



**HAL**  
open science

# Conséquences du stress thermique pendant la gestation sur la santé et le bien-être du porcelet

Caroline Constancis

► **To cite this version:**

Caroline Constancis. Conséquences du stress thermique pendant la gestation sur la santé et le bien-être du porcelet. Science des productions animales. 2018. dumas-01957191

**HAL Id: dumas-01957191**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01957191>**

Submitted on 17 Dec 2018

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

AGROCAMPUS  
OUEST

CFR Angers

CFR Rennes



UNIVERSITÉ DE  
RE NES I

Oniris  
Ecole Nationale  
Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation  
Nantes Atlantique

INRA  
SCIENCE & IMPACT

Année universitaire : 2017 - 2018

Diplôme :

Master Biologie, Agrosiences

Spécialité :

Sciences de l'animal pour l'élevage de  
demain (SAED)

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

## Conséquences du stress thermique pendant la gestation sur la santé et le bien-être du porcelet

Par : Caroline CONSTANCIS

*Soutenu à Rennes le 22 juin 2018*

**Devant le jury composé de :**

Président : Catherine Disenhaus

Rapporteur : Emmanuelle Moreau

Examineur : Vanessa Lollivier

**Maître de stage :** Elodie Merlot (UMR PEGASE)

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»

disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



## Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Elodie Merlot pour m'avoir fait confiance tout au long de ce stage en me laissant de l'autonomie tout en étant disponible lorsque j'en avais besoin. Je la remercie pour sa pédagogie et toutes les connaissances qu'elle a pu m'apporter.

Merci à Armelle Prunier, Natalie Le Floc'h, Hélène Quesnel et David Renaudeau pour avoir répondu à mes interrogations et pour ses échanges enrichissants.

Merci à Patrick Touanel, Fabien Guerin et Daniel Boutin pour leur accueil au sein de l'unité expérimentale et leur aide à l'élevage.

Un grand merci à Raphael Comte de m'avoir accueillie dans son bureau et d'avoir fait de ce stage un moment agréable en sa compagnie.

Merci à Françoise, Raphael, Sophie et Marie-Hélène pour m'avoir encadré pour les dosages.

Merci à Celine Tallet et à Carole Guérin pour leur aide à la réalisation de l'éthogramme et toute la partie comportementale.

Un grand merci à Rémi Resmond pour son aide précieuse et le temps passé à m'expliquer les dédales de R.

Merci aussi à Rachel pour avoir relu mon rapport pour corriger l'orthographe et pour la traduction de mon résumé en anglais. Merci aussi à mon copain et à ma maman d'avoir relu mon rapport.

Un grand merci à toute l'équipe adaptation et plus généralement à toutes les personnes du centre INRA de Saint Gilles de m'avoir accueillie dans leurs locaux.

Et pour finir, merci à Raphael, Françoise, Anaïs, Wesley, Rémi, Jérémy et Rachel de leur bonne humeur durant les pauses café et les repas passés ensemble. Ils n'ont pas hésité à m'aider lorsque je le leur demandais. Ce fût un véritable plaisir de passer ces 6 mois avec eux.

# Sommaire

Liste des abréviations

Liste des illustrations

**Introduction..... - 1 -**

**Contexte bibliographie..... - 2 -**

1. Mécanisme et réponse au stress..... - 2 -

2. Le stress pendant la gestation..... - 2 -

2.1. Effet sur la femelle en gestation et en lactation..... - 3 -

2.2. Effet sur le porcelet..... - 4 -

3. La robustesse du porcelet..... - 6 -

3.1. Indicateurs de santé zootecniques et cliniques..... - 6 -

3.2. Indicateurs comportementaux de santé et de bien-être..... - 6 -

3.3. Indicateurs biochimiques..... - 6 -

**Objectif et stratégie..... - 8 -**

**Matériels et méthodes..... - 8 -**

1. Dispositif expérimental..... - 8 -

2. Mesures et prélèvements sur les truies..... - 9 -

2.1. Mesures de température..... - 9 -

2.2. Prélèvements de salive..... - 9 -

3. Mesures et prélèvements sur les porcelets..... - 9 -

3.1. Pesées..... - 9 -

3.2. Enregistrements de santé..... - 9 -

3.3. Prélèvements de sang..... - 10 -

3.4. Prélèvements de salive..... - 10 -

4. Dosages..... - 10 -

4.1. Le dosage du cortisol salivaire..... - 10 -

4.2. Dosages du cortisol plasmatique..... - 11 -

4.3. Numération sanguine..... - 11 -

4.4. Dosages de l'haptoglobine, des hydroperoxydes (dROM) et de la capacité antioxydante totale du plasma (BAP)..... - 11 -

4.5. Dosage des immunoglobulines..... - 12 -

5. Analyses statistiques..... - 12 -

<b>Résultats</b> .....	<b>- 13 -</b>
1. Résultats relatifs aux truies.....	- 13 -
1.1. Cortisol salivaire.....	- 13 -
1.2. Température cutanée .....	- 13 -
1.3. Données de reproduction et mortalité néonatale des porcelets.....	- 13 -
2. Résultats relatifs aux porcelets.....	- 14 -
2.1. Poids et gain moyen quotidien.....	- 14 -
2.2. Observations de santé.....	- 14 -
2.3. Cortisol salivaire.....	- 15 -
2.4. Résultats sanguins.....	- 15 -
<b>Discussion</b> .....	<b>- 16 -</b>
1. Effets de la chaleur sur les truies en gestation .....	- 16 -
2. Effet sur la santé et l'immunité des porcelets .....	- 16 -
2.1. En situation basale.....	- 16 -
2.2. Au sevrage (situation challengée).....	- 17 -
3. Effets sur le bien-être et l'axe corticotrope des porcelets.....	- 18 -
3.1. En situation basale.....	- 18 -
3.2. Lors du regroupement en fin de post sevrage (situation challengée).....	- 18 -
<b>Conclusions et perspectives</b> .....	<b>- 19 -</b>
<b>Bibliographie</b>	

## Liste des abréviations

11 $\beta$ -HSD2 : 11 $\beta$ -hydroxystéroïde déshydrogénase de type 2

ACTH : adénocorticotrophine (Adénocorticotrophic Hormone)

AIC : critère d'information d'Akaike

CRH : corticolibérine (corticotropin-releasing hormone)

DO : densité optique

dROM : hydroperoxydes

EDTA : ethylene diamine tetra-acétique

EIA : dosage immune-enzymatique

ELISA : enzyme linked immuno sorbent assay

G : gestation

GMQ : gain moyen quotidien

HS : lot dont les mères ont été soumises à la chaleur durant la gestation

HRP : horseradish peroxydase

Ig : immunoglobuline

L21 : 21<sup>e</sup> jour de lactation

LIA : immuno-luminescence

LPS : lipopolysaccharide

NK: cellule tueuse naturelle (Natural Killer)

PS : post sevrage

ROS : espèces réactives à l'oxygène

TN : lot dont les mères ont été élevées à thermo-neutralité

## Liste des illustrations

### Figures

**Figure 1** : Représentation de l'axe corticotrope.

**Figure 2** : Evolution journalière de la température des salles du 7<sup>e</sup> au 110<sup>e</sup> jour de gestation pour chacun des lots.

**Figure 3** : dispositif expérimental.

**Figure 4**: Principe des dosages du cortisol plasmatique (fluorescence) et salivaire (luminescence)

**Figure 5** : Principe du dosage de l'haptoglobine réalisé par l'automate Konélab.

**Figure 6** : Principe du dosage dROM réalisé par l'automate Konélab.

**Figure 7** : Principe du dosage des immunoglobulines (Ig) G et M par dosage immunoenzymatique (ELISA) en « sandwich ».

**Figure 8** : Evolution du cortisol salivaire des truies en fonction du lot.

**Figure 9** : Nombre de porcelets morts par portée en lactation en fonction du lot et de la date du décès.

**Figure 10**: Evolution du cortisol salivaire des porcelets la veille (E-1), le jour (E) et le lendemain (E1) du transfert en engraissement en fonction du lot.

**Figure 11** : Résultats sanguins significativement différent vis-à-vis du lot.

### Tableaux

**Tableau 1** : Calcul des scores des observations de santé.

**Tableau 2** : Récapitulatif des résultats significatifs pour les porcelets.

**Tableau 3** : Nombre de porcelets à avoir eu une plaie, une boiterie ou une hernie en fonction du lot et du stade.

**Tableau 4** : Valeur numérique de l'immunoglobuline de type G (IgG) en g/L et de la capacité antioxydante de plasma (BAP) en  $\mu\text{mol/L}$  de vitamine C en lactation.

## Introduction

Le maintien de la compétitivité et de la durabilité des filières animales françaises passe par la promotion de systèmes d'élevages plus robustes et des adaptations face aux aléas environnementaux. Les modèles climatiques prédisent une augmentation des températures estivales extrêmes dans la plupart des zones agricoles (Luber et McGeehin, 2008). Si le changement climatique prolonge la durée de l'été et augmente la fréquence ou l'intensité des vagues de chaleur, le nombre d'animaux subissant ces périodes stressantes augmentera.

Le porc est un animal homéotherme capable de maintenir sa température interne constante malgré les variations de la température ambiante. Cette capacité est assurée par la fonction de thermorégulation. La zone de confort thermique correspond à la plage de température dans laquelle la dépense énergétique pour la thermorégulation est minimale, constante et indépendante de la température ambiante (Holmes et Close, 1977). Chez le porc cette zone est entre 18 et 25°C. Les effets directs de la chaleur sur les performances des porcs en croissance sont bien décrits dans la littérature (Renandeaup *et al.* 2012 ; Kouba *et al.*, 2001 ; Collin *et al.*, 2001 ; Kerr *et al.*, 2003) : la chaleur provoque chez le porc en croissance une réduction de l'appétit provoquant une réduction de la vitesse de croissance et l'augmentation du taux de viande maigre dans les carcasses. La chaleur a donc un effet direct sur les performances de croissance des porcs et sur la répartition de l'énergie ingérée entre le dépôt de protéines et le dépôt de lipides (Le Bellego *et al.*, 2002).

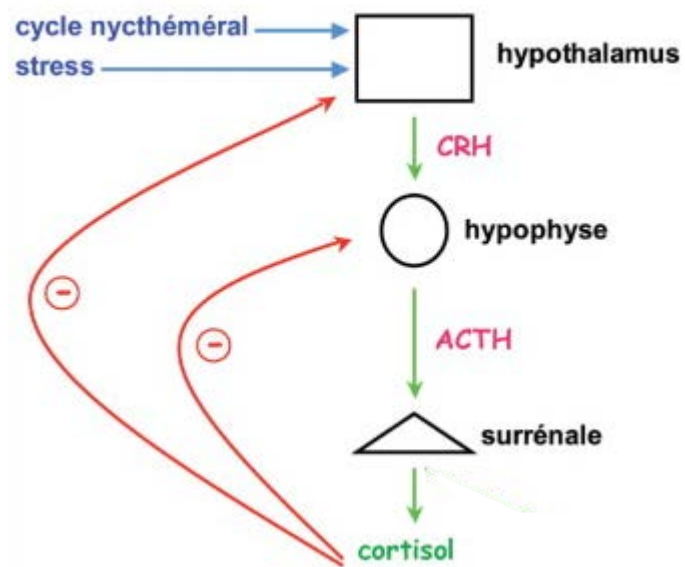
Par ailleurs, pour améliorer l'accrétion des tissus maigres, la sélection génétique a aussi augmenté de production de chaleur basale par corrélation (Brown-Brandl *et al.*, 2004). Les porcs ont par conséquent une plus faible capacité à dissiper leur chaleur métabolique et seraient alors plus sensibles au stress dû à la chaleur (Nienaber et Hahn, 2007). De plus, la sélection génétique est basée exclusivement sur des caractères de production réalisés dans des conditions environnementales optimales assez éloignées de la réalité rencontrée dans des élevages commerciaux. Et cela est d'autant plus vrai avec le réchauffement climatique.

Des observations australiennes et des travaux menés aux Etats Unis (Johnson *et al.*, 2015) suggèrent qu'une exposition chronique à la chaleur pendant la gestation de truies aurait des conséquences sur le métabolisme énergétique des porcelets après la naissance, qui se traduiraient par une augmentation de l'adiposité de leur carcasse et de leur température interne. Ainsi, ce stress prénatal pourrait altérer le développement fœtal et par la suite les performances de croissance des porcelets. D'autres facteurs de stress prénatal comme le stress social ou l'activation pharmacologique de l'axe corticotrope des mères sont en mesure d'affecter d'autres aspects de la physiologie du jeune, comme par exemple son système immunitaire, son comportement, ou sa réactivité au stress (Merlot *et al.*, 2013). En revanche, la mesure dans laquelle l'hyperthermie *in utero* pendant toute la période de la gestation affecte la santé et le bien-être des futurs porcelets est inconnue.

L'objectif de ce stage est de déterminer les conséquences de l'exposition des truies à la chaleur durant la gestation sur la santé et le bien être des porcelets.

Cette étude est intégrée à une étude plus globale regardant l'effet de l'exposition des mères à la chaleur pendant la gestation sur la physiologie de la descendance de la naissance au stade





**Figure 1 : Représentation de l'axe corticotrope** (d'après Fulla *et al.*, 2009).  
(CRH : corticotropin-releasing hormone, ACTH : *Adrénocortico Trophic Hormone*)

d'abattage : dans un premier temps, il s'agit de valider l'hypothèse d'un impact du stress pendant la gestation sur la physiologie, le métabolisme et les performances (notamment au niveau du dépôt de tissus gras) des porcelets. Dans un second temps, ce projet vise aussi à évaluer si ces effets sur la descendance sont liés à des phénomènes épigénétiques.

Dans mon stage, le but est de déterminer si cette exposition à la chaleur a des conséquences sur la santé et le bien-être du porcelet en lactation et en post-sevrage. Mon rôle dans la phase expérimentale a été d'assister le personnel de l'unité pour les nombreuses mesures au moment des mise-bas, de réaliser le cahier de suivi sanitaire des porcelets, d'aider à certaines mises en lot. J'ai également participé à la collecte de données et d'échantillons en effectuant notamment un suivi de santé quotidien, de la naissance au transfert en engraissement. J'ai réalisé les analyses de laboratoire, guidée par les techniciens. Puis j'ai analysé statistiquement les données et interprété les résultats.

Ce rapport présente une synthèse bibliographique pour rappeler les effets du stress sur la truie et les porcelets. Dans une seconde partie, le protocole expérimental, les mesures et prélèvements ainsi que les dosages effectués sont présentés. Je poursuis en présentant mes résultats et en les discutant, avant de conclure sur les perspectives de mon travail.

## Contexte bibliographie

### 1. Mécanisme et réponse au stress

La réponse de stress est un ensemble de modifications de l'organisme qui résulte d'une situation d'alerte ressentie comme une agression et qui permet d'y faire face. Des réponses rapides et coordonnées sont activées. La réponse la plus rapide passe par la voie nerveuse et utilise les systèmes sympathique et parasympathique du système autonome. L'adrénaline est une hormone du stress libérée rapidement par la médullosurrénale grâce à son innervation cholinergique.

