle. En d'autres termes, la meilleure adaptation de la truie CR pourrait être due à une réduction de la production de chaleur liée à un plus faible niveau de production et des besoins d'entretien réduits. Néanmoins, l'hypothèse d'une meilleure résistance physiologique à la chaleur de la truie CR ne peut pas être écartée. En effet, des travaux sur le porc en croissance montrent que le CR a une sensibilité plus faible à une brusque élévation de la température et un délai de réponse également plus court pour la mise en place des mécanismes de résistance à moyen terme (Renaudeau, 2005; Renaudeau et al., communication personnelle). Par ailleurs, une étude récente montre une amélioration de la viabilité au chaud des lymphocytes de porcs CR, ce qui suggère au niveau cellulaire des différences entre types génétiques dans la résistance à la chaleur (Renaudeau et al., résultats non publiés). En conclusion, les différences de tolérance à la chaleur entre la truie CR et LW peuvent s'expliquer par des différences de niveau de production, mais également par des différences dans la résistance à la chaleur.

3.2. Intra type génétique

Comme nous avons vu précédemment, notre étude montre que la truie reproductrice LW a de moindres performances qu'un animal avec un potentiel de production comparable, élevé dans les conditions de la thermoneutralité ou en milieu tempéré. Cela suggère donc l'existence possible d'une forte interaction génotype $\times$ milieu (milieu tempéré vs. milieu tropical humide), dans le contexte où le milieu de production (dans notre cas le milieu tropical humide) peut agir comme un facteur limitant les performances d'un type génétique dont la sélection a contribué à optimiser ses performances dans un milieu plus favorable (milieu tempéré). Cependant, il convient de noter que cette conclusion est tirée à partir de simples comparaisons entre nos résultats et ceux de la bibliographie, entre individus en général génétiquement proches (appartenant à la même race), mais pas forcément identiques. En fait, nos expériences ne nous ont pas permis de comparer statistiquement nos résultats avec des truies apparentées aux nôtres, mais élevées avec la même conduite d'élevage dans un milieu

plus favorable. Une telle expérience devrait être envisagée pour permettre une étude rigoureuse de l'interaction génotype $\times$ milieu, en s'appuyant dans la mesure du possible sur un effectif plus conséquent.

Par ailleurs, notre travail fait également apparaître une variabilité inter-individuelle importante des performances de lactation des truies LW élevées en conditions tropicales humides. Par ailleurs, nos résultats montrent une forte variabilité interindividuelle de la température rectale de la truie LW en lactation (79% de la variabilité phénotypique totale). Ceci indique que l'efficacité des différentes stratégies utilisées pour le maintien de la température interne peut varier d'une truie à l'autre. La température rectale est l'un des critères les plus fréquemment cités dans la bibliographie pour caractériser la sensibilité des animaux au climat (Holmes, 1973; Kadzere et al., 2002). Ces variations indiquent convenablement celles de la température interne de l'animal, qui est par hypothèse la résultante de l'ensemble des processus de la thermorégulation (Renaudeau et al., 2004). En outre, le matériel utilisé pour la mesure de la température rectale est peu coûteux (simple thermomètre digital) et simple d'emploi. L'héritabilité de la température rectale de la truie LW en lactation a été estimée entre 0,28 et 0,32 (Publication 6), ce qui est en accord avec les valeurs obtenues dans d'autres espèces (Obeidah et al., 1974; Turner, 1984). Quoique ces résultats soient préliminaires, ils sont assez originaux car, à notre connaissance, ce sont les premiers obtenus chez le porc. Nos résultats suggèrent qu'une sélection sur la température rectale de la truie est possible. Cependant, la température interne de la truie, comme chez tous les homéothermes, est un caractère contraint qui tend à retourner vers une valeur de base (autour de 38,7°C, chez la truie allaitante). Par conséquent, il est probable qu'il soit plus intéressant d'avoir des estimations génétiques sur des critères qui permettent de prendre en considération les fluctuations de la température interne avec les variations nycthémerales et saisonnières du climat, plutôt que de se focaliser sur des valeurs absolues. Dans un objectif de sélection à partir de caractères d'intérêt économique sur des animaux élevés dans un milieu contraignant pour la production, il est indispensable de prendre en considération les liaisons entre les caractères de résilience et de résistance. Des corrélations génétiques négatives sont estimées entre les paramètres de la thermorégulation (températures rectales à 07h00, 12h00 et le gradient entre ces deux mesures) et la vitesse de croissance de la portée (Publication 6). Il faut cependant souligner que ces corrélations génétiques sont estimées avec une faible précision (erreur standard comprise entre 0,12 et 0,25). De la même manière, des liaisons négatives sont obtenues entre la température rectale et certains caractères de production chez les bovins (Da Silva, 1973; Mackinnon et al., 1991; Burrow, 2001), mais également avec une

mauvaise précision (erreur standard entre 0,17 et 0,40). Dans ce contexte, il est nécessaire d'accumuler des données pour pouvoir estimer avec plus de précision la liaison génétique entre la température rectale (ou tout autre caractère de thermorégulation) et les performances zootechniques. Cependant, d'après nos premiers résultats, il semble indispensable de mettre en place un index de sélection optimisant à la fois les caractères de production et les caractères d'adaptation.

Conclusions et Perspectives

Les objectifs de ce travail de thèse étaient de mieux caractériser l'effet du climat tropical et de son interaction avec le rang de portée et avec le type génétique de la truie sur les performances de lactation et de reproduction de la truie.

Concernant les performances de lactation, notre étude confirme les effets négatifs du climat tropical humide et de ses variations saisonnières sur les performances de la truie, notamment sur la consommation d'aliment et la production laitière. Dans nos conditions, l'effet néfaste de la chaleur est sans doute accentué par la forte humidité relative. D'autre part, nos résultats montrent que la saison chaude amplifie les effets néfastes des températures et humidités élevées observés en saison fraîche. En effet, en saison chaude l'ingestion d'aliment et la production laitière des truies diminuent, et leur niveau de mobilisation des réserves corporelles augmente par rapport à la saison fraîche. Les performances des truies diffèrent selon le rang de portée; les truies primipares ont de plus faibles performances de lactation que les truies plus âgées. En revanche, les effets de la saison chaude sont plus importants chez les multipares, sans doute en raison de leur niveau de production plus élevé. Au niveau du type génétique, nous montrons que la truie Créole (CR) a des performances zootechniques en lactation réduites par rapport à la truie Large White (LW) principalement à cause des différences de prolificité existant entre les deux types génétiques. De plus, nos résultats suggèrent une meilleure adaptation de la truie CR au climat tropical, puisque ses performances de lactation sont moins affectées par la saison chaude. Ceci semble être lié à la fois au niveau moindre de production des CR et à leur meilleure efficacité dans la mise en place des mécanismes de lutte contre la chaleur.

Concernant les performances de reproduction, nous montrons qu'en moyenne nos résultats sont comparables aux données obtenues dans les élevages commerciaux. Notre étude, comme d'autres, souligne que les effets de la saison sur le retour à la cyclicité sont plus marqués chez les primipares, ce qui peut être connecté à leur plus grande sensibilité au déficit nutritionnel pendant la lactation. Chez les truies CR, les performances de reproduction sont moins affectées par la saison que chez les LW, ce qui va dans le sens d'une meilleure tolérance à la chaleur, observée sur les performances de lactation. Cependant, une caractérisation plus précise des performances de reproduction des truies élevées sous nos conditions tropicales

humides nécessiterait des études supplémentaires, notamment sur l'impact du climat sur la fertilité et la qualité de la semence du vertrat.

Les résultats présentés dans cette thèse ne constituent qu'un élément permettant de décrire et caractériser les performances des truies élevées en milieu tropical humide. Pour que nos résultats soient généralisables, il apparaît nécessaire d'une part de poursuivre la quantification de certaines de ces caractéristiques (reproduction, longévité) et, d'autre part, de comparer nos résultats avec ceux obtenus dans des élevages commerciaux dans la zone tropicale.

De plus, nous avons à notre disposition une base de données conséquente (plus de douze années de données) qui pourrait permettre de pallier le manque de connaissances de certains paramètres génétiques de caractères de reproduction en milieu tropical. Par ailleurs, les acquis obtenus dans nos travaux, en complément des travaux disponibles dans la bibliographie, peuvent servir de point d'ancrage dans la recherche de modèles, avec une approche systémique, permettant de décrire de manière mécaniste et dynamique les phénomènes de production et de dissipation de la chaleur. Ce type étude nous permettra, par exemple, de déterminer les relations biologiques les plus pertinentes pour prévoir les réponses physiologiques du porc au stress thermique et de proposer un modèle permettant d'optimiser la stratégie d'élevage du porc élevé dans un milieu à fortes contraintes comme le milieu tropical humide.

Enfin, notre étude permet d'apporter des éléments pour atténuer les effets du climat tropical. Citons par exemple, l'étude du comportement alimentaire qui nous a permis de mettre en évidence des périodes « préférentielles » pour la consommation d'aliment. Ces résultats pourraient être utilisés pour réaliser des apports fractionnés de l'aliment et tenter de régulariser la production de chaleur des animaux au cours de la journée. D'autre part, notre étude confirme la forte variabilité inter-individuelle de la réponse des truies aux contraintes climatiques du milieu tropical humide. Il semble y avoir beaucoup à espérer des programmes de sélection basés sur des objectifs d'amélioration de la production porcine dans nos régions tropicales humides en relation avec les conditions du milieu et les caractéristiques des ressources génétiques disponibles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Ahn, B. S., H. Y. Jeong, K. S. Ki, Y. L. Choi, U. G. Kweon, and N. C. Kim. (2003) The environmental effects on the activities and rectal temperatures of Holstein cows in a summer season. *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor)* 45, 163-168.
- AOAC. (1990) Official Methods of Analysis. 15th Editions. Assoc. Offic. Anal. Chem., Washington, DC.
- Armstrong, J. D., J. H. Britt, and N. M. Cox. (1986) Seasonal differences in function of the hypothalamic-hypophyseal-ovarian axis in weaned primiparous sows. *J. Reprod. Fert.* 78:11-20.
- Auldist, D. E. and R. H. King. (1995) Piglets' Role in Determining Milk Production in the Sow. In *Manipulating Pig V*, Hennessy and P.D. Cranwell, ed.. Australian Pig Sci. Assoc., Anim. Res. Inst., Werribee, Australia, 114-118.
- Barb, C. R., M. J. Estienne, R. R. Kraeling, D. N. Marple, G. B. Rampacek, C. H. Rahe, and J. L. Sartin. (1991) Endocrine changes in sows exposed to elevated ambient temperature during lactation. *Domest. Anim. Endocrinol.* 8, 117-127.
- Beaumont, C. and H. Chapuis. (2004) Génétique et sélection avicoles: évolution des méthodes et des caractères. *INRA Prod. Anim.* 17, 35-43.
- Beaumont, C., S. Guillaumin, P. A. Gearert, S. Mignon-Gastreau, and B. Leclercq. (1998) Genetic parameters of body weight of broiler chickens measured at 22°C or 32°C. *Br. Poultry. Sci.* 39, 488-491.
- Becker, B. A. and M. L. Misfeldt. (1995) Effects of constant and cycling hot environments on mitogen-stimulated proliferation of peripheral blood lymphocytes from sows and litters. *J. Therm. Biol.* 20, 485-488.
- Berbigier, P. (1988) Description des climats équatoriaux et tropicaux. In *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*, INRA-Editions, Paris, 11-18.
- Bidanel, J. P. and A. Ducos. (1994) Utilisation du Blup modèle animal pour l'évaluation génétique des porcs de race Large White et Landrace français sur la prolificité. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 26, 321-326.
- Black, J. L., B. P. Mullan, M. L. Lorsch, and L. R. Giles. (1993) Lactation in the sow during heat stress. *Livest. Prod. Sci.* 35, 153-170.
- Blundell, J. E. and A. Gillett. (2001) Control of food intake in the obese. *Obesity research* 9, 263S-270S.
- Booth, P. J. (1990) Metabolic influences on hypothalamic-pituitary-ovarian function in the pig. *J. Reprod. Fert.* 40, 89-100.
- Burlacu, G. H., M. Iliescu, and P. Caraminda. (1983) Efficiency of food utilization by Pregnant and Lactating Sows. *Arch. Tierernahr.* 33, 23-45.

Références bibliographiques

- Burrow, H. M. (2001) Variances and covariances between productive and adaptative traits and temperament in composite breed of tropical beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 70,213-233.
- Canope, I. (1982) Etude des interactions entre le type génétique et le régime alimentaire chez le porc en milieu tropical humide. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Canope, I. and Y. Raynaud. (1981) Etude comparative des performances de reproduction, d'engraissement et de carcasse des porcs Créoles et large White en Guadeloupe. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 13, 307-316.
- Chagnon, M., S. D'Allaire, and R. Drolet. (1991) A prospective study of sow mortality in breeding herds. *Can. J. Vet. Res.* 55,180-184.
- Chatonnet, J. (1983) Some general characteristics of temperature regulation. *J. Thermal Biology* 8:33-36.
- Chen, S. C., F. S. Chang, T. S. Yang, and S. Y. Chen. (1990) Effect of energy content on lactation diet and reproductive performances of sows in a hot environment. *Association of Animal Production Society, Taipei, AAAP.*
- Christenson, R. K. (1981) Influence of confinement and season of the year on puberty and estrous activity of gilts. *J. Anim. Sci.* 52, 821-830.
- Christon, R., G. Saminadin, H. Lionet, and B. Racon. (1999) Dietary fat and climate alter food intake, performance of lactating sows and their litter and fatty acid composition of milk. *Anim. Sci.* 69, 353-365.
- Clark, J. R., A. Komkov, and L. F. Tribble. (1986) Effects of Parity, Season, Gonadotrophin Releasing Hormone and Altered Sukling Intensity On The interval To Rebreeding in Sows. *Theriogenology* 26, 299-308.
- Close, W. H. and R. P. Heavens. (1981) The effects of ambient temperature and air movement on heat loss from the pig. *Anim. Prod.* 32, 75-84.
- Collin, A. (2000) Effets de la température ambiante élevée sur le métabolisme énergétique du porcelet. Thèse de Doctorat, Ecole Supérieure Agronomique de Rennes, INRA-UMRVP.
- Collin, A., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. (2001) Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pig. *Br. J. Nutr.* 86, 63-70.
- Collin, A., M. J. Vaz, and J. Le Dividich. (2002) Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets. *Reprod. Nutr. Dev.* 42, 54-53.
- D'Allaire, S., R. Drolet, and D. Brodeur. (1996) Sow mortality associated with high ambient temperatures. *Can. Vet. J.* 37, 237-239.
- Da Silva, R. G. (1973) Improving tropical beef cattle by simultaneous selection for weight and heat tolerance. Heritability and correlation of the traits. *J. Anim. Sci.* 37, 637-642.

Références bibliographiques

- Damgaard, L. H., L. Rydhmer, P. Lovendahl, and K. Grandinson. (2003) Genetic parameters for within-litter variation in piglet birth weight and change in within-litter variation during suckling. *J. Anim. Sci.* 81, 604-610.
- Dauncey, M. J. and D. L. Ingram. (1986) Acclimatization to warm or cold temperatures and the role of food intake. *J. Theor. Biol.* 11, 89-93.
- de Lange, C. F. M., P. C. H. Morel, and S. H. Birkett. (2003) Modeling chemical and physical body composition of the growing pig. *J. Anim. Sci.* 81, E159-E165.
- Delgado, C., M. Rosegrant, H. Steinfeld, E. Siméon, and C. Courbois. (1999) Livestock to 2020: The Next Food Revolution. Vision initiative food, agriculture, and the environment discussion. *IFPRI, FAO, and ILRI*, Washington D.C. Paper 28, 1-88.
- Dourmad, J. Y. (1988) Ingestion spontanée d'aliment chez la truie en lactation: de nombreux facteurs de variation. *INRA Prod. Anim.* 1, 141-146.
- Dourmad, J. Y. (1991) Effect of feeding level in the gilt during pregnancy on voluntary feed intake during lactation and changes in body composition during gestation and lactation. *Livest. Prod. Sci.* 27, 309-319.
- Dourmad, J. Y. (1993) Standing and feeding behaviour of the lactating sow : effect of feeding level during pregnancy. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 37, 311-319.
- Dourmad, J. Y. and Y. Henry. (1994) Influence de l'alimentation et des performances sur les rejets azotés des porcs. *Prod. Anim.* 7, 263-274.
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, A. Prunier, and J. Noblet. (1994) The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livest. Prod. Sci.* 40, 87-97.
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, and J. Noblet. (1996) Reconstitution of body reserves in multiparous sows during pregnancy: effect of energy intake during pregnancy and mobilization during the previous lactation. *J. Anim. Sci.* 74, 2211-2219.
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, J. Noblet, and D. Causeur. (1997) Prédiction de la composition chimique des truies reproductrices à partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 29, 255-262.
- Dourmad, J. Y., J. Noblet, and M. Etienne. (1998) Effect of protein and lysine supply on performance, nitrogen balance, and body composition changes during lactation. *J. Anim. Sci.* 76, 542-550.
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, and J. Noblet. (2001) Mesurer l'épaisseur de lard dorsal des truies pour définir leurs programmes alimentaires. *INRA Prod. Anim.* 14, 41-50.
- Eissen, J. J. and B. Kemp. (2000) Sow factors affecting voluntary feed intake during lactation. *Livest. Prod. Sci.* 64, 147-165.
- Etienne, M., J. Y. Dourmad, and J. Noblet. (1998) The influence of some sow and piglet characteristics and of environmental conditions on milk production. In: M. W. Verstegen, P. J. Moughan, and J. W. Schrama (Eds.), *The lactating sow*, Wageningen Press, Wageningen, 285-299.