La voie hormonale est plus lente. L'axe corticotrope (aussi nommé axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien) amène à la synthèse du cortisol. En effet, l'hypothalamus, lui-même sous l'influence du noyau paraventriculaire, synthétise la corticolibérine (ou Corticotropin-releasing hormone (CRH)) qui est libérée dans le sang et stimule la libération de l'adenocorticotrophine (ACTH) par l'antéhypophyse (Fulla *et al.*, 2009). La corticosurrénale, en réponse à l'ACTH, synthétise le cortisol (**Figure 1**). Les sécrétions de CRH, d'ACTH et de cortisol suivent toutes un rythme circadien. La sécrétion de cortisol est maximale entre 5 et 6h du matin puis elle diminue et atteint un minimum dans la nuit. Le cortisol intervient dans la régulation du métabolisme des glucides, de la fonction immunitaire, de l'inflammation et du fonctionnement cérébral (Mormède *et al.*, 2011). Ainsi la sécrétion de cortisol a pour but d'augmenter la mise à disposition de substrats énergétiques dans le sang pour que l'animal réagisse face à la cause du stress. Couplée à l'activation du système sympathique, la libération de cortisol permet aussi de mettre en état de vigilance le système nerveux central et le système immunitaire.

### 2. Le stress pendant la gestation

Les conséquences d'un stress prénatal sur la physiologie de la progéniture ont été suggérées chez le porc en 1974 par Stanton et Carroll et décrites pour la première fois en 2000 par Haussmann *et al.* Le stress peut produire des effets plus variables, moins marqués ou différents

de ceux produits par des modèles pharmacologiques induisant l'augmentation des glucocorticoïdes par injection d'ACTH. En effet, l'injection d'ACTH aux truies ne mime pas intégralement la réponse de l'organisme maternel face à un stress réel. De plus, les effets de l'application d'un stress réel (contrainte, stress social) n'ont été décrits que dans le cadre d'une application lors de la 2<sup>e</sup> moitié de la gestation (Otten *et al.*, 2001 ; Tuchscherer *et al.*, 2002 ; Jarvis *et al.*, 2006) et non durant toute la gestation.

## 2.1. Effet sur la femelle en gestation et en lactation

### 2.1.1. Réponse au stress

Les femelles en gestation sont déjà sujettes à de nombreux stress. Comme la faim en raison de la restriction alimentaire, la concurrence pour l'accès à l'alimentation, le stress social envers l'homme ou des congénères non familiers dû au regroupement. Les femelles doivent aussi se déplacer dans un environnement où elles peuvent glisser quand le sol est en béton (Hemsworth, 2003, D'Eath *et al.*, 2009, Spoolder *et al.*, 2009). Chez la femelle gestante, les facteurs de stress maternels induisent une réponse au stress en augmentant les taux endogènes maternels de cortisol et de catécholamines supposés être les principaux médiateurs du stress prénatal (De Leeuw *et al.*, 2004; Roussel *et al.*, 2006; Couret *et al.*, 2009a).

Pris séparément, le stress et la gestation induisent une activation de l'immunité innée (Brunton *et al.*, 2008). Or, comme chez l'animal non gestant, la réponse de stress active l'axe corticotrope (Couret *et al.*, 2009a) et module l'activité du système immunitaire maternel. Par exemple, après un stress aigu, la rate gestante a une diminution des taux sanguins de cellules tueuses naturelles (NK), de monocytes, de lymphocytes B (Stefanski *et al.*, 2005).

Le stress dû à une exposition aiguë à la chaleur active l'axe corticotrope (Messias de Bragança *et al.*, 1998, Webster *et al.*, 2008). Les corticostéroïdes semblent jouer un rôle positif dans le maintien de la lactation (Hansel, 1985) et favorisent la mobilisation des réserves d'énergie corporelle et la production de chaleur (Baxter *et al.*, 1972). C'est probablement la raison pour laquelle les truies en lactation exposées à la chaleur sur une longue période (plusieurs semaines) ont des concentrations plus faibles de cortisol que les truies à thermoneutralité, ce qui contribuerait à une diminution de la production de chaleur (Messias de Bragança *et al.*, 1998). Des effets similaires de température élevée de façon chronique sur les corticoïdes ont été observés dans plusieurs études sur les truies allaitantes (Barb *et al.*, 1991, Prunier *et al.*, 1997).

La femelle gestante, étant rationnée, l'exposition à la chaleur a moins de conséquences sur son métabolisme. Elle a en revanche des effets marqués sur la fonction de reproduction : intervalle sevrage-œstrus, taux de réussite à l'insémination, mortalité embryonnaire (Peltoniemi *et al.*, 2000). La truie en lactation est particulièrement sensible aux températures ambiantes élevées. Ceci est en grande partie lié à son niveau d'ingestion élevé pour satisfaire les besoins nutritionnels associés à sa production laitière. La réduction de la consommation due à la chaleur accentue le déficit nutritionnel de la truie. En dessous de 25°C, la mobilisation des réserves corporelles permet de maintenir la croissance des porcelets et la production de lait en compensant la réduction de la consommation. Au-dessus de 25°C, la mobilisation des réserves n'est plus suffisante pour compenser la baisse de l'appétit et la production laitière et la vitesse de croissance des porcelets diminuent (Quiniou *et al.*, 1999).

### **2.1.2. Effet au niveau du placenta**

Le stress semble être capable de diminuer la fonction trophique du placenta. Les glucocorticoïdes et les catécholamines libérés en réponse à un stress diminuent le flux sanguin utérin (Myers, 1975). Il en résulterait une diminution de l'apport en nutriments vers le fœtus, une réduction de la pression partielle placentaire en oxygène et une réduction de la taille du placenta. Le placenta de la truie est beaucoup moins perméable que celui des rongeurs ou des primates, mais il est néanmoins perméable aux hormones lipophiles de moins de 0.7 – 1.2 kDa (Fabert *et al.*, 1992). Ainsi, le CRH et l'ACTH ne peuvent pas traverser le placenta. Au contraire, les glucocorticoïdes et les opioïdes synthétisés par la femelle gestante traversent la barrière placentaire comme cela a été montré chez le porc (Klemcke, 1995). L'accès des glucocorticoïdes au compartiment fœtal est régulé par l'enzyme placentaire 11 $\beta$ -hydroxystéroïde déshydrogénase de type 2 (11 $\beta$ -HSD2 ; Benediktsson *et al.*, 1997). Cette enzyme transforme le cortisol actif en cortisone inactif. En conditions normales, l'apport de glucocorticoïdes d'origine maternelle au compartiment fœtal est relativement faible. Cependant, en réponse à un stress, malgré l'action de cette enzyme, les niveaux de cortisol maternel sont élevés chez le fœtus (Klemcke *et al.*, 1995). Ainsi, lors d'un stress maternel, le cortisol d'origine maternelle est alors susceptible d'altérer le développement tissulaire fœtal (Fowden, 1995 ; Fowden *et al.*, 1995 ; Muglia *et al.*, 1995) se répercutant au niveau physiologique (poids à la naissance, maturation du système immunitaire et de l'axe corticotrope après la naissance (Welberg et Seckl, 2001 ; Kapoor *et al.*, 2006 ; Merlot *et al.*, 2008)) ainsi que le comportement (Weinstock, 1997, 2001, 2005). Et cela est d'autant plus vrai chez les mâles que chez les femelles. En effet, le placenta des femelles semble avoir une plus grande activité ou expression de la 11 $\beta$ -HSD2 que celui des mâles (Klemcke et Christenson, 1996).

## **2.2. Effet sur le porcelet**

### **2.2.1. Le poids de naissance, la survie et santé**

Le poids de naissance est un critère important à prendre en compte dans les études sur le stress prénatal puisqu'il est associé à des modifications de la survie, du développement postnatal ainsi que l'incidence de maladies (Tuchscherer *et al.*, 2000). Chez le porc, le poids de naissance n'est pas affecté par un stress prénatal. Le stress dû à la chaleur pendant les 10 ou 30 derniers jours de gestation n'a pas non plus d'impact sur le poids de naissance des individus et des portées (Machado-Neto *et al.*, 1987).

Chez les porcs, la durée de gestation, la taille de la portée ainsi que le nombre de nouveau-nés vivants et mort-nés ne sont pas non plus affectés par un stress appliqué à la femelle gestante (Hausmann *et al.* 2000 ; Kanitz *et al.*, 2003 ; Jarvis *et al.*, 2006 ; Otten *et al.*, 2007 ; Lay *et al.*, 2008). Par contre, dans l'étude de Tuchscherer *et al.* en 2002, la mortalité des porcelets a plus que doublé en lactation suite à un stress prénatal. Ces résultats sont néanmoins à considérer avec précaution car ces études impliquaient toutes un nombre limité d'animaux expérimentaux, alors qu'il est connu que des effectifs importants de truies sont nécessaires pour mettre en évidence des effets de façon robuste sur la mortalité ou sur des observations cliniques.

Pendant la lactation, la fréquence des porcelets malades n'est pas affectée suite à des injections d'ACTH sur les truies au cours du dernier tiers de la gestation (Otten *et al.*, 2007) alors que cette fréquence augmente lorsque les truies sont exposées à un stress « complexe » (ici la contention nasale), qui implique une douleur et donc une réponse émotionnelle et endocrine plus complexe qu'une injection d'ACTH (Tuchscherer *et al.*, 2002). De même, un stress prénatal provoqué par

une réponse émotionnelle négative suite à une injection de lipopolysaccharide (LPS) réduit les taux d'haptoglobine sanguins des porcelets âgés d'un mois (Collier *et al.*, 2011) alors que ce n'est pas le cas avec un stress social (Couret *et al.*, 2009b). Le stress prénatal pourrait donc avoir un impact sur les facteurs importants impliqués dans la préservation de la santé néonatale. Ces facteurs peuvent être liés à la biologie maternelle ou à de véritables effets du stress prénatal, c'est-à-dire des altérations à long terme de l'ontogenèse fœtale (Merlot *et al.*, 2013).

### **2.2.2. L'axe corticotrope**

L'axe corticotrope des porcelets semble être sensible au stress prénatal. Le poids de l'hypophyse et le volume du cortex des glandes surrénales sont diminués après une injection d'ACTH (Hausmann *et al.*, 2000). Lorsque la truie gestante est exposée à un stress, la concentration de cortisol plasmatique chez les porcelets est inférieure aux animaux témoins les 3 premiers jours de vie mais disparaît à partir de 7 jours de vie (Otten *et al.*, 2007 ; Kanitz *et al.*, 2003 et 2006 ; Kranendonk *et al.*, 2006). Des mesures réalisées plus tard, après le sevrage ou au moment du transfert en engraissement indiquent que les structures cérébrales contrôlant l'activation de l'axe corticotrope lors des situations de stress (hippocampe, hypothalamus) sont également altérées par un stress social de la truie gestante (Otten *et al.*, 2010). Ces données pourraient dépendre aussi de la nature du stress administré aux truies, notamment s'il s'agit d'un facteur de stress induisant l'ensemble des réponses neuroendocriniennes de stress ou d'une simple activation pharmacologique de l'axe corticotrope.

### **2.2.3. Le système immunitaire**

Le stress prénatal influence le système immunitaire de la progéniture (Merlot *et al.*, 2008). Un des indices de cet effet est qu'à la naissance, le poids du thymus est inférieur par rapport à des animaux témoins issus de mères non stressées (Tuchscherer *et al.*, 2002).

De plus, dans une étude utilisant un stress de contention chez la truie, la concentration en IgG plasmatiques des porcelets à la naissance est plus faible alors que ce n'était pas le cas pour les taux d'IgG du colostrum (Tuchscherer *et al.*, 2002). D'autres études utilisant un modèle de stress social n'ont pas observé d'effet sur les taux d'IgG des porcelet (Couret *et al.*, 2009b). Les causes possibles de ces variations sont soit une altération de la capacité du nouveau-né à téter le colostrum et à absorber les IgG, soit une diminution de la quantité ou de la qualité du colostrum produit par la mère. Le stress prénatal peut affecter l'absorption de l'IgG à travers l'intestin. En effet, l'augmentation des glucocorticoïdes fœtaux en toute fin de gestation sert de signal pour augmenter la perméabilité de l'intestin et laisser passer les IgG contenues dans le colostrum maternel, alors que la diminution de leur concentration après la naissance favorise la maturation intestinale et la fermeture de la paroi intestinale (Bate *et al.*, 1991).

Chez les porcs, le stress dû à la chaleur durant la dernière semaine de gestation diminue les taux d'IgG circulants chez les nouveau-nés (Machado-Neto *et al.*, 1987). Des résultats similaires sont observés chez les veaux issus de mères exposées à la chaleur durant toute leur gestation (Tao *et al.* 2012). La qualité du colostrum pourrait être affectée car le stress thermique a tendance à diminuer les IgG du colostrum (Machado-Neto *et al.*, 1987), mais comme évoqué plus haut, la cause peut également reposer sur des variations de perméabilité intestinale du nouveau-né.

De plus, il a été démontré que la prolactine induit l'arrêt du transfert d'IgG dans le colostrum chez les vaches (Barrington *et al.*, 2001). Le stress thermique augmente les taux de prolactine au cours des dernières semaines de gestation chez les vaches (do Amaral *et al.*, 2011). En revanche,

chez les truies, le stress thermique à partir de 84 jours de gestation n'a pas affecté les taux de prolactine durant la parturition (Messias de Braganca et al., 1998). Ces observations sont en accord avec l'effet négligeable du stress maternel sur la lactogénèse chez les truies.

### 3. La robustesse du porcelet

La robustesse renvoie à la capacité des animaux à s'adapter à des milieux divers tout en maintenant des performances acceptables, sans qu'il y ait d'altération de leur santé physique ou de leur bien-être (Dourmad et al., 2010). Des caractères mesurables ou observables servent d'indicateurs pour caractériser cette robustesse.

#### 3.1. Indicateurs de santé zootecniques et cliniques

L'état de santé d'un animal est directement relié aux **performances** de celui-ci (Pastorelli et al., 2012). Les indicateurs zootecniques peuvent ainsi servir d'indicateurs de santé facilement mesurables et non invasifs.

Un des marqueurs les plus utilisés est le gain moyen quotidien (GMQ) qui permet de quantifier la **croissance** de l'animal entre deux pesées. La semaine suivant le sevrage est une phase de stress pour le porcelet et durant laquelle la croissance est ralentie (Tokach et al., 1992). D'autres indicateurs comme le pourcentage de **morbidité** et de **mortalité** ainsi que l'index thérapeutique (liste de médicaments administrés aux animaux) reflètent l'état de santé globale du troupeau (mais pas celui de l'individu dans le troupeau).

Un **examen clinique** de l'animal rend compte du statut sanitaire de l'animal. Quand une pathologie particulière est suspectée, un examen clinique est associé à des tests sérologiques spécifiques du pathogène. Il consiste à noter de manière objective en suivant un barème précis, des critères tels que des pathologies digestives (diarrhées) ou respiratoires (toux, étternuements). Il permet aussi de se rendre compte de différentes lésions (aux onglons, aux oreilles, à la queue), de problèmes locomoteurs (arthrite, porcelet splay-leg) ou la présence d'une éventuelle hernie. Il peut aussi être intéressant de noter l'épiphora brun, aussi nommé larme brune, situé aux coins internes des yeux des porcs. La surface de l'épiphora serait corrélée positivement avec l'activation du système sympathique. Cette technique a été proposée par DeBoer et Marchant-Forbes en 2013.

#### 3.2. Indicateurs comportementaux de santé et de bien-être

A l'échelle du groupe, le **comportement** peut aussi être un indicateur de santé et de bien-être animal : un individu apathique, qui ne se lève pas lorsqu'on s'approche de lui, qui exprime un comportement de maladie important ou une douleur sévère au niveau de l'appareil locomoteur empêchant l'animal de se lever. D'autres indicateurs comportementaux révèlent un mal-être de l'animal. La fréquence élevée de morsures de queue ou d'oreilles montre une motivation d'investigation non satisfaite. L'agressivité est aussi un signe ou une cause de mal-être. Elle est très présente lors de mélange d'animaux au transfert au post-sevrage ou en engraissement. Elle peut s'objectiver en comptant les griffures sur l'animal. Ekkel et al. en 1995 montrent ainsi que des animaux élevés dans un environnement amélioré pour respecter le bien-être des animaux présentent moins de lésions.

#### 3.3. Indicateurs biochimiques

Le **cortisol** est une hormone couramment utilisée comme indicateur de stress. Le sevrage induit une augmentation du cortisol dans le sang et la salive (Merlot et al., 2004; Niekamp et al., 2007;

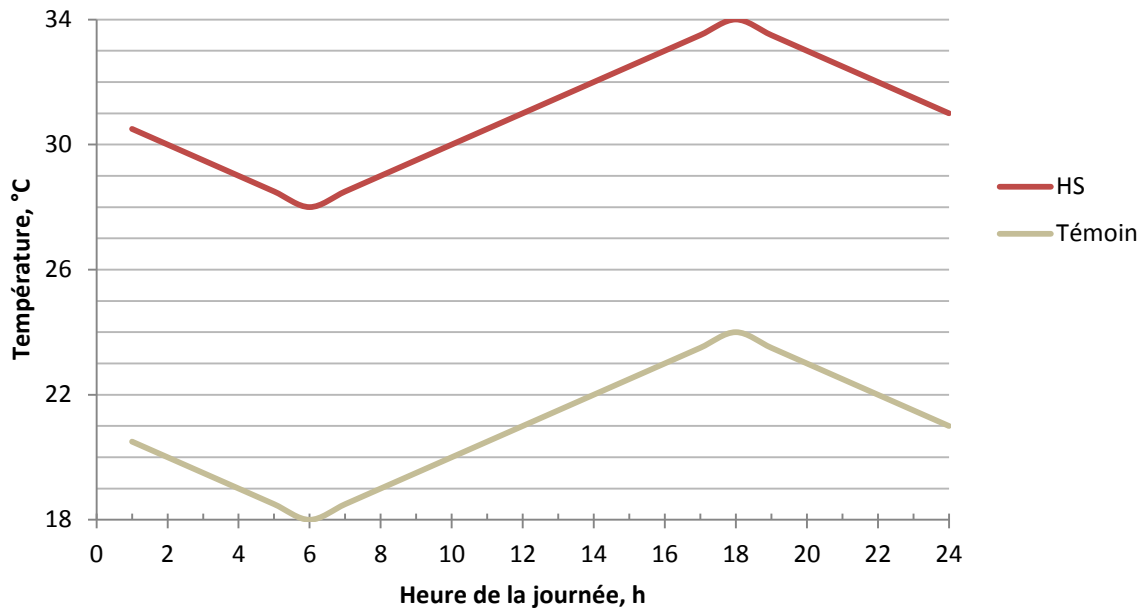
Van der Meulen *et al.*, 2010). Une activation aiguë du système immunitaire, suite à l'injection de LPS, induit également une activation de l'axe corticotrope (Tuchscherer *et al.*, 2004). Le cortisol peut être dosé dans le sang, où il est pour 90% lié aux protéines, ou dans la salive qui contient seulement du cortisol libre en proportion corrélée à la teneur en cortisol libre sanguin (Merlot *et al.*, 2011). Seules les molécules non liées ont une action sur l'organisme.

L'immunité non spécifique est la première ligne de défense de l'organisme contre les agressions extérieures. Lors d'une inflammation, la concentration des cellules et de protéines de l'immunité comme les molécules du complément non spécifiques augmente de manière significative dans le plasma. Ainsi lors d'une agression de l'organisme, la **numération sanguine** des cellules de la lignée blanche augmente (Kich *et al.*, 2011). Cette méthode permet d'évaluer le statut infectieux, inflammatoire ou l'état de stress de l'animal. Les protéines de l'inflammation, telles que l'**haptoglobine** plasmatique, sont également utilisées pour évaluer l'état de santé des animaux (Le Floch *et al.*, 2006; Guillevic *et al.*, 2011; Pastorelli *et al.*, 2012).

Chez les ongulés, la placentation est épithéliochoriale. Le porcelet naît dépourvu d'**immunoglobulines**. Son système immunitaire, bien que fonctionnel, n'est pas encore mature (Rooke et Blanc, 2002). L'un des rôles essentiels du colostrum est de fournir une immunité passive aux porcelets. Le colostrum est très riche en IgG qui assurent une immunité systémique aux porcelets pendant les premières semaines de vie extra-utérine. Les autres classes d'immunoglobulines (IgA, IgM) dans le colostrum sont présentes en beaucoup plus faibles proportions que les IgG. Les IgG, les IgA et les IgM maternelles traversent la paroi intestinale du porcelet par transcytose à travers les entérocytes et arrivent dans le sang. Le catabolisme élimine la moitié des IgG en 15 jours, des IgA en 3 jours et des IgM en 4 jours (Salmon *et al.*, 2010). L'arrêt de l'absorption des macromolécules, incluant l'arrêt de l'absorption des immunoglobulines d'origine maternelle contenues dans le colostrum, se produit 24 à 36 h après la naissance (Leece, 1973). Les IgG restent assez longtemps dans le sang des porcelets pour être de bons indicateurs du transfert de l'immunité maternelle. Les IgM maternelles sont très minoritaires et quasiment indétectables dans le sang du porcelet : ainsi les IgM dosées dans le sang du porcelet (dans les semaines qui suivent sa naissance) proviennent quasiment exclusivement de la synthèse propre au porcelet. Ce sont donc un indicateur du nombre et de l'amplitude de réponses immunitaires primaires qu'il a réalisé depuis sa naissance.

Le **statut oxydant** est proposé par Sauerwein *et al.*, en 2005 comme marqueur de l'état de santé d'un porcelet. Le stress oxydant résulte d'un déséquilibre entre la production de molécules pro-oxydantes et leur neutralisation par des molécules antioxydantes. Les molécules pro-oxydantes sont produites principalement par la chaîne respiratoire et par l'activité du système immunitaire. De nombreuses molécules endogènes (superoxydes dismutases, catalases, glutathion peroxydase) ou exogènes (vitamine E, vitamine A, sélénium) ont un pouvoir antioxydant (Halliwell et Gutteridge, 2015 ; Kohen et Nyska, 2002). Le test dROM mesure la concentration des espèces réactives à l'oxygène (ROS), molécules pro-oxydantes. Le test BAP mesure la capacité antioxydante du plasma. Le stress oxydant augmente au cours de la croissance du porcelet par une augmentation de molécules plasmatiques pro-oxydantes et une stagnation de la capacité antioxydante. Le sevrage provoque une augmentation transitoire du stress oxydant amplifié par la survenue de diarrhées (Buchet *et al.*, 2017). Ainsi, dans ce dernier article, le stress oxydant y est interprété comme un indicateur d'une dégradation de la santé des animaux.

Les indicateurs biochimiques permettent ainsi d'évaluer l'état de santé des animaux mais aussi d'évaluer leur adaptation face à différents stress.



**Figure 2 :** Evolution journalière de la température des salles du 7<sup>e</sup> au 110<sup>e</sup> jour de gestation pour chacun des lots. (HS : lot stressé thermiquement)



**Figure 3 :** dispositif expérimental.



## Objectif et stratégie

L'objectif de mon stage est de répondre à la question suivante :

### **L'exposition des truies gestante à la chaleur a-t-elle un impact sur la santé et le bien-être des porcelets ?**

Pour répondre à cette question, une partie des truies gestantes a été exposée à la chaleur. Leur réponse à la chaleur a été vérifiée. Les indicateurs de la santé des porcelets ont été suivis de la naissance à la fin du post sevrage. Des analyses sanguines relatives à la santé et au bien-être ont été réalisées autour du sevrage et du transfert en engraissement. Ces deux périodes critiques sont susceptibles de pouvoir faire apparaître des différences entre les deux lots qui ne sont pas visibles à des périodes non stressantes de la vie de l'animal.

## Matériels et méthodes

### Dispositif expérimental

Un total de 32 femelles a été inséminé le 2 octobre 2017 avec de la semence de porc Piétrain. Les femelles sont issus d'un croisement Large White et Landrace. Les 29 truies gestantes ont été séparées en deux lots avec autant de primipares que de multipares chacun. Du 7<sup>e</sup> au 110<sup>e</sup> jour de gestation, le lot témoin (TN) était dans des conditions de thermo-neutralité avec des températures comprises entre 18 et 24°C alors que le second lot a été challengé thermiquement (HS) avec des températures entre 28 et 34°C. Les températures variaient dans la journée avec un minimum à 6h et un maximum à 18h (**figure 2**). En dehors de la température durant la gestation, les animaux des deux lots étaient conduits de manière identique (**figure 3**).

Quatre jours avant la mise-bas, 24 truies (6 primipares et 6 multipares par lot) ont été transférées dans des maternités de 12 places. Ces truies et leurs porcelets ont été suivis pour toutes les mesures physiologiques. Les 5 truies surnuméraires ont été transférées dans une autre salle de maternité, et n'ont été utilisées que pour collecter les données de reproduction des mères et le suivi quotidien des événements de santé des porcelets. Les mise-bas ont lieu la semaine du 22 au 26 janvier 2018. Les mise-bas étaient surveillées 24 heures sur 24 pour avoir des mesures périnatales très précises. Des adoptions ont été réalisées le 24 et le 25 janvier pour rééquilibrer la taille des portées. Ainsi 15 porcelets ont été transférés sous des truies du même lot et de même parité.

Une injection de fer, la coupe de la queue et la castration ont été réalisées le lundi de la semaine suivant les mises-bas. Trois mâles de poids moyens de chaque portée n'ont pas été castrés. La castration, effectuée sur 101 des 171 mâles, est suivie d'une injection de Meflosyl (analgésique ayant des propriétés anti-inflammatoires et antipyrétiques).

Des injections de Vtrimoxin (antibiotique) et de Meflosyl ou de Sodibio (antibiotique à spectre large et anti-inflammatoire) ont été effectuées sur les 5 truies ayant été fouillées à la mise-bas et pour 12 porcelets avec des infections au niveau des onglons.

Les porcelets ont reçu un aliment complémentaire à partir du 21<sup>e</sup> jour de lactation (L21). L'aliment a été distribué 2 à 3 fois par jour en petite quantité pour préparer la transition alimentaire lors du sevrage. Le sevrage a eu lieu le 22 février, après 28 jours de lactation, vers

**Tableau 1 : Calcul des scores des observations de santé.** Le score attribué aux observations quotidiennes correspond à un nombre d'occurrence par semaine compris entre 0 et 5. Le score attribué aux observations hebdomadaires correspond à la présence ou à l'absence du critère.

Critère	Période d'observation	Fréquence d'observation	Score attribué par semaine
Diarrhée	Lactation et PS	5 jours/semaine	[0 ; 5]
Toux	Lactation et PS	5 jours/semaine	[0 ; 5]
Eternuement	Lactation et PS	5 jours/semaine	[0 ; 5]
Boiterie	Lactation et PS	5 jours/semaine	[0 ; 5]
Hernie	Lactation et PS	5 jours/semaine	[0 ; 5]
Splay-leg	Lactation	5 jours/semaine	[0 ; 5]
Propreté	Lactation et PS	1 jours/semaine	[0 ; 1]
Nombre de griffures	Lactation et PS	1 jours/semaine	[0 ; >15]
Larme brune	Lactation et PS	1 jours/semaine	[0 ; 1]
Jetage nasal	Lactation	1 jours/semaine	[0 ; 1]
Croute sur la tête	Lactation et PS	1 jours/semaine	[0 ; 1]
Croute sur le museau	Lactation	1 jours/semaine	[0 ; 1]
Croute sur les oreilles	Lactation	1 jours/semaine	[0 ; 1]
Croute membre sup	Lactation	1 jours/semaine	[0 ; 1]
Croute sur les joues	Lactation	1 jours/semaine	[0 ; 1]
Lésion sur la queue	Lactation	1 jours/semaine	[0 ; 1]

deux salles contenant 12 loges de 10 places. La mise en lot a été réalisée en gardant au maximum les portées dans la même loge. Les porcelets des truies surnuméraires ont été placés dans deux autres salles du bâtiment en ne mélangeant pas les lots expérimentaux dans les loges dans des salles partagés avec des animaux non expérimentaux.

Au 36<sup>e</sup> jour de post-sevrage (PS36), le matin, les groupes d'animaux ont été modifiés en vue du transfert en engraissement la semaine suivante : les porcs ont été regroupés par cases de 12 animaux de même sexe et de même lot.

## 1. Mesures et prélèvements sur les truies

### 1.1. Mesures de température

Les températures cutanées des truies ont été mesurées sur le flanc le matin entre 8h et 9h30 le 4<sup>e</sup> jour de gestation (G4), mais aussi à G9, G29, G60, G106, G110 (**Figure 3**).

### 1.2. Prélèvements de salive

Les prélèvements de salive ont été réalisés sur les truies durant la gestation à G4, G9, G29, G60, G106, G110 (gestation d'une durée moyenne de 114 jours). Puis durant la lactation, deux prélèvements ont été réalisés à L7, L27 (**Figure 3**). Chacun de ces jours, les prélèvements ont été réalisés à 8h30, 13h30 et 17h30 pour prendre en compte le rythme circadien du cortisol. Le prélèvement consiste à insérer un cylindre de coton dans la gueule des truies à l'aide de clamps et de laisser les truies le mâcher jusqu'à qu'il soit imbibé de salive. Le coton est ensuite mis dans un tube, centrifugé pendant 10 minutes à 4°C et 2500g, la salive est aliquotée et conservée à -20°C.

## 2. Mesures et prélèvements sur les porcelets

### 2.1. Pesées

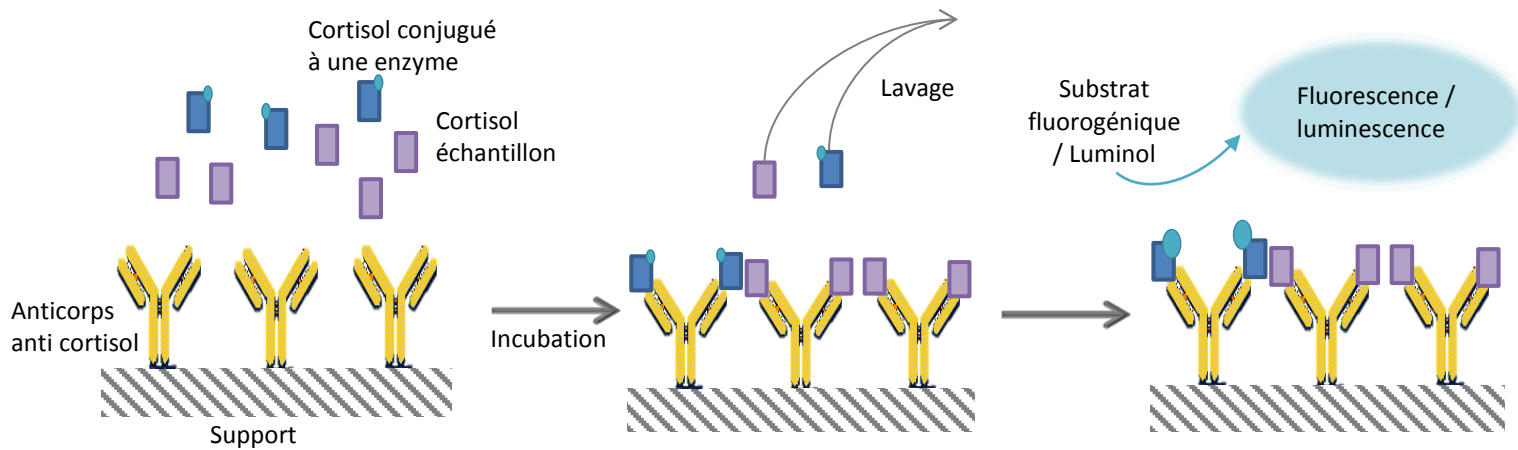
Les porcelets sont pesés à leur naissance. Des pesées individuelles sont ensuite effectuées toutes les semaines à 6, 13, 20 et 28 jours de lactation (L6, L13, L20, L28), puis le matin à jeun 4, 8, 14 et 28 jours post-sevrage (PS4, PS8, PS14, PS28 et PS35 ; **Figure 3**). Les gains moyens quotidiens (GMQ) ont été calculés.