Références bibliographiques

- Etienne, M., C. Legault, J. Y. Dourmad, and J. Noblet. (2000) Production laitière de la truie: Estimation, composition, facteurs de variations. *Journ.Rech. Porcine Fr.* 32, 253-264.
- Farmer, C., M. F. Palin, M. T. Sorensen, and S. Robert. (2001) Lactational performance, nursing and maternal behavior of Upton-Meishan and Large White sows. *Can. J. Anim. Sci.* 81, 487-493.
- Farmer, C. and A. Prunier. (2002) High ambient temperatures : how they affect sow lactation performance. *Pig News Inform.* 23, 95-102.
- Feddes, J. J. R., B. A. Young, and J. A. DeShazer. (1989) Influence of temperature and light on feeding behavior of pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 23, 215-222.
- Giles, L. R. (1992). Energy expenditure of growing pigs at high ambient temperatures. Thèse de Doctorat, Departement of Animal Science, University of Sydney.
- Gooneretne, A. D. and P. A. Thacker. (1990) Influence of an extended photoperiod on sow and litter performance. *Livest. Prod. Sci.* 24, 83-88.
- Grandinson, K., L. Rydhmer, E. Standberg, and F. X. Solanes. (2005) Genetic analysis of body condition in the sow during lactation, and its relation to piglet survival and growth. *Anim. Sci.* 80, 33-40.
- Granier, R., P. Massabie, and A. Bouby. (1998) Incidence du taux d'humidité relative de l'air ambiant sur les performances zootechniques du porc à l'engrais élevé à 28°C. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 30, 331-336.
- Hanenberg, E. H. A. T., E. F. Knoll, and J. W. M. Merks. (2001) Estimates of genetic parameters for reproduction traits at different parities in Dutch Landrace pigs. *Livest. Prod. Sci.* 69, 179-186.
- Heitman, H. and E. H. Hughes. (1949) The effect of hair temperature and relative humidity on the physiological well being of swine. *J. Anim. Sci.* 8, 171-181.
- Henken, A. M., H. A. Brandsma, W. van der Hel, and M. W. A. Verstegen. (1991) Heat balance characteristics of limit-fed growing pigs of several breeds kept in groups at and below thermal neutrality. *J. Anim. Sci.* 69, 2434-2442.
- Holm, B., M. Bakken, O. Vangen, and R. Rekaya. (2005) Genetic analysis of age at first service, return rate, litter size, and weaning-to-first service interval of gilts and sows. *J. Anim. Sci.* 83, 41-48.
- Holmes, C. W. and W. H. Close. (1977) The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. In W. Haresign, H. Swan, and D. Lewis (Eds.), *Nutrition and the climatic environment*, Butterworths, Studies in the agricultural and food sciences, London, 51-73.
- Holmes, M. A. (1973) The energy and protein metabolism of pigs growing at a high temperature. *Anim. Prod.* 16, 117-133.
- Hughes, E. H. (1998) Effects of parity, season and boar contact on the reproductive performance of weaned sows. *Livest. Prod. Sci.* 54, 151-157.

Références bibliographiques

- Hughes, P. E. (1993) The effects of food level during gestation and early gestation on the reproductive performance of mature sows. *Anim. Prod.* 57, 437-445.
- Hulten, F., A. Valros, M. Rundgren, and S. Einarsson. (2002a) Reproductive endocrinology and postweaning performance in the multiparous sow. Part 2. Influence of nursing behavior. *Theriogenology* 58, 1519-1530.
- Hulten, F., A. Valros, M. Rundgren, and S. Einarsson. (2002b) Reproductive endocrinology and postweaning performance in the multiparous sow. Part 1. Influence of metabolic status during lactation. *Theriogenology* 58, 1503-1517.
- Huynh, T. T. T., A. J. A. Aarnink, M. W. A. Verstegen, W. J. J. Gerrits, M. J. W. Heetkamp, B. Kemp, and T. T. Canh. (2005a) Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *J. Anim. Sci.* 83, 1385-1396.
- Huynh, T. T. T., A. J. A. Aarnink, W. J. J. Gerrits, M. J. H. Heetkamp, T. T. Canh, H. A. M. Spoolder, B. Kemp, and M. W. A. Verstegen. (2005b) Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 91, 1-17.
- Hyun, Y., B. F. Wolter, and M. Ellis. (2001) Feed intake pattern and growth performance of purebred and crossbred Meishan and Yorkshire pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 14, 837-843.
- Ingram, D. L. (1965) The effect of humidity on temperature regulation and cutaneous water loss in the young pig. *Res. Vet. Sci.* 6, 9-17.
- Ingram, D. L. (1973) Heat loss and its control in pigs. In Monteith, J. L. and Mount, L. E. (Eds), *Heat loss from animals and man. Assessment and Control*, Butterworths, London, 235-254.
- Johnston, L. J., M. Ellis, G. W. Libal, V. B. Mayrose, W. C. Weldon, and NRC. (1999) Effect of room temperature and dietary amino acid concentration on performance of lactating sows. *J. Anim. Sci.* 77, 1638-1644.
- Kabuga, J. D. and S. Y. Annor. (1991) Seasonal influence on the reproductive performance of swine in the humid zone of Ghana. *Int. J. Biometeorology* 35, 208-213.
- Kadzere, C. T., M. R. Murphy, N. Silznikove, and E. Maltz. (2002) Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77, 59-91.
- Kennedy, B. W. and J. N. Wilkins. (1984) Boar, breed and environmental factors influencing semen characteristics of boars in artificial insemination. *Can. J. Anim. Sci.* 64, 833-843.
- King, R. H. 1987. Nutritional anoestrus in young sows. *Pig News Inform.* 8, 15-22.
- Klaver, J., G. J. M. van Kempen, P. G. B. de Lange, M. W. A. Verstegen, and H. Boer. (1981) Milk composition and daily yield of different milk components as affected by sow condition and lactation/feeding regimen. *J. Anim. Sci.* 52, 1091-1097.
- Kojima, T., K. Udagawa, A. Onishi, H. Iwahashi, and Y. Komatsu. (1996) Effect of heat stress on development in vitro and in vivo and on synthesis of heat shock proteins in porcine embryos. *Mol. Reprod. Dev.* 43, 452-457.

Références bibliographiques

- Koketsu, Y. and G. D. Dial. (1997) Factor associated with prolonged weaning to mating interval among sows on farms that wean pigs early. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 211, 894-898.
- Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew, W. E. Marsh, and V. L. King. (1996a) Influence of imposed feed intake patterns during lactation on reproductive performance and circulating levels of glucose, insulin and luteinizing hormone in primiparous sows. *J. Anim. Sci.* 74, 1036-1046.
- Koketsu, Y., G. D. Dial, J. E. Pettigrew, W. E. Marsh, and V. L. King. (1996b) Characterization of feed intake patterns during lactation in commercial swine herds. *J. Anim. Sci.* 74, 1202-1210.
- Koketsu, Y., G. D. Dial, and V. L. King. (1997) Influence of various factors on farrowing rate on farms using early weaning. *J. Anim. Sci.* 75, 2580-2587.
- Kreukniet, M. B., W. Visser, J. M. F. Verhagen, and M. W. A. Verstegen. (1990) Influences of climatic treatments on systemic immunological parameters in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 24, 249-258.
- Larrouy, D., L. Ambid, and D. Richard. (1995) La thermoregulation. In *La thermoregulation*, Nathan Editions, Toulouse, 1-128.
- Laspiur, J. P. and C. Trottier. (2001) Effect of dietary arginine supplementation and environmental temperature on sow lactation performance. *Livest. Prod. Sci.* 70, 159-165.
- Le Colzer, Y., J. Dagorn, J. Y. Dourmad, S. Johansen, and A. Aumaître. (1997) Effect of weaning-to-conception interval and lactation length on subsequent litter size in sows. *Livest. Prod. Sci.* 51, 1-11.
- Le Colzer, Y., D. David, V. Beaumal, J. C. Hulin, M. Neil, and J. Y. Dourmad. (1998) Effect of the feeding level during rearing on performance of Large-White gilts. 1) growth, reproductive performance and feed intake during first lactation. *Reprod. Nutr. Dev.* 38, 363-375.
- Le Roy, P. (2003) Variabilité génétique des caractères de reproduction chez le porc. In CSAGAD, Rennes, Octobre 2003.
- Lorsch, M. L., L. R. Giles, C. R. Smith, J. M. Gooden, and J. L. Black. (1991) Food intake, heat production and milk yield of lactating sows exposed to high temperature. In Batterham, E.S. (Eds), *Manipulating pig production IV*, Australian Pig Science Association, Werribee, 81.
- Lorsch, M. L., L. R. Giles, J. L. Black, and J. M. Gooden. (1992) Effect of ambient temperature on voluntary food intake, body temperature and milk yield in a lactating sow. *Proceeding of Nutrition Society* 17, 216-216.
- Love, R. J., C. Klupiec, R. F. Thornton, and G. Evans. (1995) An interaction between feeding rate and season affects fertility of sows. *Anim. Reprod. Sci.* 39, 275-284.