### 2.2. Enregistrements de santé

Le suivi sanitaire est divisé en deux actions : le suivi quotidien et le suivi hebdomadaire.

Le suivi quotidien réalisé sur les porcelets des 29 portées et consiste à relever tous les jours la présence d'événements de santé des porcelets (boiterie, hernie, diarrhée, toux...) sans rentrer dans la loge. Quand un problème de santé est repéré, l'identité du porcelet concerné est également notée. Pour identifier un problème respiratoire, trois écoutes de 2 minutes sont réalisées dans chaque salle pour compter le nombre d'éternuement et de toux en essayant d'identifier l'individu ou au moins la loge dans laquelle cela s'est produit. Des scores par jour de présence de l'évènement sanitaire par semaines sont ensuite attribués à chacun pour pouvoir être analysé (**Tableau 1**).

Le suivi hebdomadaire est réalisé une fois par semaine (à L1 (ou L4), L13, L20, PS4, PS11, PS20 et PS27) sur les animaux des 24 portées suivies de façon rapprochée en physiologie, et requiert d'entrer dans la loge attraper individuellement chaque animal (en lactation) ou à minima l'approcher individuellement (en post-sevrage). En maternité, ce suivi consiste à relever la propreté, le nombre de griffures sur le corps, la présence de croûtes sur les joues, le museau et



**Figure 4:** Principe des dosages du cortisol plasmatique (fluorescence) et salivaire (luminescence).

les genoux, de lésions sur les oreilles, sur la queue et aux onglons, la présence de jetages nasaux, et la notation des larmes brunes. En post-sevrage, les croûtes sur les pattes et sur les joues ont disparu. Il n'est donc plus nécessaire d'observer ce critère. Les lésions sur les différentes zones de la tête sont moins fréquentes donc réunies dans un seul critère. Des scores sont aussi attribués à chacun de ces critères (**Tableau 1**).

### 2.3. Prélèvements de sang

Une prise de sang est réalisée sur 96 porcelets (2 mâles et 2 femelles sélectionnés aléatoirement dans chacune des 24 portées suivies pour la physiologie) avant et après le sevrage (L22 et PS12 ; **Figure 3**). Pour pouvoir prélever le sang, les porcelets sont allongés sur une table en forme de V, la tête dans le vide, le cou en extension. De cette manière, la jugulaire est facilement accessible et l'animal ne crie pas. Le sang est récolté dans un tube hépariné et un tube contenant de l'éthylène diaminetétraacétique (EDTA). Les tubes sont transportés dans une glacière contenant des accumulateurs de froid jusqu'au laboratoire le plus rapidement possible.

Dès leur arrivée au laboratoire, les tubes EDTA sont placés sur un agitateur rotatif afin d'assurer une bonne homogénéisation. Du sang est alors prélevé de ces tubes pour réaliser les formulations sanguines. Les tubes héparinés et EDTA sont ensuite centrifugés pendant 10 minutes à 4°C et à 2500g. A l'issue de la centrifugation, le plasma est aliquoté dans des cupules qui seront placées au congélateur à -20 ou -80°C en fonction du dosage ultérieur.

### 2.4. Prélèvements de salive

Des prélèvements de salive ont été réalisés sur les porcelets lors du regroupement la semaine avant l'entrée en engraissement (PS35 à PS37). Des prélèvements ont été réalisés la veille du transfert à 8h30, 13h et 17h30, le jour du transfert à 13h et 17h30 et le lendemain matin à 8h30. Le prélèvement est réalisé de la même manière que pour les truies.

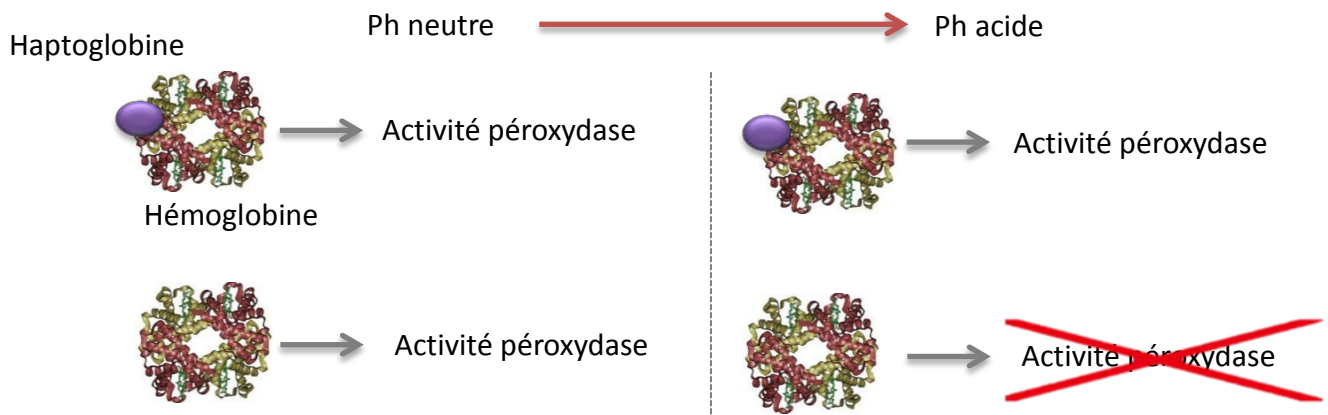
## 3. Dosages

### 3.1. Le dosage du cortisol salivaire

Le dosage d'immuno-luminescence (LIA) est basé sur la compétition entre le cortisol salivaire de l'échantillon et du cortisol fourni par le kit (IBM, Hambourg, Allemagne) pour les sites de fixation des anticorps spécifiques au cortisol qui sont coatés dans les puits. Le cortisol exogène, de concentration connue, est conjugué à la peroxydase. La révélation se fait par une réaction de chimiluminescence du luminol (**figure 4**).

Chaque échantillon est dosé en double. Les deux premières colonnes de chaque plaque contiennent des quantités de cortisol connues pour réaliser la gamme d'étalonnage. La dernière ligne de la plaque contient des contrôles fournis avec le Kit.

Le mode opératoire consiste à déposer 50µl de salive dans la plaque fournie par le kit, dont les puits sont déjà recouverts des anticorps spécifiques au cortisol. Puis l'ajout de 100µl de solution de cortisol conjugué à une enzyme permet de créer la compétition entre les molécules de cortisol endogène et exogène au kit pour les anticorps. Au bout de 3 heures d'incubation, la plaque est lavée 4 fois par un laveur de plaques. Puis 50µl de réactif luminescent comprenant le luminol sont ajoutés dans chaque puit. L'incubation dure 10 minutes afin que le luminol oxydé par la peroxydase fixée au cortisol produise une émission lumineuse. L'intensité lumineuse est lue par le luminomètre Mithras LB 940 de l'entreprise Berthold. Elle est inversement proportionnelle à la quantité de cortisol présente dans l'échantillon. Les concentrations de



**Figure 5** : Principe du dosage de l'haptoglobine réalisé par l'automate konélab.

cortisol de l'échantillon sont déterminées directement à partir de la courbe étalon. La totalité des dosages a été réalisée en 22 plaques au total, en l'espace de 7 jours de dosage, et l'ordre de distribution des échantillons sur les plaques avait été randomisé.

### 3.2. Dosages du cortisol plasmatique

Le cortisol plasmatique total (libre et lié) est dosé à partir de plasma sanguin contenu dans les tubes EDTA prélevé sur les porcelets en lactation et en post sevrage. Ce dosage se réalise sur l'automate Tosoh AIA-1800 avec un kit spécifique (TOSOH, Tessengerlo, Belgique).

L'automate commence par mesurer la qualité du substrat pour prendre en compte le bruit de fond. Les standards calibrants sont reconstitués par ajout d'eau milliQ. La calibration et 3 contrôles de qualité sont réalisés par l'automate permettant de contrôler la précision de l'automate. Les échantillons sont sortis du congélateur 1 heure avant leur utilisation. Une fois décongelés, ils sont centrifugés pendant 10 minutes à 4°C et 2500g et 150µl de plasma est déposé dans les godets adaptés à l'automate. Ce dosage est un dosage immunoenzymatique (EIA) compétitif. Le cortisol présent dans l'échantillon rentre en compétition avec le cortisol marqué de quantité connue dans les cupules tests. La compétition se fait vis-à-vis d'un anticorps spécifique du cortisol, couplé à de la phosphatase alcaline d'origine bovine. La révélation se fait par l'ajout d'un substrat fluorogénique qui réagit avec l'antigène de cortisol marqué (**figure 4**).

### 3.3. Numération sanguine

La numération sanguine est réalisée le plus rapidement possible sur sang total prélevé sur EDTA et disposé sur un agitateur rotatif depuis au moins 15 minutes. L'identification de l'échantillon est rentrée dans l'automate, 400µl de sang total sont prélevés et disposés dans un tube à hémolyse de 2,5 ml. Le tube à hémolyse est placé sur l'automate MS9 (de la marque Melet Schloesing Laboratoire) qui réalise un comptage et une identification de 5 populations leucocytaires : lymphocytes, monocytes, polynucléaires neutrophiles, éosinophiles, et basophiles.

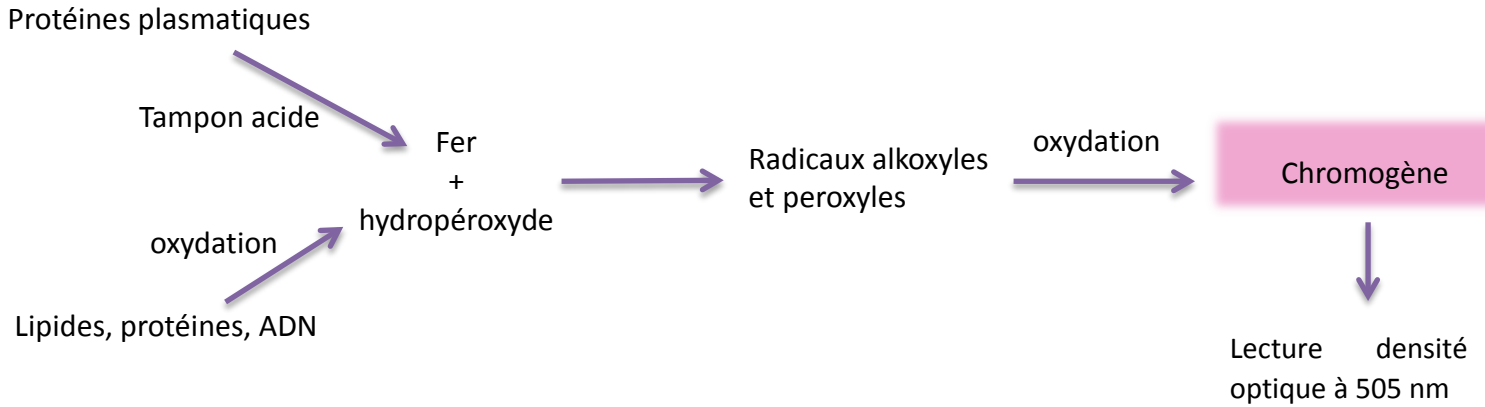
### 3.4. Dosages de l'haptoglobine, des hydroperoxydes (dROM) et de la capacité antioxydante totale du plasma (BAP)

L'haptoglobine, les dROM et la BAP sont dosés à partir de plasma sanguin hépariné prélevé sur les porcelets en lactation et en post sevrage. Ces dosages se réalisent sur le même échantillon grâce à l'analyseur automate le Konelab (Thermo). Des kits propres à chacun de ces dosages sont utilisés.

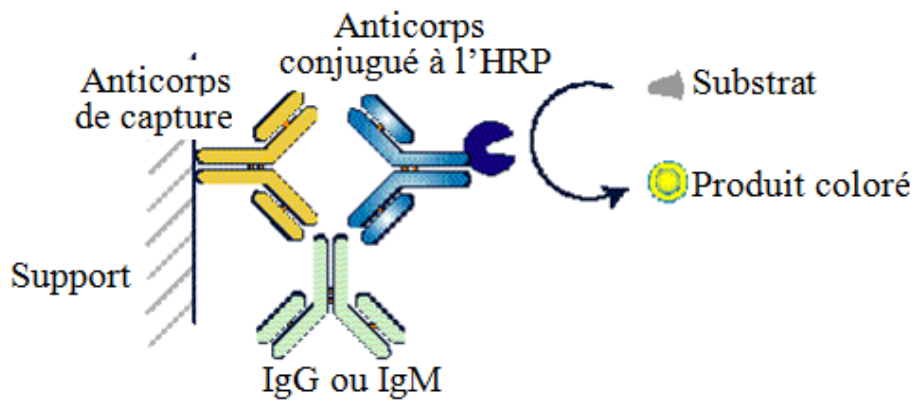
Les échantillons sont décongelés, vortexés. L'automate prélève directement dans la cupule contenant l'échantillon. Les dosages de BAP et de dROM sont dosés en double alors que l'haptoglobine est dosé en simple. Si le coefficient de variation pour le BAP et de dROM est supérieur à 5%, l'analyse est refaite.

Le dosage de l'haptoglobine (kit Haptoglobine Colorimetric Assay PHASE, Maynooth, Ireland) s'appuie sur le fait que l'haptoglobine se lie à l'hémoglobine. A faible pH, l'hémoglobine liée présente une activité peroxydase alors que ce n'est pas le cas de l'hémoglobine libre. L'automate mesure l'activité peroxydase de l'hémoglobine qui est directement proportionnelle à la quantité d'haptoglobine présente dans l'échantillon (**figure 5**).

Le dosage BAP (kit BAP, Diacron, Grosseto, Italie) est basé sur l'aptitude d'une solution colorée à se décolorer lorsque les ions ferriques ( $Fe^{3+}$ ) sont réduits en ions ferreux ( $Fe^{2+}$ ) dans un système



**Figure 6 :** Principe du dosage dROM réalisé par l'automate Konélab.



**Figure 7:** Principe du dosage des immunoglobulines (Ig) G et M par dosage immuno-enzymatique (ELISA) en « sandwich ». (HRP : horseradish peroxydase).



réducteur tel que le plasma. Dans le test BAP, l'échantillon de plasma à tester est dissout dans une solution colorée contenant des ions ferriques. Après une courte incubation, cette solution se décolore et l'intensité de ce changement sera directement proportionnelle à la capacité du plasma à réduire les ions ferriques. En évaluant photométriquement l'intensité de la décoloration, la capacité réductrice du pouvoir antioxydant du plasma testé est mesurée. Les résultats sont exprimés en  $\mu\text{mol/L}$  d'équivalent vitamine C, utilisée comme agent de référence de réduction du fer.