Références bibliographiques

- Lukovic, Z., S. Malovrh, G. Gorjanc, and M. Kovac. (2004) A random regression model in analysis of litter size in pigs. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 34, 241-248.
- Lynch, P. B. (1977) Effect of environmental temperature on lactating sows and their litter. *Ir. J. Agric. Res.* 16, 123-130.
- Lynch, P. B. (1989) Voluntary food intake of sows and gilts. In Forbes, J. M., Varley, M. A., and Lawrence, T. L. (Eds), The voluntary food intake of pigs, The British Society of Animal Production, Leeds, 71-77.
- Mabry, J. W., M. T. Coffey, and R. W. Seerley. (1983) A comparison of an 8-versus 16 hour photoperiod during lactation on suckling frequency of the baby pig and maternal performance of the sow. *J. Anim. Sci.* 57, 292-295.
- Macajova, M., D. Lamosova, and M. Zeman. (2004) Role of leptin in farm animals : a review. *J. Vet. Med. Assoc.* 51, 157-166.
- Mackinnon, M. J., K. Meyer, and D. J. S. Hetzel. (1991) Genetic variation and covariation for growth, parasite resistance and heat tolerance in tropical cattle. *Livest. Prod. Sci.* 27, 105-122.
- Mahan, D. C. (1998) Relationship of Gestation Protein and Feed Intake Level over a Five-Parity Period Using a High-Producing Sow Genotype. *J. Anim. Sci.* 76, 533-541.
- Makkink, C. A. and J. W. Schrama. (1998) Thermal requirements of the lactating sow. In M. W. Verstegen, P. J. Moughan, and J. W. Schrama (Eds.), The lactating sow, Wageningen Press, Wageningen, 271-284.
- Martinat-Botte, F., B. Badouard, and M. Terqui. (1984) Intervalle tarissement - 1er oestrus : bilan 1975 - 1982: influence de quelques paramètres. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 16, 153-160.
- Martinat-Botte, F., H. Quesnel, A. Prunier, J. Tournut, and M. Terqui. (1996) Reproduction de la truie : bases physiologiques et maîtrise. 1ère partie. *Revue Méd. Vét.* 147, 33-46.
- McGlone, J. J., W. F. Stansbury, L. F. Tribble, and J. L. Morrow. (1988a) Photoperiod and heat stress influence on lactating sow performance and photoperiod effects on nursery pig performance. *J. Anim. Sci.* 66, 1915-1919.
- McGlone, J. J., W. F. Stansbury, and L. F. Tribble. (1988b) Management of lactating sows during heat stress: effects of water drip, snout coolers, floor type and a high energy-density diet. *J. Anim. Sci.* 66, 885-891.
- McKay, R. M. and G. W. Rahnefeld. (1990) Heritability of teat number in swine. *Can. J. Anim. Sci.* 70, 425-430.
- Mejia-Guadarrama, C. A., A. Pasquier, J. Y. Dourmad, A. Prunier, and H. Quesnel. (2002) Protein (lysine) restriction in primiparous lactating sows: Effects on metabolic state, somatotrophic axis, and reproductive performance after weaning. *J. Anim. Sci.* 80, 3286-3300.

Références bibliographiques

- Merlot, E. (2004) Conséquences du stress sur la fonction immunitaire chez les animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.* 17, 255-264.
- Messias de Bragança, M., A. M. Mounier, and A. Prunier. (1998) Does feed restriction mimic the effects of increased ambient temperature in lactating sows? *J. Anim. Sci.* 76, 2017-2024.
- Meunier-Salaün, M. C., V. Courboulay, M. C. Père, F. Pol, and H. Quesnel. (2002) Elevage des truies gestantes en groupe: acquis et perspectives de recherches. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 34, 239-247.
- Meyer, P. (1983) Physiologie humaine. In: *Physiologie Humaine*, Flammarion Méd. Sci., Paris, 1359-1369.
- Morrison, S. R., T. E. Bond, and H. Heitman. (1968) Effect of humidity on swine at high temperature. *Transactions Am. Soc. Agric. Eng.* 11, 526-528.
- Morrow-Tesh, J. L., J. J. McGlone, and J. L. Salak-Johnson. (1994) Heat and social stress effects on pig immune measure. *J. Anim. Sci.* 72, 2599-2609.
- Mount, L. E. (1967) The heat loss from new born pigs to the floor. *Res. Vet. Sci.* 8, 175-186.
- Mount, L. E. (1979) The concept of thermoneutrality. In Monteith, J. L. and L. E. Mount (Eds.), *Heat loss from animals and man*, Butterworths, London, 425-439.
- Mullan, B. P. and I. H. Williams. (1989) The effect of body reserves at farrowing on the reproductive performance of first-litter sows. *Anim. Prod.* 48, 449-457.
- Neil, M., B. Ogle, and K. Annér. (1996). A two-diet system and ad libitum lactation feeding of the sow: 1. Sow performance. *Anim. Sci.* 62, 337-347.
- Nienaber, J. A., G. L. Hahn, H. G. Klemcke, B. A. Becker, and F. Blecha. (1989) Cyclic temperature effects on growing-finishing swine. *J. Thermal Biology* 108, 233-237.
- Nienaber, J. A., G. L. Hahn, T. P. McDonald, and R. L. Korkals. (1996) Feeding patterns and swine performance in hot environments. *Transactions Am. Soc. Agric. Eng.* 39, 195-202.
- Nienaber, J. A., G. L. Hahn, R. A. Eigenberg, R. L. Korthals, J. T. Yen, and D. L. Harris. (1997) Genetic and heat stress interaction effects on finishing swine. *Pro. 13th Int. Lives. Envir. Symp.*, Bloomington, Minnesota, 1017-1023.
- Noblet, J. and M. Etienne. (1987a). Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in lactating sows. *J. Anim. Sci.* 64, 774-781.
- Noblet, J. and M. Etienne. (1987b) Dépenses et besoins énergétiques de la truie au cours du cycle de reproduction. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 19, 197-202.
- Noblet, J. and M. Etienne. (1989) Estimation of sow milk nutrient output. *J. Anim. Sci.* 67, 3352-3359.

Références bibliographiques

- Noblet, J., J. Y. Dourmad, J. Le Dividich, and S. Dubois. (1989) Effect of ambient temperature and addition of straw or alfalfa in the diet on energy metabolism in pregnant sows. *Livest. Prod. Sci.* 21, 309-324.
- Noblet, J., J. Y. Dourmad, and M. Etienne. (1990) Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. *J. Anim. Sci.* 68, 562-572.
- Noblet, J., X. S. Shi, and S. Dubois. (1993) Energy cost of standing activity in sows. *Livest. Prod. Sci.* 34, 127-136.
- Noblet, J., H. Fortune, X. S. Shi, and S. Dubois. (1994) Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 344-354.
- Noblet, J., J. Y. Dourmad, M. Etienne, and J. Le Dividich. (1997a) Energy metabolism in pregnant sows and newborn pigs. *J. Anim. Sci.* 75, 2708-2714.
- Noblet, J., J. F. Bernier, S. Dubois, Y. Le Cozler, and J. van Milgen. (1997b) Effect of breed and body weight on components of heat production in growing pigs. *Proceedings of the 14th Symposium on Energy Metabolism of Farm Animals*, Newcastle, 225-228.
- Noguera, J. L., L. Varona, D. Babot, and J. Estany. (2002) Multivariate analysis of litter size for multiple parities with production traits in pigs: I. Bayesian variance component estimation. *J. Anim. Sci.* 80, 2540-2547.
- Nunes Silva, B. A. (2005) Efeito do resfriamento do piso da maternidade sobre o desempenho produtivo e reprodutivo de porcas em lactação no verão. Thèse de Doctorat, Universidade Federal de Viçosa, Brésil.
- O'Grady, J. F., P. B. Lynch, and P. A. Kearney. (1985) Voluntary feed intake by lactating sows. *Livest. Prod. Sci.* 12, 355-365.
- Obeidah, A., A. Mostageer, and M. M. Shafie. (1974) Genetic and phenotypic parameters of body temperature and respiration rate in Fayoumi chicks. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 6, 267-274.
- Omeke, B. C. (1989) A comparison of seasonal effects on fertility of Landrace and Large White sows in a subhumid tropical environment. *Br. Vet. J.* 145, 462-466.
- Omtvedt, I. T., R. E. Nelson, R. L. Edwards, D. F. Stephens, and E. J. Turman. (1971) Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilt. *J. Anim. Sci.* 32, 312-317.
- Peltoniemi, O. A. T., R. J. Love, C. Klupiec, and G. Evans. (1997) Effects of Feed Restriction And Season on Lh and Prolactin Secretion, Adrenal Response, Insulin and FFA in Group Housed Pregnant Gilts. *An. Reprod. Sci.* 49, 179-190.
- Peltoniemi, O. A. T., R. J. Love, M. Heinonen, V. Tuovinen, and H. Saloniemi. (1999) Seasonal and management effects on fertility of the sow : a descriptive study. *An. Reprod. Sci.* 55, 47-61.

Références bibliographiques

- Peltoniemi, O. A. T., A. Tast, and R. J. Love. (2000) Factors effecting reproduction in the pig: seasonal effects and restricted feeding of the pregnant gilt and sow. *An. Reprod. Sci.* 60-61, 173-184.
- Pettigrew, J. E., J. P. McNamara, M. D. Tokach, R. H. King, and B. A. Crooker. (1993) Metabolic connections between nutrient intake and lactational performance in the sow. *Livest. Prod. Sci.* 35, 137-152.
- Pluske, J. R. and G. Z. Dong. (1998) Factors influencing the utilisation of colostrum and milk. In M. W. A. Verstegen, P. J. Moughan, and J. W. Schrama (Eds.), *The lactating sow*, Wageningen Press, Wageningen, 45-70.
- Pluske, J. R., I. H. Williams, L. J. Zak, E. J. Clowes, A. C. Cegielski, and F. X. Aherne. (1998) Feeding lactating primiparous sows to establish three divergent metabolic states: III. Milk production and pig growth. *J. Anim. Sci.* 76, 1165-1171.
- Prunier, A., J. Y. Dourmad, and M. Etienne. (1994) Effect of light regimen under various ambient temperatures on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 72, 1461-1466.
- Prunier, A., H. Quesnel, M. Messias de Bragança, and A. Y. Kermabon. (1996) Environmental and seasonal influences on the return-to-oestrus after weaning in primiparous sows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 45, 103-110.
- Prunier, A., M. Messias de Bragança, and J. Le Dividich. (1997) Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livest. Prod. Sci.* 52, 123-133.
- Prunier, A., N. M. Soede, H. Quesnel, and B. Kemp. (2003) Productivity and longevity of weaned sows. In Pluske, J. R., Le Dividich, J. and Verstegen, M. W. A. (Eds.), *Weaning the pig. Concepts and consequences*, Wageningen Press, Wageningen, 385-419.
- Quesnel, H. and A. Prunier. (1995) L'ovulation après le tarissement des truies : mécanismes physiologiques et facteurs de variation. *INRA Prod. Anim.* 8, 165-176.
- Quesnel, H., S. Boulot, and Y. Le Colzer. (2005) Les variations saisonnières des performances de reproduction chez la truie. *INRA Prod. Anim.* 18, 101-110.
- Quiniou, N. (2004) Incidence de la diminution du taux protéique de l'aliment, avec ou sans compensation du bilan électrolytique, sur les performances de lactation de la truie exposée à une température moyenne de 23 ou 26°C. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 36:235-242.
- Quiniou, N. (2005) Influence de la quantité d'aliment allouée à la truie en fin de gestation sur le déroulement de la mise bas, la vitalité des porcelets et les performances de lactation. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 37, 187-194.
- Quiniou, N. and J. Noblet. (1999) Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 77, 2124-2134.
- Quiniou, N., S. Dubois, Y. Le Colzer, J.-F. Bernier, and J. Noblet. (1999) Effect of growth potential (body weight and breed/castration combination) on the feeding behaviour of individually kept growing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 61, 13-22.

Références bibliographiques

- Quiniou, N., J. Noblet, J. van Milgen, and S. Dubois. (2000a) Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. *Br. J. Nutr.* 84, 97-106.
- Quiniou, N., D. Renaudeau, A. Collin, and J. Noblet. (2000b) Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques. *INRA Prod. Anim.* 13, 233-245.
- Quiniou, N., J. Noblet, and D. Renaudeau. (2000c) Une source de stress pour la truie allaitante : la température ambiante. *Techni Porc* 23, 23-30.
- Quiniou, N., S. Dubois, and J. Noblet. (2000d) Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livest. Prod. Sci.* 63, 245-253.
- Quiniou, N., J. Noblet, D. Renaudeau, and S. Dubois. (2000e) Influence of high ambient temperature on feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Anim. Sci.* 70, 471-479.
- Quiniou, N., P. Massabie, and R. Granier. (2000f) Diurnally variation of ambient temperature around 24 or 28°C: Influence on performance and feeding behavior of growing pigs. In Proc. 1st International Swine Housing Conference, Des Moines, Iowa, United States, October 9-11, 2000, 8 p.
- Quiniou, N., D. Gaudré, S. Rapp, and D. Guillou. (2000g) Influence de la température ambiante et de la concentration en nutriments de l'aliment sur les performances de lactation de la truie primipare. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 32, 275-282.
- Quiniou, N., D. Renaudeau, S. Dubois, and J. Noblet. (2000h) Effect of diurnally fluctuating high ambient temperatures on performance and feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Anim. Sci.* 71, 571-575.
- Quiniou, N., D. Gaudré, and D. Guillou. (2001) Influence de la température ambiante et de la concentration en nutriments de l'aliment sur les performances de lactation des truies selon le rang de portée. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 33, 157-163.
- Quiniou, N., S. Boulot, D. Bartolomeu, and R. Morvan. (2004) Impact de la canicule 2003 sur les performances de lactation et reproduction à la station de l'ITP. *Techni Porc* 27, 11-17.
- 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. *Anim. Res.* 54, 81-93.
- Renaudeau, D. and J. Noblet. (2001) Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. *J. Anim. Sci.* 79, 1540-1548.

Références bibliographiques

- Renaudeau, D., N. Quiniou, and J. Noblet. (2001) Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 79, 1240-1249.
- Renaudeau, D., N. Quiniou, S. Dubois, and J. Noblet. (2002) Effect of high ambient temperature and dietary protein level on feeding behaviour of multiparous lactating sows. *Anim. Res.* 51, 227-243.
- Renaudeau, D., J. Noblet, and J. Y. Dourmad. (2003a) Effect of ambient temperature on mammary gland metabolism in lactating sows. *J. Anim. Sci.* 81, 217-231.
- Renaudeau, D., C. Anaïs, and J. Noblet. (2003b) Effects of dietary fiber on performance of multiparous lactating sows in a tropical climate. *J. Anim. Sci.* 81, 717-725.
- Renaudeau, D., J. L. Weisbecker, and J. Noblet. (2003c) Effect of season and dietary fibre on feeding behaviour of lactating sows in a tropical climate. *Anim. Sci.* 77, 429-437.
- Renaudeau, D., N. Mandonnet, M. Tixier-Boichard, J. Noblet, and J. P. Bidanel. (2004) Atténuer les effets de la chaleur sur les performances des porcs : la voie génétique. *INRA Prod. Anim.* 17, 93-108.
- Renaudeau, D., M. Giorgi, F. Silou, and J. L. Weisbecker. (2006) Effect of breed (lean or fat pigs) and sex on performance and feeding behaviour of group housed growing pigs in a tropical climate. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 19, 593-601.
- Revell, D. K., I. H. Williams, B. P. Mullan, J. L. Ranford, and R. J. Smits. (1998) Body composition at farrowing and nutrition during lactation affect the performance of primiparous sows: I. Voluntary feed intake, weight loss, and plasma metabolites. *J. Anim. Sci.* 76, 1729-1737.
- Rinaldo, D. and J. Le Dividich. (1991) Influence de la température ambiante sur les performances de croissance du porc. *Prod. Anim.* 4, 57-65.
- Rinaldo, D., I. Canope, R. Christon, C. Rico, J. Ly, and F. Dieguez. (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 Inform.* 24, 17-26.
- Rydhmer, L. (2000) Genetics of sow reproduction, including puberty, oestrus, pregnancy, farrowing and lactation. *Livest. Prod. Sci.* 66, 1-12.
- Saama, P. M. and I. L. Mao. (1993) Sources of variation in partitioning of intake energy for lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 76, 1334-1341.
- Sartor, V., F. C. Baeta, A. S. Ferreira, P. R. Cecon, and I. F. F. Tinoco. (1999) Effect of the systems of evaporative cooling in the performance of lactation sows and their litters. *Engenharia Agricola* 18, 4-13.
- Schoenherr, W. D., T. S. Stahly, and G. L. Cromwell. (1989) The effects of dietary fat or fiber addition on yield and composition of milk from sows housed in a warm or hot environment. *J. Anim. Sci.* 67, 482-495.