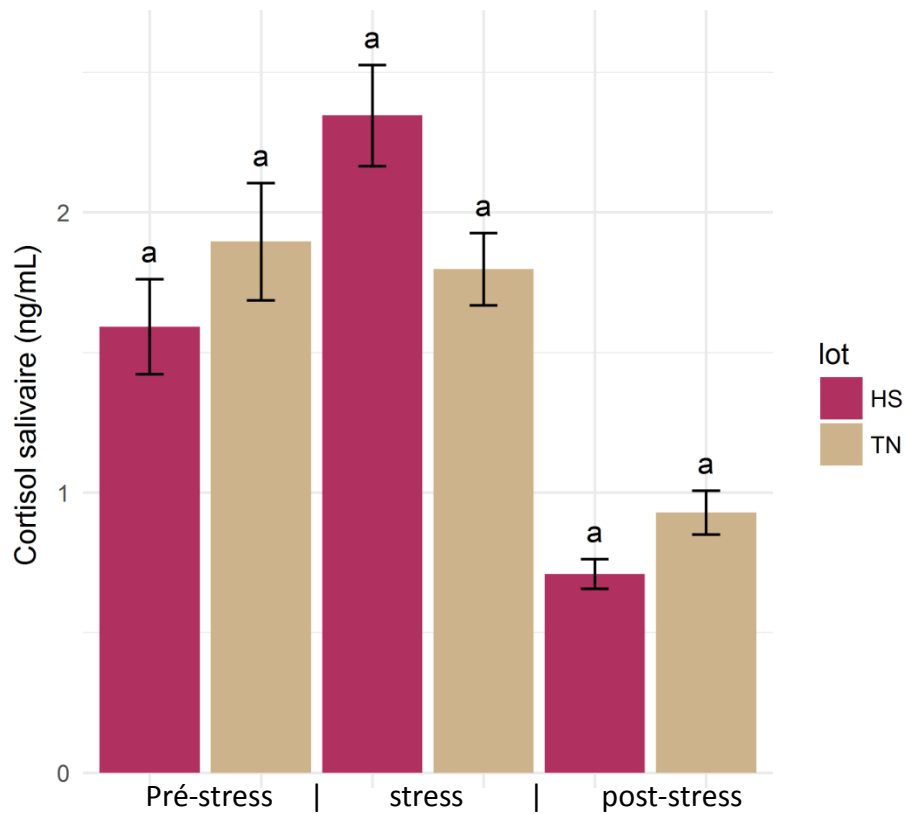
Le dosage dROM mesure la concentration en hydroperoxydes tel que le peroxyde d'hydrogène généré par l'oxydation des lipides, des protéines ou des acides nucléiques. Dans ce test, les hydroperoxydes de l'échantillon, en présence du fer libéré par les protéines plasmatiques sous l'action d'un tampon acide, produisent des radicaux alkoxy et peroxy qui oxydent à leur tour un substitut d'amines aromatiques produisant un dérivé de coloration rose détectable à 505 nm (**figure 6** ; Alberti et al, 1999). Un kit commercial est utilisé (Test dROM, Diacron, Grosseto, Italie).

### 3.5. Dosage des immunoglobulines

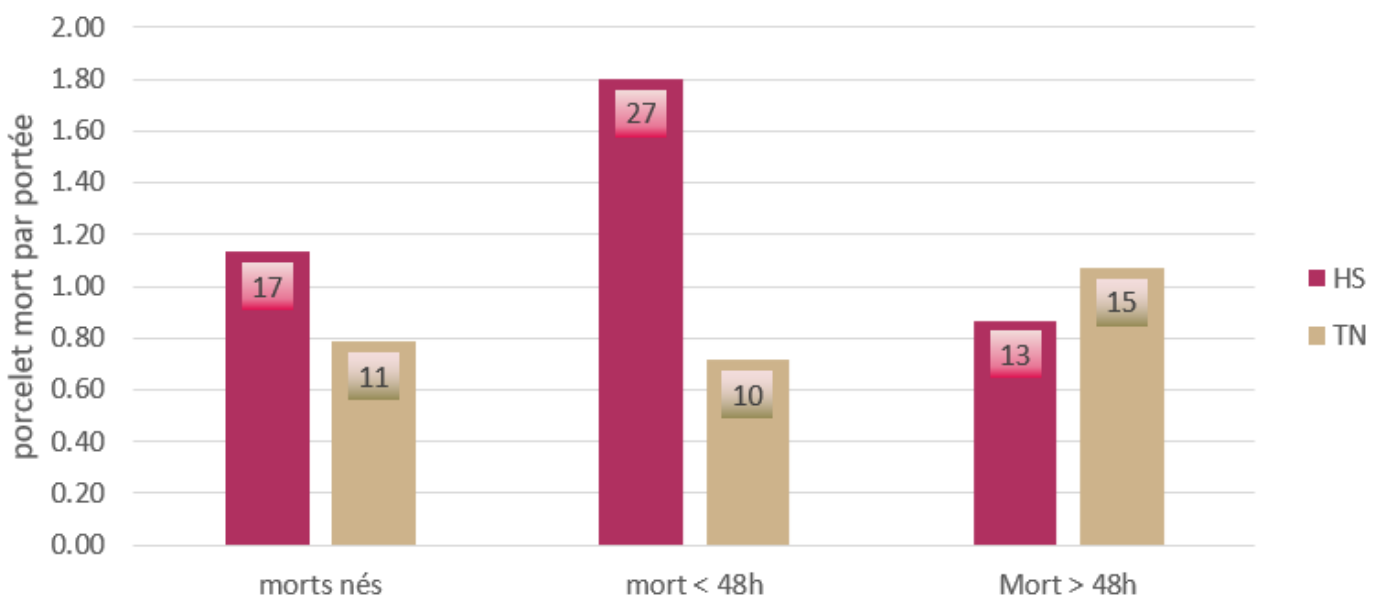
Les IgG et IgM totales dans le plasma sont dosées selon une méthode d'immuno-absorption par enzyme liée (ELISA) «sandwich» (**figure 7**). Ce dosage se réalise à partir du plasma contenu dans les tubes EDTA en utilisant les réactifs des kits Bethyl, Montgomery, Etat Unis. Les IgG, provenant à cet âge majoritairement du colostrum absorbé à la naissance, sont dosés seulement en lactation alors que les IgM, provenant des premières réponses immunitaires primaires produites par le porcelet, sont dosés à partir des deux prises de sang. Les échantillons sont dilués au 5000<sup>e</sup> pour le dosage des IgM et au 100 000<sup>e</sup> pour les IgG. La première étape nécessite de coater les plaques au moins 24h avant le dosage avec un tampon de coating contenant des anticorps spécifiques des parties Fc des IgG ou aux IgM porcins. Les plaques coatées sont lavées puis 100 $\mu\text{l}$  de chaque échantillon dilué sont déposés dans les puits et laissés à incuber pendant 1heure. Les Ig se lient aux anticorps de capture fixés dans le puits et présents largement en excès par rapport aux Ig à doser. Un deuxième anticorps anti-partie Fc d'IgG (ou d'IgM) porcin conjugué avec une enzyme horseradish peroxydase (HRP) vient se lier aux Ig capturées. Les plaques sont ensuite lavées pour supprimer les anticorps conjugués en excès. Le substrat de l'enzyme HRP est ensuite ajouté pour révéler les Ig capturées et laissé à incuber 15 minutes. Le substrat est transformé par l'enzyme en un composé coloré. La réaction est ensuite stoppée par ajout de 100 $\mu\text{l}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . La densité optique (DO) de l'échantillon est lue par un spectrophotomètre à 450nm et comparée avec la DO d'une gamme de standards qui permettent de calculer la concentration en Ig de l'échantillon.

## 4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont effectuées avec le logiciel R (package lme4 et lmerTest). Pour les variables continues, le modèle choisi pour expliquer les différentes variables d'intérêt est l'ANOVA d'un modèle linéaire mixte. Les facteurs fixes sont le lot (TN ou HS), le sexe du porcelet (femelle, mâle, castré) et la parité des truies (primipare ou multipare). Les interactions lot-sexe et lot-parité sont aussi testées dans le modèle. La truie est annoncée comme facteur aléatoire : elle correspond à l'effet de la portée et de la loge cumulés, car les portées ne sont pas mélangées au sevrage.



**Figure 8 : Evolution du cortisol salivaire des truies en fonction du lot stressé thermiquement (HS) et thermo-neutralité (TN).** La période de pré-stress inclue 3 prélèvements du jour G4, la période « stress » regroupe les prélèvements de G9, G29, G60, G110 et la période post stress regroupe ceux de G110, L7, L27. Pour chaque jour, les prélèvements de 8h30, 13h et 17h30 sont pris en compte. Analyses statistiques réalisées par période. Des lettres identiques signifient que les groupes ne sont pas significativement différents intra-lot.



**Figure 9 : Nombre de porcelets morts par portée en lactation en fonction du lot et de la date du décès.** Les nombres entiers correspondent au nombre de porcelets morts en tout dans cette catégorie.

Les analyses statistiques sont réalisées par période. Pour les truies, le cortisol salivaire est analysé en 3 périodes. La période pré-stress ne concerne que le prélèvement à G4 ; la période de stress regroupe les prélèvements réalisés à G9, G29 et G60 ; et celle post-stress regroupe les prélèvements réalisés en maternité à G110, L7 et L27. Les températures sont analysées sur une seule période : la gestation. Pour les porcelets, le cortisol salivaire et les résultats sanguins sont analysés pour chacun des prélèvements. Pour les enregistrements de santé, les données sont regroupées par semaines.

La normalité et l'homoscédasticité des résidus du modèle sont vérifiées. Si ces 2 postulats inhérents au modèle linéaire ne sont pas respectés, on utilise une transformation log (base 10) de la variable à expliquer afin de réduire sa distribution et sa variabilité. Ainsi le cortisol salivaire (truies et porcelets) et toutes les variables sanguines sauf le BAP ont subi cette transformation.

Si la variable suit une loi de Poisson, tel que les données de santé, on utilise la fonction glmer en précisant d'utiliser la loi de Poisson. Si la variable suit une loi Normale, on utilise la fonction lmer dans la fonction de lien. Le modèle utilisé est le même pour les variables continues ou discrètes. Le modèle est ensuite réduit en utilisant la fonction « step » du package lmerTest (réduction « backward ») en se basant sur le critère d'information d'Akaike (AIC) qui doit être minimal comme critère d'information objectif. Lorsqu'un effet est significatif, les moyennes ajustées sont calculées pour chaque niveau du facteur puis comparées à l'aide d'un test de Tuckey.

Dans un modèle, un facteur est considéré comme significatif lorsque sa probabilité critique est inférieure à 0.05 (test Fischer) et comme une tendance lorsque la probabilité est comprise entre 0.05 et 0.1. Dans les tableaux et figures, une étoile correspond à une probabilité critique comprise entre 0.01 et 0.05, deux étoiles entre 0.001 et 0.01 et trois étoiles correspondent à une probabilité critique inférieure à 0.001.

## Résultats

### 1. Résultats relatifs aux truies

#### 1.1. Cortisol salivaire

Il n'y a pas de différence significative entre les deux traitements quel que soit la période étudiée (pré-stress, stress et post-stress, **figure 8**). Par contre après la période de stress, les multipares ont un taux de cortisol salivaire plus faible ( $P < 0,001$ ) que les primipares (0,55 vs. 1,11 ng/mL).

#### 1.2. Température cutanée

Les truies élevées dans des conditions chaudes pendant la gestation ont une température cutanée au niveau du flanc significativement plus élevée ( $P < 0,001$ ) que celles élevées dans des conditions de thermo-neutralité (36,0°C vs. 34,9°C). Il n'y a pas de différence significative au niveau de la parité ni de l'interaction lot-parité.

#### 1.3. Données de reproduction et mortalité néonatale des porcelets

Pour les 29 truies dans l'expérimentation, 436 porcelets sont nés dont 28 morts nés. Les portées comptent en moyenne 15 porcelets par truie dont un mort-né. En moyenne 1,28 porcelet par portée meurt dans les 48 premières heures de sa vie et un autre meurt en lactation après 48 heures de vie (**Figure 9**). Au total, 65 porcelets (soit 16% des porcelets nés vivants) sont morts en

**Tableau 2 : Récapitulatif des résultats significatifs pour les porcelets.**

(HS : lot stressé thermiquement pendant la gestation, TN : lot témoin, primi : primipare, multi : multipare, M : mâle, C : mâle castré, F : femelle, Lot : parité : effet de l'interaction lot-parité, Lot : sexe : effet de l'interaction lot-sexe, ns: effet de l'effet sur la variable à expliquer non significatif, Tendence : 0,1<P<0,05, \* : 0,01<P<0,05, \*\* : 0,001<P<0,01, \*\*\* :P<0,001

Variable à expliquer	Effets				
	Lot	Parité	Sexe	Lot : parité	Lot : sexe
<b>Poids</b>	ns	ns	*** M>C	ns	***
<b>Observation de santé</b>					
<b>Lactation</b>					
- Nb de jour avec de la toux ou éternuement /semaine/porc	ns	*** primi >multi	ns	ns	ns
- Présence d'un problème aux onglons / porc	ns	ns	** F>C>M	ns	ns
- Présence de croûtes aux genoux /porc	ns	ns	* F>M	ns	ns
- Nb de griffures / porc	ns	ns	* M>C	ns	ns
<b>Post sevrage</b>					
- Nb de jours avec diarrhée /semaine /porc (1 <sup>ère</sup> semaine)	* TN>HS	ns	ns	ns	ns
- Nb de jour avec de la toux ou éternuement /semaine/porc	Tendance TN> HS	ns	ns	ns	ns
<b>Cortisol salivaire (ng/mL)</b>					
- Après regroupement	** HS>TN	ns	ns	ns	ns
<b>Résultats sanguin</b>					
<b>Lactation</b>					
- Nb de Leucocytes/mm <sup>3</sup> de sang	** TN>HS	** primi >multi	ns	ns	ns
- Nb de Lymphocyte/mm <sup>3</sup> de sang	* TN>HS	* primi >multi	ns	ns	ns
- Nb de Neutrophile/ mm <sup>3</sup> de sang	ns	** primi >multi	ns	ns	ns
- IgG (g/L)	ns	ns	ns	**	*
- BAP (µmol de Vitamine C /L)	ns	ns	ns	ns	*
<b>Post sevrage</b>					
- Haptoglobine (mg/mL)	* TN>HS	ns	ns	ns	ns
- Cortisol plasmatique (ng/mL)	ns	ns	* F>M	ns	ns
- IgM (g/L)	ns	** primi >multi	ns	ns	ns
- BAP (µmol/L de Vitamine C)	ns	ns	* F>M	ns	ns

**Tableau 3 : Nombre de porcelets à avoir eu une plaie, une boiterie ou une hernie en fonction du lot et du stade. (HS : lot stressé thermiquement *in utéro*, TN : lot témoin)**

Critère	Lactation				Post Sevrage			
	Causes et localisation	HS	TN	Total	Causes et localisation	HS	TN	Total
Plaie	Oreilles, joues, genoux	13	5	18	Oreilles	10	11	21
Boiterie	Onglon enflé ou arraché (16), Patte enflée, arthrites (15), Spley leg (2)	21	13	34	Kyste, malformation	6	8	14
hernie	Inguinale et ventrale	4	0	4	Inguinale et ventrale	4	2	6

lactation, près de la moitié ayant été écrasée, et 10 porcelets ont été euthanasiés. La mortalité totale (total de porcelets morts / né totaux) est d'un peu plus d'un cinquième. Il n'y a pas de différence significative entre les lots et les parités pour la mortalité intra-porté et ce quelle que soit la période considérée (mort-né, mort entre 0 et 48h, entre 48h et le sevrage).