Références bibliographiques

- Sethi, R. K., A. Bharadwaj, and S. C. Chopra. (1992) Effect of heat stress on buffaloes under different shelter strategies. *Indian J. Anim.Sci.* 64, 1282-1285.
- Shaw, H. J. and G. R. Foxcroft. (1985) Relationships between LH, FSH, and prolactin secretion and reproductive activity in the weaned sow. *J. Reprod. Fert.* 75, 17-28.
- Sinclair, A. G., J. M. Shaw, S. A. Edwards, S. Hoste, and A. McCartney. (1999) The effect of dietary protein level on milk yield and composition and piglet growth and composition of Meishan synthetic and European White breeds of sow. *Anim. Sci.* 68, 701-708.
- Singh, B. K., B. Singh, and A. K. Sinha. (1989) Reproductive performance of exotic breeds of pigs under tropical climate. *Indian J. Anim. Sci.* 59, 737-738.
- Soede, N. M., A. Prunier, B. Kemp, and H. Quesnel. (2000) Variation in weaning-to-oestrus interval in sows : causes and consequences. *Reprod. Dom. Anim.* suppl 6, 111-117.
- Spencer, J. D., R. D. Boyd, R. Cabrera, and G. L. Allee. (2003) Early weaning to reduce tissue mobilization in lactating sows and milk supplementation to enhance pig weaning weight during extreme heat stress. *J. Anim. Sci.* 81, 2041-2052.
- St-Pierre, N. R., B. Cobanov, and G. Schnitkey. (2003) Economic losses from heat stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.* 86, E52-E77.
- Stansbury, W. F., J. J. McGlone, and L. F. Tribble. (1987) Effects of season, floor type, air temperature and snout cooler on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 65, 1507-1513.
- Steinbach, J. (1971) Effects of season and breed on sow performance in the seasonal-equatorial climate of southern Nigeria. *J. Agric. Sci.* 77, 331-336.
- Steinbach, J. (1976) Reproductive performance in high producing pigs under tropical conditions. *World Animal Revue* 19, 43-47.
- Stevenson, J. S., D. S. Pollmans, D. L. Davis, and J. P. Murphy. (1983) Influence of supplemental light on sow performance during and after lactation. *J. Anim. Sci.* 56, 1282-1286.
- Suriyasomboon, A., N. Lundeheim, A. Kunavongkrit, and S. Einarsson. (2004) Effect of temperature and humidity on sperm production in Duroc boars under different housing systems in Thailand. *Livest. Prod. Sci.* 89, 19-31.
- Tantasuparuk, W., N. Lundeheim, A.-M. Dalin, A. Kunavongkrit, and S. Einarsson. (2000) Reproductive performance of purebred Landrace and Yorkshire sows in Thailand with special reference to seasonal influence and parity number. *Theriogenology* 54, 481-496.
- Tast, A., O. Hälli, S. Ahlström, H. Andersson, R. J. Love, and O. A. T. Peltoniemi. (2001) Seasonal alterations in circadian melatonin rhythms of the European wild boar and domestic gilt. *J. Pineal Res.* 30, 43-49.
- Ten Napel, J., A. G. de Vries, G. A. J. Buiting, P. Luiting, J. W. M. Merks, and E. W. Brascamp. (1995) Genetics of the interval from weaning to estrus in first-litter sows:

Références bibliographiques

- distribution of data, direct response of selection, and heritability. *J. Anim. Sci.* 73, 2193-2203.
- Thiel, P. K., H. Jorgensen, and K. Jakobsen. (2004) Energy and protein metabolism in lactating sows fed two levels of dietary fat. *Livest. Prod. Sci.* 89, 265-276.
- Tokach, M. D., J. E. Pettigrew, G. D. Dial, J. E. Wheaton, and L. J. Johnston. (1992) Characterization of luteinizing hormone secretion in the primiparous lactating sow: Relationship to blood metabolites and return-to-estrus interval. *J. Anim. Sci.* 70, 2195-2201.
- Tummaruk, P., N. Lundeheim, S. Einarsson, and A.-M. Dalin. (2000) Reproductive performance of purebred Swedish Landrace and Swedish Yorkshire sows : I. Seasonal variation and parity influence. *Acta Agr. Scand. Sect. A-Anim. Sc.* 50, 205-216.
- Turner, H. G. (1984) Variation in rectal temperature of cattle in a tropical environment and its relation to growth rate. *Anim. Prod.* 38, 417-427.
- van den Brand, H., S. J. Dieleman, N. M. Soede, and B. Kemp. (2000) Dietary energy source at two feeding levels during lactation of primiparous sows: I. Effects on glucose, insulin, and luteinizing hormone and on follicle development, weaning-to-estrus interval, and ovulation rate. *J. Anim. Sci.* 78, 396-404.
- van Milgen, J., J. F. Bernier, S. Dubois, and J. Noblet. (1997a) Modelling dynamic aspects of heat production in pigs. *Proceedings of the 14th Symposium on Energy Metabolism of Farm Animal*, Newcastle, Northern Ireland, 331-334.
- van Milgen, J., J. Noblet, S. Dubois, and J. F. Bernier. (1997b) Dynamic aspects of oxygen consumption and carbon dioxide production in swine. *Br. J. Nutr.* 78, 397-410.
- van Milgen, J., J. F. Bernier, Y. Le Cozler, S. Dubois, and J. Noblet. (1998) Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *Br. J. Nutr.* 79, 509-517.
- van Milgen, J., J. Noblet, and S. Dubois. (2000) Modélisation des composantes de la dépense énergétique chez le porc. *Journ. Rech. Porcine Fr.* 32, 235-240.
- Varona, L. and J. L. Noguera. (2001) Variance components of fertility in Spanish Landrace pigs. *Livest. Prod. Sci.* 67, 217-221.
- Verstegen, M. W. A. and W. van der Hel. (1974) The effects of temperature and type of floor on metabolic rate and effective critical temperature in groups of growing pigs. *Anim. Prod.* 18, 1-11.
- Verstegen, M. W. A., J. Mesu, G. J. M. van Kempen, and C. Geerse. (1985) Energy balance of lactating sows in relation to feeding level and stage of lactation. *J. Anim. Sci.* 3, 731-740.
- Vesseur, P. C., B. Kemp, and L. A. den Hartog. (1994) Factors affecting the weaning-to-estrus interval in the sow. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 72, 225-233.

Références bibliographiques

- Vidal, M., S. A. Edwards, O. MacPherson, P. R. English, and A. G. Taylor. (1991) Effect of environmental temperature on dietary selection in lactating sows. *Anim. Prod.* 52, 397.
- Weldon, W. C., A. J. Lewis, G. F. Louis, J. L. Kovar, and P. S. Miller. (1994) Postpartum hypophagia in primiparous sows: II. Effects of feeding level during gestation and exogenous insulin on lactation feed intake, glucose tolerance, and epinephrine-stimulated release of nonesterified fatty acids and glucose. *J. Anim. Sci.* 72, 395-403.
- Wettmann, R. P. and F. W. Bazer. (1985) Influence of environmental temperature on prolificacy of pigs. *J. Reprod. Fert.* 33, 199-208.
- Wettmann, R. P., M. E. Wells, I. T. Omtvedt, C. E. Pope, and E. J. Turman. (1976) Influence of elevated ambient temperature on reproductive performance of boars. *J. Anim. Sci.* 42, 664-669.
- Whittemore, C. T. and H. Yang. (1989) Physical and chemical composition of the body of breeding sows with differing body subcutaneous fat depth at parturition, differing nutrition during lactation and differing litter size. *Anim. Prod.* 48, 203-212.
- Whittemore, C. T. and C. A. Morgan. (1990) Model components for the determination of energy and protein requirements for breeding sows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 26, 1-37.
- Williams, I. H. (1995) Sow's milk as major nutrient source before weaning. In Hennessy, D. P. and Cranwell, P. D. (Eds), *Manipulating pig production*, Werribee, 7-261.
- Xin, H. (1999) Assessing swine thermal comfort by image analysis of postural behaviors. *J. Anim. Sci.* 77, 1-9.
- Xue, J. L., G. D. Dial, W. E. Marsh, and P. R. Davis. (1994) Multiple manifestations of season on reproductive performance of commercial swine. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 204, 1486-1489.
- Xue, J. L., Y. Koketsu, G. D. Dial, J. E. Pettigrew, and A. Sower. (1997) Glucose tolerance, luteinizing hormone release, and reproductive performance of first litter sows fed two levels of energy during gestation. *J. Anim. Sci.* 75, 1845-1852.
- Yang, H., P. R. Eastham, P. Phillips, and C. T. Whittemore. (1989) Reproductive performance body weight and body condition of breeding sows with differing body fatness at parturition, differing nutrition during lactation, and differing litter size. *Anim. Prod.* 48, 181-201.
- Yazdi, M. H., L. Rydhmer, E. Ringmar-Cederberg, N. Lundeheim, and K. Johansson. (2000) Genetic study of longevity in Swedish Landrace sows. *Livest. Prod. Sci.* 63, 255-264.
- Ye, W. and H. Xin. (2000) Thermographical quantification of physiological and behavioral responses of group-housed young pigs. *Transactions Am. Soc. Agric. Eng.* 43, 1843-1851.
- York, D. L. and O. W. Robison. (1985) Genotypic and phenotypic parameters of milk production in primiparous Duroc sows. *J. Anim. Sci.* 61, 826-833.

Formations suivies

Formations suivies

Bagage au démarrage de la thèse :

- DEA de Biostatistique, Université de Montpellier II, Juin 2002.

Enseignements « constitués » :

- Module de l'école doctorale : Cours supérieur d'amélioration génétique des animaux domestiques; session "Amélioration génétique des porcs", Rennes, Octobre 2003.
- Cours internationaux : European Institute in Statistical Genetics, Faro, Portugal, Juillet 2004.

Activités formatrices :

- 8^{ème} World Congress on Genetics applied to Livestock Production, Belo Horizonte, Brésil : accepté pour exposé oral : "Genetic parameters of rectal temperature in sows in a tropical humid climate and its association with performance during lactation: preliminary results."; 13 au 18 Août 2006.
- Stage « Initiation à la modélisation systémique ». D. Sauvant, D. Wallach, O. Martin. I.N.R.A., Centre Antilles Guyane, 3 au 6 Avril 2006.
- Conseil Scientifique de la Station de Recherches Zootechniques, I.N.R.A, Centre Antilles Guyane, Guadeloupe ; communication orale : " Analyse des facteurs limitant les performances de reproduction de la truie élevée sous un milieu tropical humide" ; Janvier 2006.
- Formation d'expression orale « voix et gestes », Université des Antilles et de la Guyane, Guadeloupe, Juillet 2005.
- Congrès national : 37^{ème} Journées de la Recherche Porcine en France; communication orale: "Influence du climat tropical et du type génétique sur les performances et le comportement alimentaire de la truie en lactation." ; centre de congrès Chaillot Galliera, Paris, France; Février 2005.
- Cours de formation à l'unité : Basic principles and importance of the utilization of random regression models in animal breeding programs. A. Menendez-Buxadera, SRZ, I.N.R.A, Centre Antilles Guyane, Décembre 2004.
- Université d'été Européenne, Université des Antilles et de la Guyane, Guadeloupe; communication orale: "A Statistical application in biological phenomena : the use of mixed models in the analysis of the growth curve of beef cattle and sow feed intake in tropical humid conditions.", Juillet 2004.

Formations suivies

- VI Congrès “iberoamericano de razas criollas y autoctonas” et IV Symposium “iberoamericano sobre la conservacion y utilizacion de recursos zoogenéticos”; Poster : "A comparison of lactating performance of Creole and Large White sows in a tropical humid climate : preliminary results."; à Recife, Brésil; Décembre 2003.
- Conseil Scientifique de la Station de Recherches Zootechniques, I.N.R.A, Centre Antilles Guyane, Guadeloupe ; communication orale : "Réactualisation des données sur le porc CR : performances de reproduction" ; Novembre 2003.
- Ateliers d'apprentissage : Stage technique dans l'atelier porcin de l'Unité expérimentale en Santé et Production Animale, INRA Centre Antilles Guyane ; formation au niveau de tous les postes (gestion de la reproduction, de l'alimentation et de l'abattage), Septembre- Novembre 2002.

Análisis de factores limitantes del comportamiento reproductivo en porcino criados en ambiente trópico húmedo.

La producción porcina en las regiones tropicales puede estar limitada por restricciones climáticas, las cuales provocan importantes disminuciones en el comportamiento de los animales y en los beneficios de los criadores. Cuando la temperatura ambiente sobrepasa los 22°C, la puerca en amamantamiento se encuentra en una situación de stress térmico, lo cual reduce la ingestión de alimento, presentándose negativas consecuencias sobre el comportamiento durante la lactancia y la reproducción posterior. En tal sentido, la mayor parte de las publicaciones disponibles se han realizado en condiciones ambientales templadas, difícilmente extrapolables a las presentes en las regiones tropicales húmedas. Los objetivos de esta tesis son de caracterizar y determinar los factores que afectan el comportamiento durante la lactancia y en la reproducción de puercas criadas en un medio tropical húmedo. Una atención especial será brindada a los efectos del número de partos, el tipo genético y sus respectivas interacción con la época del año.

A partir de informaciones climáticas medidas muy próximas a la estación experimental se determinaron dos épocas del año: una época fresca y otra de calor. La humedad relativa media fueron comparables entre ambas épocas (i.e., alrededor de 83%), de manera las dos épocas fueron discriminadas principalmente por el nivel de la temperatura ambiente (23,7°C en época fresca y 26,0°C en época de calor). Para este estudio el comportamiento de las cerdas fue controlado y medido durante 5 años en dos razas ‘extremas’, una llamada convencional, la raza Large White (LW) y otra raza ‘local’ caribeña, la raza Créole (CR). A partir del conjunto de datos conformado se estudio, primeramente, los efectos de la época y el número de partos sobre el comportamiento durante la lactancia de 106 puercas LW (301 partos). El segundo estudio realizado permitió tomar en consideración los efectos del tipo genético de la puerca (30 CR y 41 LW y un total de 179 partos) sobre el comportamiento alimenticio durante la lactancia. En el tercer experimento, se estudió los efectos del clima trópico sobre el comportamiento reproductivo de 255 hembras LW (1 181 montas). Finalmente en el cuarto experimento se estudió los factores que afectan la temperatura rectal (TR) de puercas en amamantamiento (222 lactancias de 43 CR y 42 LW).

El comportamiento de las puercas amamantando es inferior en la época de calor respecto a la fresca: el consumo de alimento de las puercas y el crecimiento de la camada se reducen fuertemente y se incrementa notablemente la movilización de las reservas corporales durante la época de calor. La TR de las cerdas que amamantan es mas elevado en la época de calor respecto a la fresca (38,9 vs. 38,6°C) y mas baja en la hembras multiparas respecto a las primiparas (38,7 vs. 38,9°C). Las cerdas CR se caracterizan por un menor peso vivo y una mayor adiposidad (-70 kg et + 20 mm de espesor de la grasa dorsal al parto) en relación a las LW. Las cerdas CR consumen menos alimento que las LW (3,4 vs. 4,8 kg/d) en relación a su inferior velocidad de ingestión (80 vs 150 g/min). Esto se traduce por una reducción del tamaño del bocado en CR (390 vs. 550 g/comida), mientras que el número de comidas es similar entre ambos genotipos (9,0 comidas/d). La disminución en el apetito en la época de calor es mas pronunciado en las cerdas LW multiparas respecto a las primiparas (-1,0 vs. -0,4 kg/d) e igual tendencia manifiesta las cerdas LW respecto a las CR (-1,0 vs. -0,5 kg/d). El comportamiento reproductivo, registrado despues del destete es inferior en la época de calor en particular en las cerdas primiparas. El intervalo destete-estrus y el intervalo destete-monta fecundante es mayor en la época de calor y la natalidad se reduce durante ese período del año. El efecto de época afecta menos a las cerdas CR, lo cual explica como el comportamiento durante la lactancia de las cerdas CR pueden tolerar mejor la época de calor. Este resultado se confirmo por una menor temperatura rectal en la época de calor en las puercas CR respecto a las LW (+ 0,2 vs. +0,4°C).