## 2. Résultats relatifs aux porcelets

### 2.1. Poids et gain moyen quotidien

Le poids de naissance des porcelets est en moyenne égal à 1,34 kg. Les femelles sont significativement plus légères (1,30 kg) dans le lot témoin que les mâles (1,42 kg) cependant il n'y a pas de différences dans le lot HS (1,32 kg pour les mâles et 1,34 kg pour les femelles, **Tableau 2**). La différence entre les mâles HS et témoins n'est pas significative.

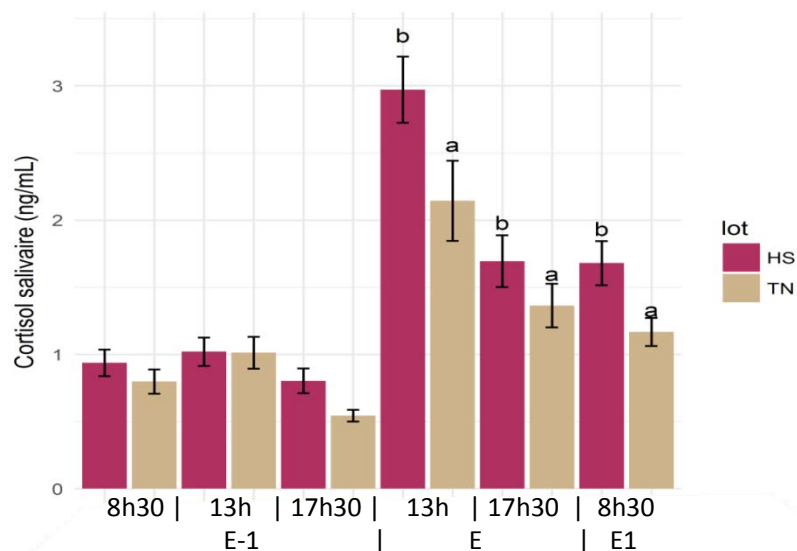
Avant la castration il n'y a pas de différence significative entre les mâles castrés (2,74kg) et les mâles entiers (2,85 kg). Puis, sur toute la période de lactation et de post sevrage, les mâles entiers sont plus lourds que les castrés. Il n'y a pas de différences significatives entre les lots ( $P > 0,5$ ). Au sevrage, les porcelets font en moyenne 9,5 kg pour atteindre un poids de 27 kg en fin de post sevrage.

Les porcelets ont une vitesse de croissance qui augmente durant la lactation (de 185 g/j durant la 1<sup>ère</sup> semaine à 275 g/j au cours de la dernière semaine la lactation). Les 4 premiers jours du sevrage le GMQ descend à de 244 g/j et atteint un minimum à 76 g/j les 4 jours suivants. La croissance augmente de nouveau entre PS8 et PS28 (519 g/j) pour être maximale la dernière semaine de post sevrage avec une croissance égale à 820 g/j. La croissance est homogène pour tous les porcelets quel que soit le lot, le sexe ou la parité ( $P > 0,05$ ).

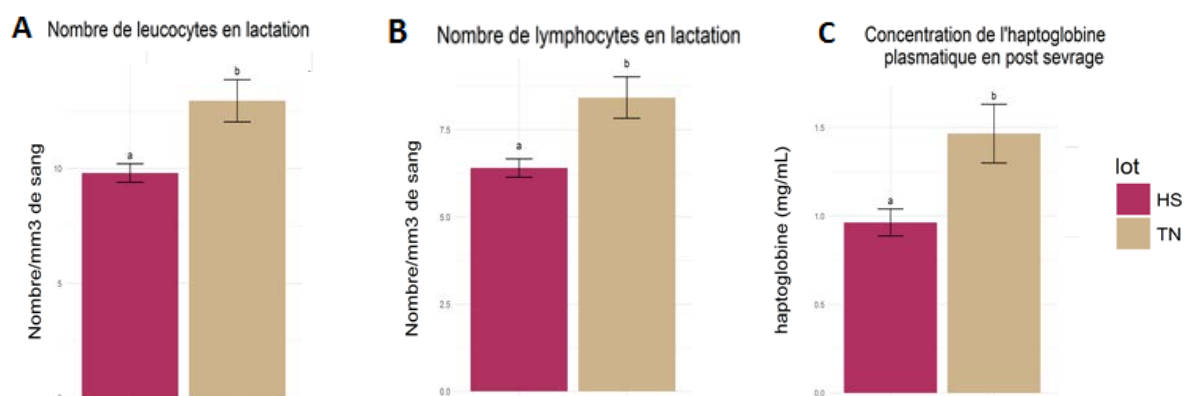
### 2.2. Observations de santé

En **lactation**, les observations de santé ne montrent pas de différence en fonction des lots (**Tableau 2**). En revanche, le nombre de jour avec une présence de problème respiratoire (éternuement ou toux) est plus important chez porcelets issu de primipares (0,12 jour/semaine/porc) que ceux issus de multipares (0,03 jour/semaine/porc ;  $P < 0,001$ ). Les femelles ont plus de problèmes que les mâles entiers au niveau des onglons (7% des femelles vs. 0,5% mâles ;  $P < 0,01$ ) et des crottes au niveau des genoux (48% des femelles vs. 40% des mâles ;  $P < 0,05$ ). De plus, les mâles entiers ont presque une griffure de plus en moyenne que les mâles castrés (4,2 griffures en moyenne contre 3,3 ;  $P < 0,05$ ). Les autres critères observés (la propreté des animaux, les diarrhées, les larmes brunes, et les plaies sur la queue, les joues, le museau ou les oreilles) ne présentent pas de différences significatives au niveau du lot, du sexe ou de la parité de leur mère.

En **post sevrage**, les porcelets issus de mères stressées lors de leur gestation ont moins de jour avec de la diarrhée la première semaine (0,75 jour de diarrhée/semaine/individu) que ceux issus de truie non stressées (0,92 jour de diarrhée/semaine/individu ;  $P < 0,05$ ). Au total près 57% des porcelets ont de la diarrhée au moins une fois durant la semaine (55% pour les TN et 60% pour les HS) qui suit le sevrage. Les diarrhées diminuent pendant tout le post sevrage jusqu'à 0,38 jour de diarrhée/semaine/individu (soit 27% des porcelets avec de la diarrhée au moins une fois) durant la dernière semaine de post sevrage. Il n'y a alors plus de différence significative entre les lots (0,35 pour les HS vs. 0,41 jour de diarrhée/semaine/individu pour les TN). Les porcelets stressés *in utero* ont aussi tendance à présenter moins de jours avec des problèmes respiratoires



**Figure 10: Evolution du cortisol salivaire des porcelets la veille (E-1), le jour (E) et le lendemain (E1) du transfert en engraissement en fonction du lot.** Résultats statistiques réalisés avant et après le stress. Des lettres différentes signifient que les groupes sont significativement différents à un temps donné. (HS : porcelets issus de truies élevées dans des conditions de stress thermique pendant la gestation, TN : porcelets issus de truies élevées dans des conditions de thermoneutralité pendant la gestation).



**Figure 11 : Résultats sanguins significativement différents vis-à-vis du lot.** Nombre de leucocyte (A) et de lymphocyte (B) par mm<sup>3</sup> de sang en lactation. Concentration d'haptoglobine plasmatique en post sevrage (C) en fonction du lot. Des lettres différentes signifient que les groupes sont significativement différents. (HS : porcelets issus de truies élevées dans des conditions de stress thermique pendant la gestation, TN : porcelets issus de truies élevées dans des conditions de thermoneutralité pendant la gestation).

**Tableau 4 : Valeur numérique de l'immunoglobuline de type G (IgG) en g/L et de la capacité antioxydante de plasma (BAP) en µmol/L de vitamine C en lactation.** (HS : porcelets issus de truies élevées dans des conditions de stress thermique pendant la gestation, TN : porcelets issus de truies élevées dans des conditions de thermoneutralité pendant la gestation. Résultats statistique : ns: effet de l'effet sur la variable à expliquer non significatif, \* : 0,01<P<0,05, \*\* : 0,001<P<0,01).

	Primi HS	Multi HS	Primi TN	Multi TN	Femelle HS	Mâle HS	Femelle TN	Mâle TN	Effet lot parité	Effet lot sexe
IgG	5,46	4,46	3,50	5,71	4,55	5,41	4,78	4,43	**	*
BAP	2481	2450	2409	2488	2454	2478	2480	2416	ns	*

par semaine que ceux non stressés (respectivement 0,21 et 0,26 jour/semaine/individu ;  $P < 0,1$ ). Les autres critères notés en post sevrage ne présentent pas de différence significative que ce soit au niveau du lot, du sexe ou de la parité de la mère.

Certains critères sont trop peu fréquents pour pouvoir réaliser des statistiques dessus (**Tableau 3**). Des plaies sont visibles sur 18 porcelets en lactation. Ces plaies sont présentes sur les oreilles, les joues ou les genoux avant et cicatrisent rapidement. En post sevrage, 21 porcelets ont eu des plaies ou de grosses griffures à l'oreille. Pour 19 d'entre eux, ces plaies sont détectées seulement lors de la dernière semaine de post sevrage. Les problèmes locomoteurs sont plus fréquents en lactation qu'en PS (34 vs. 14 respectivement). La nature de ces boiteries est de nature différente : en lactation cela est dû des onglons arrachés ou de l'arthrite alors qu'après le sevrage il s'agit plutôt de kystes ou de malformations. Par ailleurs, des hernies inguinales ou ventrales sont détectées sur 4 porcelets en lactation et 6 porcelets en post sevrage.

### 2.3. Cortisol salivaire

Avant le regroupement des animaux en vue du transfert en engraissement, le cortisol salivaire n'est pas significativement différent (0,85 ng/mL) que ce soit pour le lot, le sexe ou la parité (**Tableau 2**). En revanche, après le stress social que constitue le regroupement, le cortisol augmente et un contraste apparaît entre les lots (**figure 10**). En effet, lorsqu'on regroupe les 3 prélèvements après regroupement, le cortisol salivaire dosé chez des animaux du lot HS est plus élevé (2,2 ng/mL) que celui du lot témoin (1,6 ng/mL,  $P = 0,006$ ). Le cortisol salivaire diminue dans les deux lots au cours du temps mais ne revient pas à sa concentration basale le lendemain à 8h30. En effet, il passe de 2,6 ng/mL juste après le regroupement à 13h à 1,4ng/mL, et reste plus élevé chez les HS que les TN.

### 2.4. Résultats sanguins

En **lactation**, le nombre de leucocytes (**Figure 11 A**), et notamment celui des lymphocytes (**Figure 11 B**), est plus élevé chez les porcelets TN que les HS (respectivement 8,42 contre 6,40 lymphocytes/mm<sup>3</sup> de sang ;  $P < 0,01$ ). Les nombres de leucocytes ( $P < 0,01$ ), les lymphocytes ( $P < 0,05$ ) et les neutrophiles ( $P < 0,01$ ) sont plus élevés chez les animaux issus de truies primipares que ceux issus de multipares. Chez les portées de primipares, les IgG sont significativement plus élevés dans le lot HS que le lot TN (pour l'interaction lot et parité,  $P < 0,01$ ). De plus dans le HS, les femelles ont moins d'IgG que les mâles (4,55 vs. 5,41 g/L respectivement) alors qu'il n'y a pas de différence de sexe dans le lot témoin (**Tableau 4**). Par ailleurs, dans le lot TN, les femelles ont un niveau de BAP (2480  $\mu\text{mol/L}$  de Vitamine C) plus élevé que celui des mâles (2416  $\mu\text{mol/L}$  de Vitamine C, pour l'interaction lot et sexe,  $P < 0,05$  ; **Tableau 4**). Il n'y a pas de différence significative entre le lot, le sexe et la parité concernant les dROM, l'haptoglobine, le cortisol plasmatique et les IgM en lactation.

En **post-sevrage**, la concentration en haptoglobine (**Figure 11 C**) dans le plasma des porcelets TN est plus élevée (1,5 mg/mL) que dans le lot HS (1,0 mg/mL ;  $P < 0,05$ ). Le cortisol plasmatique et le BAP sont plus élevés chez les femelles que chez les mâles. Les IgM sont plus élevés chez les porcelets issus de primipares que ceux issus de multipares. Il n'y a pas de différence significative entre le lot, le sexe et la parité concernant les leucocytes, les lymphocytes, les neutrophiles et le dROM en post sevrage.

## Discussion

### 1. Effets de la chaleur sur les truies en gestation

L'exposition à la chaleur des truies gestantes se répercute sur leur température cutanée et cela de manière très significative. Mais, les truies exposées à la chaleur ont autant de cortisol salivaire que les truies témoins que ce soit en gestation ou en lactation. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que la femelle gestante étant rationnée, elle est moins sensible à l'exposition à la chaleur que la truie exposée en lactation (Peltoniemi *et al.*, 2000 ; Quiniou et Noblet, 1999). Le fait d'avoir choisi de moduler la température sur un cycle de 24h, en l'abaissant à 28°C le matin a peut-être aussi permis aux truies de s'adapter sans modification de l'axe corticotrope.

De plus, dans notre étude comme dans la littérature, la durée de gestation, la taille de la portée, le nombre de nouveau-nés vivants et mort-nés ne sont pas affectés par un stress appliqué à la femelle gestante (Hausmann *et al.* 2000 ; Kanitz *et al.*, 2003 ; Jarvis *et al.*, 2006 ; Otten *et al.*, 2007 ; Lay *et al.*, 2008). La mortalité totale avant sevrage calculée dans l'étude est égale à 21% et sans différence significative entre les deux lots. Cela est en cohérence avec les données de la littérature où cette mortalité varie entre 5% à 35% chez le porc en élevage conventionnel (Mellor et Stafford, 2004). Donc, l'exposition à la chaleur n'a pas de conséquence sur la reproduction des truies ni sur la mortalité des porcelets en lactation.

**L'exposition à la chaleur affecte la température cutanée des truies en gestation mais elles savent s'adapter. La chaleur n'a pas de répercussion sur l'axe corticotrope ni sur leur reproduction ainsi que sur la mortalité des porcelets en lactation.**

### 2. Effet sur la santé et l'immunité des porcelets

#### 2.1. En situation basale

Le nombre de leucocytes, et en particulier les lymphocytes, est plus faible chez les porcelets HS. On retrouve aussi ce résultat dans l'article de Couret *et al.* (2009b) avec un stress social soumis aux truies en lactation. Même si les conséquences fonctionnelles de cette variation sont inconnues, ce résultat montre que l'exposition à la chaleur *in utero* a un impact sur les cellules immunitaires et ce un mois après la naissance.

La concentration en IgM au post sevrage, le nombre de leucocytes, de lymphocytes et de neutrophiles est aussi plus élevée chez les porcelets issus de truies primipares que chez les truies multipares. De plus, les problèmes respiratoires sont plus fréquents chez les porcelets issus de primipares que ceux issus de multipares. Il est possible que la résistance des porcelets aux pathogènes soit plus faible chez ceux-ci du fait du transfert d'immunité passive plus faible pour les mères primipares (Foisnet *et al.*, 2011). Le système immunitaire des porcelets est alors activé pour répondre à ce danger.