En conclusión, nuestros resultados contribuyen de una forma significativa a la caracterización del comportamiento de las cerdas mantenidas en un ambiente trópico húmedo. En nuestras condiciones experimentales existe una fuerte variabilidad individual de las cerdas al stress térmico, de manera que aparentemente una parte no despreciable, puede ser de origen genético (resultados preliminares). Se debe esperar bastante respuesta a un programa de seleccion con el objetivo de mejorar la producción porcina en las regiones tropicales húmedas.

Palabras claves: ambiente trópico húmedo, porcinos, reproducción, lactancia, consumo de alimento, comportamiento alimenticio, temperatura rectal, termotolerancia, genotipos, número de partos, Creole, Large White.

Analyse des facteurs limitant les performances de reproduction des truies élevées sous un milieu tropical humide.

Les régions tropicales sont caractérisées par des contraintes climatiques importantes pour la production porcine pouvant induire une diminution des performances des animaux et du revenu de l'éleveur. Lorsque la température dépasse 22°C, la truie allaitante se trouve en situation de stress thermique. Elle réduit alors son ingestion d'aliment, ce qui généralement a des conséquences négatives sur ses performances de lactation et ses performances ultérieures de reproduction. Cependant, la plupart des travaux disponibles ont été réalisés en milieu tempéré avec des conditions difficilement transposables à celles rencontrées en milieu tropical humide. Les objectifs du travail de thèse sont de déterminer et de caractériser les facteurs qui affectent les performances de lactation et de reproduction des truies élevées sous un climat tropical humide. Une attention particulière a été portée sur les effets du rang de portée, du type génétique et de leurs interactions respectives avec la saison.

A partir des données climatiques mesurées à proximité de l'élevage, deux saisons ont été déterminées: une saison fraîche et une saison chaude. L'hygrométrie moyenne étant comparable (i.e., environ 83%) d'une saison à l'autre, les deux saisons sont discriminées principalement par le niveau de température ambiante (23,7°C en saison fraîche et 26,0°C en saison chaude). Dans notre étude, les performances des truies ont été mesurées pendant 5 années sur deux races « extrêmes », une race dite « conventionnelle », la truie Large White (LW), et la race locale caribéenne, la truie Créole (CR). A partir de la base de données constituée, nous avons dans un premier temps étudié les effets de la saison et du rang de portée sur les performances de lactation de 106 truies LW (301 lactations). Une 2^{ème} expérience nous a permis de prendre en considération les effets du type génétique de la truie (30 CR et 41 LW sur un total de 179 lactations) sur les performances et le comportement alimentaire en lactation. Dans une 3^{ème} expérience, les effets du climat tropical sur les performances de reproduction ont été étudié sur 255 truies LW (1 181 saillies). Enfin, une 4^{ème} étude a porté sur les facteurs affectant la température rectale (TR) des truies en lactation (222 lactations de 43 CR et 42 LW).

Les performances des truies en lactation sont plus faibles en saison chaude qu'en saison fraîche : la consommation d'aliment des truies et la croissance de la portée sont fortement réduites et le niveau de réserves corporelles mobilisées augmente en saison chaude. La TR des truies allaitantes est plus élevée en saison chaude qu'en saison fraîche (38,9 vs. 38,6°C) et plus faible chez les multipares que chez les primipares (38,7 vs. 38,9°C). La truie CR se caractérise par un plus faible poids et une plus grande adiposité (-70 kg et + 20 mm d'épaisseur de lard à la mise bas) que la LW. Elle consomme moins d'aliment que la LW (3,4 vs. 4,8 kg/j) en relation à sa faible vitesse d'ingestion (80 vs 150 g/min). Cela se traduit par une réduction de la taille des repas des CR (390 vs. 550 g/repas), alors que le nombre de repas est semblable entre types génétiques (9,0 repas/j). La baisse d'appétit en saison chaude est plus prononcée chez les truies LW multipares que chez les primipares (-1,0 vs. -0,4 kg/j) et chez les truies LW que chez les CR (-1,0 vs. -0,5 kg/j). Les performances de reproduction mesurées après le sevrage des truies sont plus faibles en saison chaude, en particulier chez les primipares. L'intervalle sevrage-oestrus et l'intervalle sevrage saillie fécondante des truies augmentent en saison chaude, et le taux de conception est réduit pendant cette période de l'année. Les performances de reproduction des truies CR sont moins affectées par la saison, ce qui indique qu'elles pourraient mieux tolérer la chaleur. Ce résultat est conforté par une moindre augmentation de la TR en saison chaude chez les CR que les LW (+ 0,2 vs. +0,4°C).

En conclusion, nos résultats contribuent de manière significative à la caractérisation des performances des truies élevées en milieu tropical humide. Dans nos conditions expérimentales, il existe une forte variabilité interindividuelle de la réponse des truies au stress thermique, dont une partie non négligeable semble être d'origine génétique (résultats préliminaires). Il semble y avoir beaucoup à espérer de programmes de sélection intégrant des critères d'adaptation aux températures élevées pour l'amélioration de la production porcine en régions tropicales humides.

Mots clés : milieu tropical humide; truie; reproduction; lactation; prise alimentaire; comportement alimentaire; température rectale; thermotolérance; paramètres génétiques; parité; type génétique; Créole; Large White.

Analysis of factors affecting performance of reproductive sows in a tropical humid climate.

Tropical areas are detrimental to pig production, and so economical losses are incurred by farmers. When ambient temperature is above 22°C, lactating sows are heat stressed. As a consequence, sow voluntary food intake is reduced, with subsequent negative consequences on performance during lactation, and on post-weaning reproductive performance. However, most available studies were performed in temperate countries with conditions difficult to transpose to those encountered in tropical humid climates. The objectives of this work were to determinate and to characterize factors affecting lactating and reproductive performance of sows reared in a tropical humid climate. We particularly paid attention to parity and breed effects and their respective interaction with season.

Two seasons were determined *a posteriori* from climatic measurements recorded from a meteorological station within 50 m of the experimental unit: a warm season and a hot season. Relative humidity was comparable for both seasons (83%), so that seasonal difference was more attributable to difference in ambient temperature (23.7°C for the warm season and 26.0°C for the hot season). Sow performance were measured during 5 years on two “extreme” breeds, Large White “conventional” breed (LW) and Creole local breed (CR). First, we studied the effect of season and parity on the performance of 106 lactating LW sows (301 lactations). Experiment 2 was conducted to take into account the effect of breed on performance and feeding behaviour of lactating sows (a total of 179 lactations obtained on 30 CR and 41 LW). The effects of season on reproductive performance were studied in experiment 3 (a total of 1,181 mating on 255 LW sows). Finally, factors affecting rectal temperature (RT) of lactating sows were investigated in experiment 4 (a total of 222 lactations obtained on 43 CR and 42 LW).

The performance of lactating sows were lower during the hot season than during the warm season: sow food intake, litter growth rate were markedly reduced and the mobilisation of body reserves was higher during the hot season. RT of lactating sows was higher during the hot season than during the warm season (38.9 vs. 38.6°C) and it was lower in multiparous than in primiparous sows (38.7 vs 38.9°C). CR sow is characterized by a lower body weight and a greater adiposity (-70 kg and + 20 mm of backfat thickness at farrowing) than LW sow. CR sows had a lower food intake than LW sows (3.4 vs. 4.8 kg/d), which is related to a lower rate of food intake (80 vs. 150 g/min). Consequently, CR meal size was reduced (390 vs. 550 g/meal) and was not compensated by an increase in the number of meals (9.0 meals on average in both breeds). During the hot season, the reduction of sow food intake was more pronounced in LW multiparous than in primiparous sows (-1.0 vs. -0.4 kg/d) and in LW than in CR sows (-1.0 vs. -0.5 kg/d). The post-weaning reproductive performance of sows were lower during the hot season than during the warm season, and particularly in primiparous sows. Weaning to oestrus interval and weaning to conception interval increased, and farrowing rate decreased during the hot season. Season had a lower effect on CR reproductive performance. The lower effect of season on CR performance during lactation suggests a superior thermoregulatory ability of CR as compared with LW sows. This result was confirmed by the fact that during the hot season, the increase of RT was lower in CR than in LW sows (+0.2 vs. 0.4°C).

In conclusion, our results contributed significantly to characterise the performance of reproductive sows reared in a tropical humid climate. In our experimental conditions, we found a large between-individual variability for sow's response to heat stress, with a significant genetic part (preliminary results). It may be of interest to establish selection programs integrating integrating adaptative traits to heat tolerance to improve the efficiency of pig production in tropical humid areas.

Keywords : tropical humid climate; sow; reproduction; lactation; food intake; feeding behaviour; rectal temperature; heat tolerance; genetic parameters; parity; breed; Creole; Large White.