La placentation chez le porc étant épithéliochorale, le porcelet naît dépourvu d'immunoglobuline et son système immunitaire, bien que fonctionnel, n'est pas encore mature (Rooke et Blanc, 2002). Les IgG dosés dans le plasma sanguin du porcelet en lactation correspondent donc aux IgG maternels transmises via le colostrum. La concentration en IgG a tendance à être plus faible dans le colostrum prélevé une heure après le début de la mise-bas chez les primipares stressées comparé aux multipares du même lot. (Ces données ont été



acquises par une autre équipe de l'unité PEGASE et ne sont pas montrées dans ce rapport). On retrouve ce résultat dans le sang de leurs porcelets et de manière plus marquée. Donc, lorsque la truie est exposée à la chaleur, le colostrum présente moins d'IgG. Cette différence pourrait être plus marquée dans le sang de ses porcelets par le fait qu'ils absorbent moins bien ces molécules. En effet, en situation de stress thermique, les glucocorticoïdes maternels pourraient altérer la maturation intestinale du porcelet et altérer l'absorption des immunoglobulines et entraînent ainsi une diminution des immunoglobulines plasmatiques (Bate *et al.*, 1991 ; Machado-Neto *et al.*, 1987).

En situation de stress, l'enzyme 11 $\beta$ -HSD2 qui transforme le cortisol actif en cortisone inactif dans le placenta est plus actif ou a une expression plus importante chez le fœtus femelle que celui des mâles (Benediktsson *et al.*, 1997). Donc, la concentration de cortisol maternel est plus élevée chez le fœtus mâle que le fœtus femelle (Klemcke *et al.*, 1995). Or, les femelles semblent avoir été plus affectées que les mâles par le transfert des IgG maternelles. Donc, d'autres médiateurs que le cortisol, non étudiés dans l'étude, pourraient avoir une influence sur la maturation de la paroi intestinale et donc l'absorption des IgG pour les porcelets des deux sexes. Il serait intéressant de continuer à chercher quels facteurs sont impliqués dans ce mécanisme.

**L'exposition *in utero* à la chaleur pourrait réduire, en situation basale, le nombre de leucocytes et notamment de lymphocytes circulant. Ainsi, en situation non stressante, ce stress thermique *in utero* a des effets au niveau sanguin mais cela n'a pas de conséquences visibles sur la santé du porcelet. Par ailleurs, le sexe des porcelets et la parité des truies pourraient interagir avec le stress thermique et modifier ses effets sur des effets sur la santé et le système immunitaire des porcelets.**

## 2.2. Au sevrage (situation challengée)

Le sevrage constitue un stress important pour le porcelet. En effet, il passe d'une alimentation lactée à une alimentation solide composée principalement de céréales, il change d'environnement en étant transporté dans un autre bâtiment et en étant séparé de sa mère. Il subit aussi à un stress social pour rééquilibrer le nombre de porcelets dans chaque loge.

En post-sevrage, les porcelets HS présentent moins de problèmes de santé d'inflammation que les porcelets issus du lot témoin. Les porcelets HS ont moins de toux et de diarrhée pendant la 1<sup>ère</sup> semaine. Cette même semaine, ils ont moins d'haptoglobine sanguine, signe d'une inflammation globale. On retrouve ce résultat dans l'article de Collier *et al.* (2011). Le stress prénatal pourrait donc avoir un impact sur des facteurs importants impliqués dans la préservation de la santé des porcelets. Néanmoins, les différences entre HS et le lot témoin pour les diarrhées ne s'observent plus lors des semaines suivantes. Ce résultat aurait donc besoin d'être confirmé dans une autre répétition du protocole ou une autre étude.

Le dosage des IgM est utilisé comme marqueur des immunoglobulines synthétisées par les porcelets. Ils sont synthétisés dès la réponse primaire alors que les IgG sont synthétisés lors de la réponse secondaire soit plus tard dans la vie post-natale. Au sevrage, la concentration d'IgM est plus élevée chez les porcelets issus des truies primipares que ceux issus des multipares. Cela résulte de l'activation du système immunitaire provoqué par les problèmes respiratoires présents chez ces porcelets en lactation.

Une des limites à cette étude concerne la notation des signes cliniques qui n'est pas toujours évidente. Il est possible, par exemple, que la diarrhée ne soit pas visible lors du passage de

l'observateur. Il n'est pas toujours facile non plus de détecter les problèmes sur les onglons ou les hernies si l'animal est couché dessus ou caché par un autre porcelet. C'est pourquoi il est utile de noter chaque jour ces critères pour obtenir un indicateur le plus fiable possible. Par ailleurs, en lactation, les porcelets HS se trouvaient d'un côté de la salle et les témoins de l'autre. Cela est une source de biais qui a été supprimé en post sevrage. Quelques fuites d'eau sont survenues au post sevrage. Même si elles ont été réparées le plus rapidement possible, elles ont peut-être eu un effet sur la santé des porcelets.

**Après le sevrage, l'exposition à la chaleur *in utero* réduit la fréquence des pathologies respiratoires et digestives avec par conséquent une diminution de la réponse inflammatoire.**

### **3. Effets sur le bien-être et l'axe corticotrope des porcelets**

Nous avons approché la réactivité au stress par 2 approches : l'enregistrement des griffures qui reflètent l'agressivité dans la loge, la réactivité de l'axe corticotrope suite à un regroupement.

#### **3.1. En situation basale**

Le nombre de griffures est plus important sur le corps des porcelets mâles entiers que chez les castrés. Cela démontre plus d'agressivité chez les mâles non castrés ce que l'on retrouve dans la bibliographie (Tallet *et al.*, 2013).

**L'absence d'effet du traitement sur le nombre de griffures suggère une absence d'effet sur l'agressivité des porcelets.**

#### **3.2. Lors du regroupement en fin de post sevrage (situation challengée)**

Le mélange d'animaux qui ne se connaissent pas lors du transfert des animaux représente un véritable stress pour les porcs. Cela est augmenté par la promiscuité : les porcs passent de 10 à 12 animaux dans les mêmes loges. Les animaux se battent pour établir une hiérarchie. Certains sont tellement stressés qu'ils se couchent sur le flanc et hyper ventilent.

Lors de ce stress, la concentration de cortisol est plus élevée dans la salive des porcelets stressés *in utéro* alors que ce n'est pas le cas avant le regroupement. L'axe corticotrope des animaux stressés *in utéro* est plus activé suite à une situation de stress. La littérature montre que les porcelets non stressés ont une plus forte activité au niveau de l'axe corticotrope et du système nerveux sympathique (Otten *et al.*, 2010 ; Kranendonk *et al.*, 2006 ). Les résultats de notre étude montrent plutôt une sensibilité accrue de ces structures vis-à-vis au stress.

Le fait qu'il n'y ait pas de différence de cortisol salivaire avant le regroupement, ni de cortisol plasmatique une semaine après le sevrage, suggère que l'axe corticotrope n'est pas plus actif tout le temps mais uniquement lors d'un stress aigu. Cela peut être dû par exemple à une plus forte réactivité émotionnelle des animaux.

**Les porcs stressés *in utéro* semblent plus sensibles au stress social avec une concentration en cortisol salivaire plus élevé.**

## Conclusions et perspectives

Les truies s'adaptent relativement bien à la chaleur puisque ce stress ne se répercute pas sur leur axe corticotrope ni sur leur reproduction. Cette conclusion devra néanmoins être tempérée selon les résultats des autres équipes de l'unité PEGASE et complétée par d'autres études. Cette exposition à la chaleur a en revanche des effets sur la descendance et cela est d'autant plus visible dans les situations où la santé et le bien-être des animaux sont challengés.

En situation non stressante, l'effet de l'exposition à la chaleur *in utero* ne serait pas visible sur l'axe corticotrope et sur le statut clinique des porcelets. L'activité du système immunitaire est en revanche modifiée (le nombre de leucocytes et de lymphocytes par mm<sup>3</sup> de sang est moins élevé).

Le sevrage et le transfert en engraissement présentent deux périodes de stress intense dans la vie des porcs. En effet, on remarque une élévation nette de la concentration de cortisol, signe de l'activation de l'axe corticotrope chez tous les individus. En situation challengée, l'effet de l'exposition à la chaleur *in utero* réduirait les pathologies respiratoires et digestives et ainsi les marqueurs de l'inflammation (haptoglobine) présents dans le sang. L'axe corticotrope de ces porcelets semble en revanche plus sensible au stress avec une augmentation de synthèse de cortisol.

Cette étude a permis de montrer que la parité et le sexe pouvaient interagir avec le traitement et avoir un effet sur la santé des porcelets. Les truies primipares auraient moins d'immunoglobulines dans leur colostrum. Leurs porcelets les absorberaient aussi moins bien. Ils seraient alors moins résistants aux pathogènes présents dans l'élevage. Leur système immunitaire serait ainsi plus actif que celui des porcelets issus de multipares (plus de leucocytes et d'immunoglobulines circulants). Il serait intéressant de regarder de manière plus approfondie les mécanismes d'interactions entre l'exposition à la chaleur et sexe ainsi que la parité.

Ce stage s'inscrit dans le cadre d'une étude sur les effets de stress thermique *in utero* chez le porc. Il serait intéressant d'approfondir l'analyse des résultats en s'intéressant notamment aux données comportementales et aux données à l'échelle de la loge qui n'ont pas été évoquées dans ce rapport par manque de temps. Il serait aussi intéressant de croiser les résultats obtenus sur la santé des porcelets avec les résultats des autres chercheurs de l'équipe concernant l'alimentation, le métabolisme, les performances des porcs sur l'ensemble de leur vie ainsi que sur les effets épigénétiques.

Les limites de cette étude portent sur l'acquisition des résultats. De plus, à la vue du temps imparti pour réaliser ce rapport, je manque de recul sur les résultats et sur la bibliographie pour pouvoir bien les discuter et conclure.

Cette expérimentation est une étude préliminaire. Il serait intéressant de compléter ces résultats par une autre étude avec une température élevée en gestation mais aussi en lactation et en post sevrage pour permettre une évaluation plus fine des effets du réchauffement climatique *in utero* mais aussi durant la vie de l'animal sur la santé et sur le système immunitaire des porcs, ainsi que sur leur réactivité émotionnelle et comportementale face à ce stress. A long terme, cette étude permettra de mieux connaître les effets du réchauffement climatique sur les porcelets ainsi mieux appréhender les conséquences sanitaires, comportementales et économiques sur la filière porcine. Ces résultats pourront peut-être aussi être extrapolables à d'autres espèces mammifères.

## Bibliographie

- Alberti A, Bolognini L, Macciantelli D and Caratelli M** 1999. The radical cation of N,N-diethyl-para-phenylendiamine: A possible indicator of oxidative stress in biological samples. *Res. Chem. Intermed.*, 26, 253-267.
- Barb CR, Estienne MJ, Kraeling RR, Marple DN, Rampacek GB, Rahe CH, and Sartin JL** 1991. Endocrine changes in sows exposed to elevated ambient temperature during lactation. *Domest. Anim. Endocrinol*, 8, 117-127.
- Bate LA, Ireland W, Connell BJ and Grimmelt B** 1991. Development of the small intestine of piglets in response to prenatal elevation of glucocorticoids. *Histology and Histopathology* 6, 207–216.
- Baxter JD and Forsham PH** 1972. Tissue effects of glucocorticoids. *Am. J. Med*, 53, 573-589.
- Barrington GM, McFadden TB, Huyler MT and Besser TE** 2001. Regulation of colostrogenesis in cattle. *Livestock Production Science* 70, 95–104.
- Benediktsson R, Calder AA, Edwards CR and Seckl JR** 1997. Placental 11 beta-hydroxysteroid dehydrogenase: a key regulator of fetal glucocorticoid exposure. *Clin.Endocrinol. (Oxf)*, 46, 161-166.
- Brown-Brandl TM, Nienaber JA, Xin H and Gates RS** 2004. A literature review of swine heat production. *Trans. ASAE* 47, 259–270.
- Brunton PJ, Russell JA and Douglas AL** 2008. Adaptive responses of the maternal hypothalamic-pituitary-adrenal axis during pregnancy and lactation. *J Neuroendocrinol*, 20, 764-776.
- Buchet A, Belloc C, Sialelli JN, Lacoste A et Merlot E** 2017. Evolution du statut oxydant du porc en croissance et focus sur l'influence de la conduite au sevrage. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 49, 189-194.
- Collier CT, Williams PN, Carroll JA, Welsh TH Jr and Laurenz JC** 2011. Effect of maternal restraint stress during gestation on temporal lipopolysaccharide-induced neuroendocrine and immune responses of progeny. *Domestic Animal Endocrinology* 40, 40–50.
- Collin A, van Milgen J, Dubois S and Noblet J** 2001. Effect of high temperature on feeding behavior and heat production in group-housed young pigs. *Br. J. Nutr.* 86, 63–70.
- Couret D, Otten W, Puppe B, Prunier A and Merlot E** 2009a. Behavioural, endocrine and immune responses to repeated social stress in pregnant gilts. *Animal* 3, 118–127.
- Couret D, Jamin A, Kuntz-Simon G, Prunier A and Merlot E** 2009b. Maternal stress during late gestation has moderate but long-lasting effects on the immune system of the piglets. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 131, 17–24.
- D'Eath RB, Tolkamp BJ, Kyriazakis I and Lawrence AB** 2009. 'Freedom from hunger' and preventing obesity: the animal welfare implications of reducing food quantity or quality. *Animal Behaviour* 77, 275–288.

- DeBoer S and Marchant-Forde J** 2013. 47th Congress of the International Society for Applied Ethology, Florianopolis, Brazil.
- De Leeuw JA and Ekkel ED** 2004. Effects of feeding level and the presence of a foraging substrate on the behaviour and stress physiological response of individually housed gilts. *Applied Animal Behaviour Science* 86, 15–25.
- do Amaral BC, Connor EE, Tao S, Hayen MJ, Bubolz JW and Dahl GE** 2011. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94, 86–96.
- Dourmad JY, Canario L, Gilbert H, Merlot E, Quesnel H et Prunier A** 2010. Évolution des performances et de la robustesse des animaux en élevage porcin. *INRA, Prod. Anim.*, 23 (1), 53-64.
- Ekkel ED, Van Doorn CE, Hessing MJ, and Tielen MJ** 1995. The Specific-Stress-Free housing system has positive effects on productivity, health, and welfare of pigs. *Journal of animal science*, 73(6), 1544-1551.
- Faber JJ, Thornburg KL and Binder ND** 1992. Physiology of placental transfer in mammals. *American Zoologist*, 32, 343-354.
- Foisnet A, Farmer C, David C and Quesnel H** 2011. Farrowing induction induces transient alterations in prolactin concentrations and colostrum composition in primiparous sows. *J. Anim. Sci.*, 89(10), 3048-3059.
- Fowden AL** 1995. Endocrine regulation of fetal growth. *Reprod.Fertif.Dev*, 7, 351-363.
- Fowden AL, Apatu RS and Silver M** 1995. The plucogenic capacity of the fetal pig: developmental regulation by cortisol. *Exp.Physiol*, 80, 457-467.
- Fulla Y, Guignal L, Dugué MA, Assié G et Bertagna X** 2009. Exploration biologique de la fonction corticotrope. *Revue Francophone des Laboratoires*, 416, 35-48.
- Guillevic M, Quelen FD, Mourot J, and Chesneau G** 2011. Effect of essential fatty acids supplementation in sow diet on weaned piglets' inflammatory status. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 43, 287-288.
- Halliwell B and Gutteridge JM** 2015. *Free radicals in biology and medicine*. Oxford University Press, USA.
- Hansel W** 1985. Advances in physiology of growth, reproduction and lactation. *Cornell Vet*, 75, 56-76.
- Hausmann MF, Carroll JA, Weesner GD, Daniels MJ, Matteri RL and Lay DC** 2000. Administration of ACTH to restrained, pregnant sows alters their pigs hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis. *J Anim. Sci*, 78, 2399-2411.
- Hemsworth PH** 2003. Human–animal interactions in livestock production. *Applied Animal Behaviour Science* 81, 185–198.
- Holmes CW and Close WH** 1977. The influence of climatic variables on energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. In: Haresign W., Swan H. and Lewis D. (eds), *Nutrition and the climatic environment* (4), 51-73.


- Jarvis S, Moinard C, Robson SK, Baxter E, Ormandy E, Douglas AJ, Seckl JR, Russell JA and Lawrence AB** 2006. Programming the offspring of the pig by prenatal social stress: Neuroendocrine activity and behavior. *Horm.Behav*, 49, 68-80.
- Johnson JS, Sanz Fernandez MV, Gutierrez NA, Patience JF, Ross JW, Gabler NK, Lucy MC, Safranski TJ, Rhoads RP and Baumgard LH** 2015. Effects of in utero heat stress on postnatal body composition in pigs: I. Growing phase, 93(1),71-81.
- Kanitz E, Otten W, Tuchscherer M and Manteuffel G** 2003. Effects of prenatal stress on corticosteroid receptors and monoamine concentrations in limbic areas of sucking piglets (*Sus scrofa*) at different ages. *Vet.Med A Physiol Pathol.Clin.Med*, 50, 132-139.
- Kanitz E, Otten W and Tuchscherer M** 2003. Changes in endocrine and neurochemical profiles in neonatal pigs prenatally exposed to increased maternal cortisol. *Endocrinol*, 191, 207-220.
- Kapoor A, Dunn E, Kostaki A and Andrews SG** 2006. Fetal programming of hypothalamo-pituitary-adrenal axis activity in male guinea pig offspring. *J Physiol*, 566, 967-977.
- Kerr BJ, Yen JT, Nienaber JA, and Easter RA** 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81, 1998–2007.
- Kick AR, Tompkins MB and Almond GW** (2011). Stress and immunity in the pig. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 6(18), 1-17.
- Klemcke HG** 1995. Placental metabolism of cortisol at mid- and late gestation in swine. *Bio.Reprod*, 53, 1293-1301.
- Klemcke HG, McGuire WJ and Christenson RK** 1995. Initiation of adrenal function in embryonic swine. *Biology of Reproduction* 52, 163–163.
- Klemcke HG and Christenson RK** 1996. Porcine placental 11 beta-hydroxysteroid dehydrogenase activity. *Biology of Reproduction* 55, 217–223.
- Kohen R and Nyska A** 2002. Oxidation of Biological Systems: Oxidative Stress Phenomena, Antioxidants, Redox Reactions, and Methods for Their Quantification. *Toxicol. Pathol.*, 30, 620-650.
- Kouba M, Hermier D and Le Dividich J** 2001. Influence of high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig. *J. Anim. Sci.* 79, 81–87.
- Kranendonk G, Hopster H, Fillerup M, Ekkel ED, Mulder EJH, Taverne MAM** 2006. Cortisol administration to pregnant sows affects novelty-induced locomotion, aggressive behaviour and blunts gender differences in their offspring. *Hormones and Behavior*, 49, 663-672.
- Lay DC Jr, Kattesh HG, Cunnick JE, Daniels MJ, McMunn KA, Toscano MJ, Roberts MP** 2008. Prenatal stress effects on pig development and response to weaning. *Anim. Sci*, 86, 1316-1324.
- Lay DC Jr, Kattesh HG, Cunnick JE, Daniels MJ, Kranendonk G, McMunn KA, Toscano MJ, Roberts MP** 2011. Effect of prenatal stress on subsequent response to mixing stress and a lipopolysaccharide challenge in pigs. *J Anim Sci.*, 89(6), 1787-94.

- Le Bellego L, Van Milgen J and Noblet J** 2002. Effects of high ambient temperature on protein and lipid deposition and energy utilization in growing pigs. *Anim. Sci.*, 75, 85-96.
- Le Floc'h N, Jondreville C, Matte JJ and Seve B** 2006. Importance of sanitary environment for growth performance and plasma nutrient homeostasis during the post-weaning period in piglets. *Archives of animal nutrition*, 60(1), 23-34.
- Leece JG** 1973. Effect of dietary regimen on cessation of uptake of macromolecules by piglet intestinal epithelium (closure) and transport to the blood. *J. Nutr.*, 103, 751-756.
- Luber G and McGeehin M** 2008. Climate change and extreme heat events. *Am. J. Prev. Med.* 35, 429-435.
- Machado-Neto R, Graves CN and Curtis SE** 1987. Immunoglobulins in piglets from sows heat-stressed prepartum. *Journal of Animal Science* 65, 445-455.
- Mellor DJ and Stafford KJ** 2004. Animal welfare implications of neonatal mortality and morbidity in farm animals. *The Veterinary Journal* 168, 118-133.
- Merlot E, Meunier-Salaun M-C, and Prunier A** 2004. Behavioural, endocrine and immune consequences of mixing in weaned piglets. *Applied Animal Behaviour Science*, 85(3-4), 247-257.
- Merlot E, Couret D and Otten W** 2008. Prenatal stress, fetal imprinting and immunity. *Brain behav. Immun*, 22, 42-51.
- Merlot E, Mounier AM, Prunier A** 2011. Endocrine response of gilts to various common stressors: A comparison of indicators and methods of analysis. *Physiology & Behavior*, 102, 259-265.
- Merlot E, Quesnel H and Prunier A** 2013. Prenatal stress, immunity and neonatal health in animal species. *Animal*, 7:12, 2016-2025.
- Messias de Braganca M, Mounier AM and Prunier A** 1998. Does feed restriction mimic the effects of increased ambient temperature in lactating sows? *Journal of Animal Science* 76, 2017-2024.
- Mormede P, Foury A, Terenina E and Knap PW** 2011. Breeding for robustness: the role of cortisol. *Animal*, 5, 651-657.
- Muglia L, Jacobson L, Dikkes P and Majzoub JA** 1995. Corticotropin-releasing hormone deficiency reveals major fetal but not adult glucocorticoid need. *Nature*, 373, 427-432.
- Myers RE** 1975. Maternal psychological stress and fetal asphyxia: a study in the monkey. *Am J Obstet. Gynecol*, 122, 47-59.
- Niekamp S-R, Sutherland M-A, Dahl GE and Salak-Johnson JL** 2007. Immune responses of piglets to weaning stress: Impacts of photoperiod. *Journal of Animal Science* 85(1), 93-100.
- Nienaber JA and Hahn GL** 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorol.* 52, 149-157.
- Otten W, Kanitz E, Tuschcherer M and Nurnberg G** 2001. Effects of prenatal restraint stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympatho-adrenomedullary axis in neonatal pigs. *Animal Science*. 73, 279-287.

- Otten W, Kanitz E, Tuchscherer M, Puppe B and Nürnberg G** 2007. Repeated administrations of adrenocorticotrophic hormone during late gestation in pigs: Effect on growth, behavior and immune responses of the piglets. *Livestock Science*, 106, 261-270.
- Otten W, Kanitz E, Couret D, Veissier I, Prunier A and Merlot E** 2010. Maternal social stress during late pregnancy affects hypothalamic-pituitary-adrenal function and brain neurotransmitter systems in pig offspring. *Domest Anim Endocrinol*, 38(3), 146-56.
- Pastorelli H, Le Floc'h N, Merlot E, Meunier-Salaün MC, Van Milgen J and Montagne L** 2012. Sanitary housing conditions modify the performance and behavioural response of weaned pigs to feed-and housing-related stressors. *Animal*, 6(11), 1811-1820.
- Peltoniemi OAT, Tast A and Love RJ** 2000. Factors effecting reproduction in the pig: seasonal effects and restricted feeding of the pregnant gilt and sow. *Anim. Reprod. Sci.*, 60- 61, 173-184.
- Prunier A, de Braganca MM and Le Dividich J** 1997. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livestock Production Science* 52, 123–133.
- Quiniou N and Noblet J** 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 77, 2124-2134.
- Renaudeau, D, Gilbert H and Noblet J** 2012. Effect of climatic environment on feed efficiency in swine. In: J. F. Patience, editor, *Feed efficiency in swine*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 183–210.
- Rooke JA and Bland IM** 1998. The acquisition of passive immunity in the new-born piglet. *Livest. Prod. Sci.*, 78, 13-23.
- Roussel S, Hemsworth PH, Leruste H, White C, Duvaux-Ponter C, Nowak R and Boissy A** 2006. Repeated transport and isolation during pregnancy in ewes: effects on the reactivity to humans and to their offspring after lambing. *Applied Animal Behaviour Science* 97, 172–189.
- Salmon H, Berri M et Meurens F** 2010. Immunité maternelle colostrale et lactée : facteurs humoraux et cellulaires d'induction et de transmission au porcelet jusqu'au sevrage *Journées Recherche Porcine en France*, 44, 241-250.
- Sauerwein H, Schmitz S and Hiss S** 2005. The acute phase protein haptoglobin and its relation to oxidative status in piglets undergoing weaning induced stress. *Redox Rep.*, 10, 295-302.
- Spooler HAM, Geudeke MJ, Van der Peet-Schwering CMC and Soede NM** 2009. Group housing of sows in early pregnancy: a review of success and risk factors. *Livestock Science* 125, 1–14.
- Stanton HC and Carroll JK** 1974. Potential mechanisms responsible for prenatal and perinatal mortality or low viability of swine. *J Anim. Sci*, 38, 1037-1044.
- Stefanski V, Raabe C and Schulte M** 2005. Pregnancy and social stress in female rats: influences on blood leukocytes and corticosterone concentration. *J Neuroimmunol*, 162, 81-88.
- Tallet C, Brilloüet A, Meunier-Salaün MC, Paulmier V, Guérin C and Prunier A** 2013. Effects of neonatal castration on social behaviour, human–animal relationship and feeding activity in finishing pigs reared in a conventional or an enriched housing. *Applied Animal Behaviour Science*, 145, 70–83.



- Tokach MD, Goodband RD, Nelssen JL and Kats LJ** 1992. Influence of weaning weight and growth during the first week postweaning on subsequent pig performance. *Report of Progress*, 667, 19-21.
- Tuchscherer M, Puppe B, Tuchscherer A and Tiemann U** 2000. Early identification of neonates at risk: traits of newborn piglets with respect to survival. *Theriogenology* 54, 371–388.
- Tuchscherer M, Kanitz E, Otten W and Tuchscherer A** 2002. Effects of prenatal stress on cellular and humoral immune responses in neonatal pigs. *Vet.Immunol.Immunopatjol*, 86, 195-203.
- Tuchscherer M, Kanitz E, Puppe B, Tuchscherer A, Stabenow B** 2004. Effects of postnatal social isolation on hormonal and immune responses of pigs to an acute endotoxin challenge. *Physiol. Behav.*, 82, 503-511.
- Van der Meulen J, Koopmans JS and Hoogendoorn A** 2010. Increasing weaning age of piglets from 4 to 7 weeks reduces stress, increases post-weaning feed intake but does not improve intestinal functionality. *Animal* 4(10), 1653-1661.
- Webster JR, Stewart M, Rogers AR and Verkerk GA** 2008. Assessment of welfare from physiological and behavioural responses of New Zealand dairy cows exposed to cold and wet conditions. *Animal Welfare* 17, 19–26.
- Weinstock M** 1997. Does prenatal stress impair coping and regulation of hypothalamic-pituitary-adrenal axis? *Neurosci.Biobehav.Rev*, 21,1-10.
- Weinstock M** 2001. Alterations induced by gestational stress in brain morphology and behaviour of offspring. *Prog.Neurobiol*, 65, 439-444.
- Weinstock M** 2005. The potential influence of maternal stress hormones on development and mental health of the offspring. *Prog.Neurobiol*, 65, 427-451.
- Welberg LA and Seckl JR** 2001. Prenatal stress, glucocorticoids and the programming of the brain. *J Neuroendocrinol*, 13, 113-128.

	Diplôme : Master Biologie, Agrosociétés Spécialité : Sciences de l'animal pour l'élevage de demain (SAED) Spécialisation / option : Physiologie et adaptation des animaux d'élevage Enseignant référent : Vanessa Lollivier
Auteur(s) : Caroline Constances Date de naissance* : 21/11/1993	Organisme d'accueil : INRA – UMR PEGASE Adresse : 16, le clos 35 590 – Saint Gilles
Nb pages : 19                      Annexe(s) : 0	Maître de stage : Elodie Merlot
Année de soutenance : 2018	
Titre français : Conséquences du stress thermique pendant la gestation sur la santé et le bien-être du porcelet.	
Titre anglais : Consequences of thermal stress on the piglet's health and welfare throughout gestation.	
Résumé (1600 caractères maximum) : <p>Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une expérimentation préliminaire sur les conséquences de l'exposition des truies à la chaleur pendant la gestation sur le métabolisme, les performances de croissance et la robustesse des porcs. L'objectif de ce stage est de déterminer les conséquences de l'exposition à la chaleur de truies gestantes sur la santé et le bien-être de la descendance pendant la phase de lactation et en post-sevrage, en s'intéressant notamment aux effets sur des variables immunitaires et à l'axe corticotrope des porcelets. Des truies ont été exposées à des températures supérieures à la thermoneutralité (n=15, 28-34°C) ou non (n=14, 18 -24°C) du 7 au 106ème jour de gestation. A partir du 110ème jour de gestation, en lactation et en post-sevrage, les truies et leurs porcelets issus des deux lots ont été élevés ensemble, à thermoneutralité. Les résultats de cette étude montrent que les truies gestantes s'adaptent bien à la chaleur (pas de variation du cortisol salivaire). Cette exposition induit chez le porcelet une réduction du nombre de lymphocytes sanguins à 27 jours d'âge, juste avant le sevrage, mais a un impact favorable sur la santé après le sevrage (réduction de l'occurrence des diarrhées et des problèmes respiratoires) et provoque un accroissement de la réactivité de l'axe corticotrope (augmentation du cortisol salivaire en réponse à un regroupement social à 58 jours d'âge). A long terme, cette étude permettra de mieux appréhender les conséquences sanitaires et économiques du réchauffement climatique sur la filière porcine.</p>	
Abstract (1600 caractères maximum) : <p>This study is a part of a preliminary experiment on the consequences of prenatal thermal stress on pigs' metabolism, robustness and growth performance. This internship aims to determine the consequences of thermal stress on pregnant sows on the health and welfare of their offspring during the lactation period and in post-weaning, especially focusing on the effects on immunity variables and on piglets' corticotropic axis. The sows were exposed to temperatures above thermoneutrality (n=15, 28-34°C) or not (n=14, 18-24°C) from day 7 to day 106 of gestation. From the 110th day of gestation, in lactation and post-weaning, the sows and their piglets from the two lots were raised together, in thermoneutral conditions. The results of this study show that pregnant sows adapt well to the heat (no variation in salivary cortisol). This exposure induces a reduction in the number of blood lymphocytes in piglets at 27 days of age, just before weaning, but has a favourable impact on piglets' health after weaning (less diarrhea and respiratory problems cases) and causes an increase in the reactivity of the corticotropic axis (increase in salivary cortisol in response to social grouping at 58 days of age). In the long term, this study will allow a better understanding of the health and economic impact of global warming on the pig industry.</p>	
Mots-clés : Chaleur, stress, santé, porcelets, système immunitaire, axe corticotrope	
Key Words: Heat, stress, health, piglets, immune system, hypothalamic-pituitary-adrenal axis	

\* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires