



HAL
open science

Description de la concentration en cortisol pileire selon le stade physiologique chez des porcs ayant accès ou non à l'extérieur

Jeanne Bertrand

► To cite this version:

Jeanne Bertrand. Description de la concentration en cortisol pileire selon le stade physiologique chez des porcs ayant accès ou non à l'extérieur. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04795353

HAL Id: dumas-04795353

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04795353v1>

Submitted on 21 Nov 2024

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.

ANNEE 2024 - Thèse n°70

**DESCRIPTION DE LA CONCENTRATION EN CORTISOL PILAIRE SELON
LE STADE PHYSIOLOGIQUE CHEZ DES PORCS AYANT ACCES OU NON
A L'EXTERIEUR**

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de

Nantes le 4 octobre 2024

par

Jeanne, Marie, Patricia BERTRAND

Sous la direction de

Julie Hervé

Président du jury :

- Monsieur Patrick LUSTENBERGER, Professeur émérite à la Faculté de Médecine de Nantes

Membres du jury :

- Madame Julie HERVE, Professeur en physiologie-physiopathologie à Oniris VetAgroBio Nantes

- Madame Catherine BELLOC, Professeur en santé des monogastriques à Oniris VetAgroBio Nantes

ANNEE 2024 - Thèse n°70

DESCRIPTION DE LA CONCENTRATION EN CORTISOL PILAIRE SELON LE STADE PHYSIOLOGIQUE CHEZ DES PORCS AYANT ACCES OU NON A L'EXTERIEUR

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de

Nantes le 4 octobre 2024

par

Jeanne, Marie, Patricia BERTRAND

Sous la direction de

Julie Hervé

Président du jury :

- Monsieur Patrick LUSTENBERGER, Professeur émérite à la Faculté de Médecine de Nantes

Membres du jury :

- Madame Julie HERVE, Professeur en physiologie-physiopathologie à Oniris VetAgroBio Nantes

- Madame Catherine BELLOC, Professeur en santé des monogastriques à Oniris VetAgroBio Nantes

Département **BPSA** Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment

Responsable : **Emmanuel JAFFRES** – Adjointe : **Frédérique NGUYEN**

Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr)	Antoine ROSTANG (MC) Meg-Anne MORICEAU (CERC) Martine KAMMERER (Pr émérite) Marc GOGNY (Pr émérite)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Jean-Marie BACH (Pr) Lionel MARTIGNAT (Pr) Julie HERVE (Pr) Grégoire MIGNOT (MC)	
Histologie et anatomie pathologique	Marie-Anne COLLE (Pr) Jérôme ABADIE (MC)	Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC)
Biochimie alimentaire industrielle	Carole PROST (Pr) Joëlle GRUA (MC)	Clément CATANEO (MC) Alix KHALIL (MC) Laurent LE THUAUT (MC)
Microbiotech	Hervé PREVOST (Pr) Géraldine BOUE (MC) Nabila HADDAD (MC) Emmanuel JAFFRES (MC)	Mathilde MOSSER (MC) Boris MISERY (MC) Raouf TAREB (MC) Quentin PRUVOST (CEC)
PACENV = VET1	Eléonore BOUGUYON (PRAG) Nicolas BROSSAUD (PRAG)	Charlotte MOCQUARD (PRAG) Aurore CALVEL (PRAG)

Département **SAESP** Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique

Responsable : **Raphaël GUATTEO** – Adjoint : **Jean-Michel CAPPELIER**

Élevage, nutrition et santé des animaux domestiques	Nathalie BAREILLE (Pr) François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (Pr)	Juan Manuel ARIZA CHACON (MC) Ségolène CALVEZ 5(Pr) Aurélien MADOUASSE (MC) Nora NAVARRO-GONZALES (MC)
Infectiologie	Alain CHAUVIN (Pr) Emmanuelle MOREAU (Pr) Nathalie RUVOEN-CLOUET (Pr) Pauline MAISONNASSE (CERC)	Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC) Léa LOISEL (AERC) Kenny OBERLE (MC) Nadine RAVINET (MC)
Médecine des animaux d'élevage	Catherine BELLOC (Pr) Christophe CHARTIER (Pr émérite) Raphaël GUATTEO (Pr) Anne RELUN (MC)	Sébastien ASSIE (MC) Isabelle BREYTON (MC) Mily LEBLANC MARIDOR (MC) Maud ROUAULT (AERC)
Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel CAPPELIER (Pr) Louis DELAUNAY (CERC) Bruno LE BIZEC (Pr) Marie-France PILET (Pr)	Sofia STRUBBIA (MC)

Département **DSC** Sciences cliniques

Responsable : **Catherine IBISCH** – Adjoint : **Marion FUSELLIER**

Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC) Margarida RIBEIRO DA SILVA NEUNLIST (MC Stagiaire)	
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (MC HDR)	Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Gwénola TOUZOT-JOURDE (MC) Claire DEFOURMSTRAUX (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass)	Sabrina VIEU (AERC) Maria Dolores SANCHEZ (AERC)
Médecine interne, imagerie médicale et législation professionnelle vétérinaire	Anne COUROUCE (Pr) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Françoise ROUX (Pr) Juan HERNANDEZ-RODRIGUEZ (Pr Ass) Nora BOUHSINA (MC)	Nicolas CHOUIN (MC) Amandine DRUT (MC) Marion FUSELLIER-TESSON (Pr) Catherine IBISCH (MC) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECAT (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) Francis FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (Pr) Lamia BRIAND (Pr)

Département **GPA** Génie des procédés alimentaires

Responsable : **Sébastien CURET-PLOQUIN** – Adjointe : **Vanessa JURY**

Lionel BOILLEREAUX (Pr) Sébastien CURET-PLOQUIN (Pr) Marie DE LAMBALLERIE (Pr) Francine FAYOLLE (Pr) Michel HAVET (Pr)	Alain LEBAIL (Pr) Olivier ROUAUD (Pr) Kévin CROUVISIER-URION (MC) Vanessa JURY (Pr) Emilie KORBEL (MC)	Jean-Yves MONTEAU (MC HDR) Eve-Anne NORWOOD (MC) Raphaël PORYLES (MC) Laurence POTTIER (MC) Cyril TOUBLANC (MC)
PAC-ING	Cyril GAILLARD (PCEA)	

Département **MSC** Management, statistiques et communication

Responsable : **Samira ROUSSELIERE** – Adjointe : **Véronique CARIOU**

Mathématiques, statistiques, informatique	El Mostafa QANNARI (Pr émérite) Chantal THORIN (Pr Ag) Evelyne VIGNEAU (Pr) Jean-Michel GALHARRET (MC stagiaire)	Véronique CARIOU (Pr) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC)
Economie, gestion, législation	Jean-Marc FERRANDI (Pr) Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC) Florence BEAUGRAND (MC)	Sibylle DUCHAINE (MC) Sonia MAHJOUB (MC) Samira ROUSSELIERE (MC) Christophe PAPINEAU (Ens. Cont.)
Langues et communication	Marc BRIDOU (PLPA) David GUYLER (Ens. Cont.) Nathalie GOODENOUGH (PCEA) Patricia JOSSE (Ens. Cont.)	Shaun MEEHAN (Ens. Cont.) Linda MORRIS (PCEA) Ian NICHOLSON (ENS. Cont.)

La reproduction d'extraits de cette thèse est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée en incluant les éléments bibliographiques suivants :

- Nom et prénom de l'auteur : Bertrand Jeanne
- Année de soutenance : 2024
- Titre de la thèse : Description de la concentration en cortisol pileire selon le stade physiologique chez des porcs ayant accès ou non à l'extérieur.
- Intitulé du diplôme : Thèse de doctorat vétérinaire
- Université de soutenance : Faculté de Médecine de Nantes.
- Ecole de soutenance : Oniris : Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de L'alimentation Nantes Atlantique
- Nombre de pages : 102 p.

Remerciements

A Monsieur Patrick Lustenberger

Professeur émérite à la faculté de Médecine de Nantes

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,

Hommages respectueux.

A Madame Julie Hervé

Professeur en physiologie-physiopathologie à Oniris

Pour m'avoir proposé ce sujet passionnant et m'avoir encadrée avec confiance,

Sincères remerciements.

A Madame Catherine Belloc

Professeur en santé des monogastriques à Oniris

Pour votre pédagogie durant ces années d'enseignement en santé des monogastriques et pour avoir accepté de faire partie de mon jury,

Sincères remerciements.

Au personnel de l'IECM et en particulier à Blandine, Julie, Solenn, Antoine et Lise, merci pour votre aide précieuse pour les visites en élevages, les extractions et dosages et les analyses statistiques.

Au personnel d'ONIRIS et en particulier aux internes, assistants hospitaliers, résidents, cliniciens et enseignants, merci pour votre implication tout au long de la formation des étudiants vétérinaires.

Table des matières

Table des matières	8
Liste des annexes	11
Liste des tableaux	12
Liste des figures	13
Liste des abréviations	14
Introduction	16
1 PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE.....	17
1.1 L'élevage de porcs en France, état actuel et enjeux	17
1.1.1 Organisation de l'élevage porcin en France	17
1.1.2 Enjeux du modèle d'élevage actuel	18
1.1.3 Enjeux des systèmes d'élevage alternatifs.....	22
1.1.3.1 En matière de bien-être animal	22
1.1.3.2 En matière de biosécurité et de santé animale	23
1.2 Bien-être et stress chez le porc.....	24
1.2.1 Bien-être animal	24
1.2.1.1 Définition du bien-être animal	24
1.2.1.2 Le bien-être animal appliqué au porc.....	25
1.2.1.2.1 Alimentation et absence de faim et de soif.....	25
1.2.1.2.2 Environnement et absence d'inconfort.....	26
1.2.1.2.3 Bon état de santé.....	26
1.2.1.2.4 Comportement approprié	27
1.2.1.3 Réglementation sur le bien-être des porcs.....	28
1.2.2 Concept de stress.....	29
1.2.2.1 Définition du stress.....	29
1.2.2.2 Sources de stress chez le porc	30
1.2.2.3 Mécanismes mis en jeu au cours du stress.....	31
1.2.2.3.1 Réponse de l'axe sympatho-médullo-surrénalien	33
1.2.2.3.2 Réponse de l'axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien	34
1.2.3 Le stress, indicateur de bien-être animal	40
1.3 Les marqueurs pour l'évaluation du stress chez le porc	41
1.3.1 Observation du comportement	41
1.3.2 Utilisation du cortisol dans les matrices biologiques courantes.....	42
1.3.2.1 Cortisol plasmatique	42
1.3.2.2 Cortisol salivaire.....	43
1.3.2.3 Cortisol urinaire	44
1.3.2.4 Cortisol fécal	44

1.3.3	Utilisation du cortisol pileire pour l'évaluation du stress	44
1.3.3.1	Intérêt du cortisol pileire	44
1.3.3.2	Caractéristique des soies et incorporation du cortisol pileire	46
1.3.3.2.1	Caractéristiques des soies des porcs	46
1.3.3.2.2	Cycle pileire.....	47
1.3.3.2.3	Incorporation du cortisol dans les soies	48
1.3.3.3	Élimination du cortisol pileire	49
1.3.3.4	Facteurs de variation de la concentration en cortisol pileire.....	50
1.3.3.4.1	Facteurs dépendant de l'animal	50
1.3.3.4.2	Facteurs dépendant du poil.....	52
1.3.3.4.3	Facteurs dépendant de l'environnement	53
2	PARTIE EXPERIMENTALE	55
2.1	Matériels et méthodes	55
2.1.1	Validation éthique du protocole	55
2.1.2	Recrutement des élevages et présentation des élevages sélectionnés.....	55
	56
2.1.3	Organisation des visites	57
2.1.3.1	Observation des animaux en maternité	57
2.1.3.1.1	Observation des truies.....	58
2.1.3.1.2	Observation des porcelets.....	58
2.1.3.2	Observation des animaux en post-sevrage et en engraissement.....	58
2.1.3.3	Prélèvements	59
2.1.4	Dosage du cortisol pileire	59
2.1.5	Traitement des données	61
2.2	Résultats	61
2.2.1	Échantillons prélevés	61
2.2.2	Conduite d'élevage	62
2.2.2.1	En maternité	62
2.2.2.2	En post-sevrage.....	64
2.2.2.3	En engraissement	66
2.2.3	Paramètres d'ambiance	67
2.2.3.1	En maternité	67
2.2.3.2	En post-sevrage.....	67
2.2.3.3	En engraissement	67
2.2.4	Paramètres de santé et de comportement.....	68
2.2.4.1	En maternité	68
2.2.4.2	En post-sevrage.....	68

2.2.4.1	En engraissement	71
2.2.5	Facteurs de variation du taux de cortisol pileire.....	73
2.2.5.1	Valeurs de CCP	73
2.2.5.2	Effet de la saison	76
2.2.5.3	Effet du type d'élevage.....	77
2.2.5.4	Effet du stade d'élevage	78
2.3	Discussion	80
2.3.1	Biais de l'étude.....	80
2.3.2	Conduites d'élevage et paramètres de santé	81
2.3.3	Effet de la saison	81
	82
2.3.4	Effet du type d'élevage	82
2.3.5	Effet du stade d'élevage	83
	Conclusion générale	85
	Bibliographie.....	86
	Annexes	97

Liste des annexes

Annexe 1 : Arrêté du 16 janvier 2003 établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs

Annexe 2 : Paramètres descriptifs des concentrations en cortisol pileaire (en pg/mg) des vingt élevages visités pour chaque stade et chaque saison

Annexe 3 : Fiches utilisées pour les relevés lors des visites d'élevages

Annexe 4 : Grilles de score des lésions cutanées et de la queue

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques des élevages inclus dans l'étude

Tableau II : Caractéristiques de la conduite d'élevage en maternité dans les différents élevages étudiés

Tableau III : Pratiques génératrices de stress en maternité dans les différents élevages étudiés

Tableau IV : Caractéristiques de la conduite d'élevage en post-sevrage dans les différents élevages étudiés

Tableau V : Caractéristiques de la conduite d'élevage en engraissement dans les différents élevages étudiés

Tableau VI : Paramètres de santé en post-sevrage dans les différents élevages étudiés

Tableau VII : Paramètres de santé en engraissement dans les différents élevages étudiés

Tableau VIII : Paramètres descriptifs des concentrations en cortisol pileire (en pg/mg) selon les stades et les types d'élevages

Tableau IX : Paramètres descriptifs des concentrations en cortisol pileire (en pg/mg) selon les stades et les saisons

Liste des figures

Figure 1 : Évolution du nombre d'exploitations ayant des porcs et du nombre de porcs en France de 1970 à 2020

Figure 2 : Évolution de la consommation de viande par habitant en France de 1990 à 2022

Figure 3 : Médiateurs biologiques des réponses de stress

Figure 4 : Organisation du complexe hypothalamo-hypophysaire

Figure 5 : Cycle circadien du cortisol plasmatique chez l'homme

Figure 6 : Variations saisonnières des concentrations en cortisol plasmatique chez l'homme

Figure 7 : Mécanismes d'incorporation et d'élimination du cortisol dans les poils

Figure 8 : Localisation des vingt élevages inclus dans l'étude

Figure 9 : Principe de l'ELISA compétitif

Figure 10 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) dans les élevages conventionnels tous stades confondus

Figure 11 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) dans les élevages avec courettes tous stades confondus

Figure 12 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) en post-sevrage dans les différents élevages

Figure 13 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) en engraissement dans les différents élevages

Figure 14 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) en post-sevrage en fonction du type d'élevage et de la saison

Figure 15 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) en engraissement en fonction du type d'élevage et de la saison

Figure 16 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) en fonction du stade d'élevage et de la saison

Figure 17 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) en fonction du type et du stade d'élevage

Figure 18 : Zones de neutralité thermique du porc en fonction du poids

Liste des abréviations

ACTH : hormone adrénocorticotrope

AWC : Animal Welfare Committee

BEA : bien-être animal

CCP : concentration en cortisol pileaire

CRH : corticotropin releasing hormone ou corticolibérine

EFSA : European Food Safety Authority

ENG : engraissement

HPA : axe hypothalamo-hypophysaire

SIQO : signes d'identification de la qualité et de l'origine

PS : post-sevrage

Introduction

De nos jours, le bien-être des animaux, en particulier ceux destinés à la production alimentaire est un sujet de préoccupation majeure des citoyens. Dans le contexte actuel, 95% des porcs sont élevés dans des systèmes dits « conventionnels », dans des bâtiments nus, à forte densité, sur des sols en béton ou sur caillebotis intégral. Les citoyens questionnent alors les systèmes d'élevage conventionnels, en particulier en raison de leur impact environnemental et de leur respect du bien-être animal. Pour ces derniers, l'accès extérieur apparaît comme une solution en permettant notamment un meilleur bien-être. Pourtant, l'accès à l'extérieur présente également des inconvénients, le contrôle de l'environnement et notamment de l'alimentation, de l'abreuvement et des températures étant plus difficile. Des données issues du terrain sont donc essentielles pour déterminer les avantages et les inconvénients de ce type d'accès extérieur sur le bien-être et la santé des animaux. L'évaluation objective du niveau de bien-être animal et l'identification d'outils permettant sa mesure sont alors nécessaires. Dans ce contexte, de par son accumulation sur plusieurs mois dans la tige pileire, le cortisol pileire apparaît comme un marqueur non invasif, permettant l'évaluation du stress chronique chez les porcs et renseignerait indirectement sur le bien-être des individus.

L'objectif de ce travail de thèse était de décrire les concentrations en cortisol pileire mesurées chez des porcs élevés dans des élevages commerciaux, conventionnels ou proposant aux animaux un accès extérieur de type courettes, à deux stades physiologiques (post-sevrage et engraissement) et au cours de trois saisons différentes (été, mi-saison et hiver). Ceci dans l'objectif d'évaluer la possibilité d'utiliser à terme la concentration en cortisol comme un descripteur du bien-être des animaux.

Dans une première partie, nous ferons le point sur les systèmes d'élevages de porcs charcutiers existant actuellement en France et sur les défis qu'ils doivent relever. Puis, nous aborderons les enjeux des systèmes d'élevages alternatifs, dont font partis les élevages avec courettes. Nous définirons enfin les concepts de stress et de bien-être des animaux et verrons quels sont les marqueurs permettant l'évaluation du stress, en mettant l'accent sur le cortisol pileire.

Dans une deuxième partie, nous présenterons l'étude de terrain réalisée dans 20 élevages du Grand Ouest, avec ou sans accès à l'extérieur avant de détailler et discuter les résultats obtenus.

1 PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 L'élevage de porcs en France, état actuel et enjeux

1.1.1 Organisation de l'élevage porcin en France

La viande de porcs est la première viande consommée dans l'Union Européenne, du fait notamment de son prix relativement abordable et de la diversité des produits transformés. En France, la consommation apparente est de 32,1 kg équivalent carcasse par habitant (Montariol 2023). Cette consommation de viande annuelle moyenne par habitant a augmenté continuellement depuis l'après-guerre jusqu'en 1998 et depuis cette date, elle est sur une tendance de lente décroissance avec une baisse des animaux abattus et du nombre d'exportations. Cette diminution de la consommation de viande de porc s'explique en partie par la diminution de la consommation de charcuterie. De manière générale, une transition alimentaire semble s'être engagée dans la population. La quasi-totalité de la population reste consommatrice de produits animaux mais l'idée d'une diminution progressive de la consommation, et de manger « moins de viande » mais de façon plus réfléchie émerge, comme en témoigne le slogan de la campagne de la filière Élevage et Viande « Aimez la viande, mangez-en mieux ».

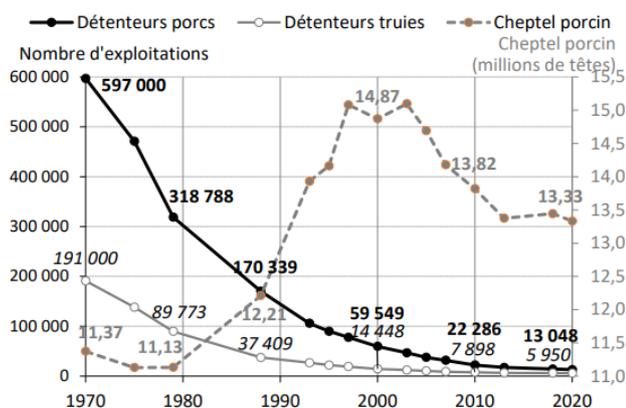


Figure 1 : Évolution du nombre d'exploitations ayant des porcs et du nombre de porcs en France de 1970 à 2020 (IFIP)

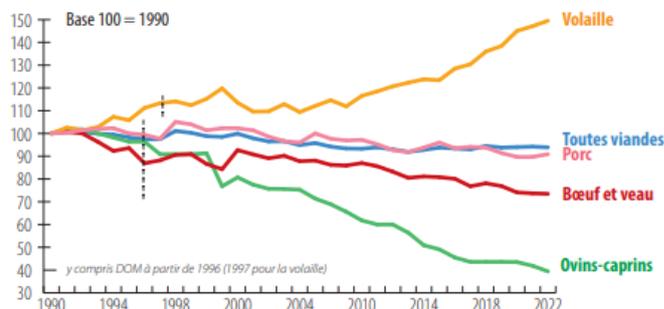


Figure 2 : Évolution de la consommation de viande par habitant en France de 1990 à 2022 (IFIP)

Le principal modèle d'élevage des porcs charcutiers en France est un élevage intensif, hérité de l'après-guerre, avec une forte spécialisation et une forte proportion d'élevages dits « hors-sol » où l'alimentation des porcs contient une proportion importante de produits importés ou non produits sur l'exploitation, l'objectif est une maximisation de la production tout en réduisant les coûts. Dans cette idée, les animaux ont été sélectionnés génétiquement sur des critères de quantité (productivité numérique des truies par exemple) et de performance de production (caractères de croissance et de carcasse) pour les porcs charcutiers, au détriment de critères fonctionnels (facilité de mise-bas, sensibilité aux maladies).

L'activité de production est concentrée avec un nombre d'opérateurs limité, regroupés géographiquement dans le Grand-Ouest. La production est organisée et contrôlée par 32 organisations de producteurs. Le cheptel comprend environ 22 000 exploitations et l'essentiel des porcs est détenu dans des élevages de plus de cents porcs ou de vingt truies.

La production porcine a une organisation pyramidale. On retrouve plusieurs types de spécialisations avec, au sommet, les sélectionneurs, puis les multiplicateurs, et enfin, l'étage production avec les naisseurs - engraisseurs (le type le plus fréquent, 44% des élevages en 2020), naisseurs - post-sevreur, naisseurs avec vente au sevrage, engraisseurs, post-sevreur - engraisseurs ou post-sevreur (Seegers et Malher 2016). Trois grands types d'élevages porcins coexistent en France : les spécialisés porcs avec ou sans truies (44% des exploitations et 67% des porcs) ; les polycultures-élevages de porcs (20% des exploitations et 11% des porcs) ; les mixtes herbivores/porcs (29% des exploitations et 21% des porcs). Tous les types d'élevages de porcs ont perdu des exploitations entre 2010 et 2020, mais la baisse est la plus forte parmi les mixtes avec une perte de 43,2% des exploitations et de 27% de porcs (Roguet 2023).

Le type de production majeur est le porc charcutier. Il s'agit de mâles castrés ou de femelles abattus vers l'âge de 26 semaines à 115 kg de poids vif. La production de porcs charcutiers comprend deux étapes : le naissage puis l'élevage des porcelets jusqu'à leur abattage, organisé en une phase de post-sevrage puis une phase d'engraissement avec un sevrage à quatre voire trois semaines. L'élevage porcine s'organise selon une conduite en bande qui consiste à diviser le cheptel des truies en lots de taille égale, dont la conduite est synchronisée. Ce type de conduite présente des avantages à la fois organisationnels, économiques et hygiéniques. La modalité la plus fréquente est la conduite à trois semaines à sept bandes, l'intervalle entre les bandes est de trois semaines et le sevrage est à quatre semaines (Fourichon 2011). L'élevage dans des bâtiments nus, à forte densité, sur des sols en béton ou sur caillebotis intégral, sans litière ou paille, est le plus répandu et représente 95% des élevages de porcs en France. Les caillebotis sont généralement en béton en engraissement mais peuvent être en plastique ou en métal pour les animaux plus jeunes et moins lourds. Ce type de logement permet de garder un espace de vie propre pour les animaux en permettant l'écoulement des déjections à travers les fentes, facilitant ainsi l'hygiène et le nettoyage. Cependant, ces milieux non enrichis les empêchent d'exprimer une partie de leurs comportements naturels, ce qui peut provoquer ennui et frustration. De plus, les densités élevées ne permettent pas aux porcs de fuir ou de s'éloigner de leurs congénères.

1.1.2 Enjeux du modèle d'élevage actuel

Cette partie a été rédigée à partir des ressources suivantes :

- Avis du Conseil économique, social et environnemental de 2019 portant sur les enjeux relatifs aux conditions d'élevage, de transport et d'abattage en matière de bien-être animal*
- Avis du Conseil économique, social et environnemental de 2024 portant sur les défis de l'élevage français pour assurer sa pérennité*

Le modèle d'élevage actuel fait l'objet de critiques croissantes dans la société sur différents aspects : le bien-être animal, les effets néfastes sur la santé de la consommation de viande mais aussi les impacts environnementaux et climatiques. Ainsi, de nombreux enjeux, qu'ils soient sanitaires, environnementaux, climatiques et de respect du bien-être animal sont liés à ce système intensif et industriel.

D'un point de vue sanitaire, les bâtiments permettent de diminuer le risque de pénétration d'agents pathogènes, mais, la concentration des animaux dans les bâtiments d'élevage augmente les risques de transmission de maladies infectieuses et leur propagation rapide. Ainsi, on note une recrudescence, en France et dans le Monde, d'épizooties dues, propagées ou amplifiées, par les modes d'élevage intensif et les transports qui en résultent. On peut citer comme exemple la peste porcine qui a fait des ravages en Chine mais a aussi été détectée dans des pays voisins de la France comme l'Allemagne et l'Italie. De plus, les impacts sur la santé humaine d'une consommation excessive de viande et d'une alimentation insuffisamment diversifiée et équilibrée ont été démontrés (Latino-Martel *et al.* 2016). Ainsi, la consommation de viande transformée est associée à un risque accru de cancer colorectal pour l'homme. En 2015, en France, plus de 1400 cancers étaient attribuables à une consommation de viande transformée (viande conservée par fumage, maturation, salaison ou ajout de conservateurs chimiques), comprenant notamment le jambon, le bacon, le salami et certaines saucisses comme celles de Francfort (Centre international de Recherche sur le Cancer 2018).

L'élevage intensif est également remis en question pour son impact environnemental. La concentration des exploitations, en particulier hors-sol, entraîne une concentration des bâtiments d'élevage et donc d'un grand nombre d'animaux, ce qui génère des quantités importantes de déjections que les champs ne peuvent absorber, et qui sont à l'origine de pollutions et de déséquilibres environnementaux. Ainsi, les nitrates et l'ammonium sont responsables de pollution des eaux de surface et des eaux souterraines et les émissions d'ammoniac sont responsables d'une acidification des eaux. Les rejets d'azote et de phosphore conduisent à l'eutrophisation, caractérisée par une croissance excessive des algues dans les écosystèmes aquatiques des eaux douces et littorales, responsable du problème récurrent des algues vertes sur les côtes, notamment en Bretagne (Conseil économique, social et environnemental 2024). Des pollutions des sols et de l'air, notamment par l'émission de gaz à effet de serre dont l'ammoniac sont également un problème d'ampleur croissante (38% des émissions d'ammoniac du secteur agricole proviennent de la gestion des déjections animales dont 17% cheptel porcin). En 2020, le secteur de l'élevage représentait 80% des émissions de GES du secteur agricole dont 1,8% pour la filière porcine (Réseau Action Climat 2022). L'élevage intensif porcin cause également des perturbations locales, liées notamment à l'odeur, au bruit, à la propagation de métaux lourds et de pesticides. Le soja importé pour l'alimentation des porcs a également des conséquences environnementales, notamment car il est source de déforestation (Greepeace 2019).

La question du bien-être animal dans ces élevages est également au cœur des débats. En effet, les conditions d'élevage et d'exploitation des animaux destinés à la consommation humaine, de la naissance à la mort, sont très largement questionnées, en particulier pour les élevages hors-

sols, qui constituent la majeure partie des élevages de porcs. Lors de l'Eurobaromètre réalisé par la Commission Européenne en 2023, 98% des français ont déclaré que le bien-être animal était important et 91% des européens considèrent qu'il est important de protéger le bien-être des animaux d'élevage pour leur garantir des conditions de vie décentes. Plus de deux tiers des français (71%) demandent également à être mieux informés sur les conditions des animaux d'élevage.

Ainsi, la position des citoyens est partagée quant au modèle d'élevage actuel. Selon les résultats d'un sondage IFOP de 2016, Delanoue et ses collaborateurs ont établi une typologie des différents profils de citoyens quant à leurs attitudes et attentes vis-à-vis du système d'élevage actuel. Il ressort ainsi cinq profils principaux : 51% des citoyens sont « progressistes », ils sont préoccupés par le sujet de l'élevage et souhaitent une amélioration progressive des conditions de vie des animaux, ainsi qu'une prise en compte des impacts environnementaux de l'élevage, sans remettre en cause les modèles actuels. Près d'un quart (24%) sont dits « alternatifs » ils sont favorables à la fin de l'élevage intensif et au développement de systèmes alternatifs : agriculture extensive, sous SIQO et des circuits courts, et ont diminué leur consommation de viande. Dix pour cent sont qualifiés de « compétiteurs », ils sont satisfaits des modes d'élevage actuels, en particulier intensifs, et des conditions de vie des animaux et souhaitent avant tout un élevage compétitif. Enfin, 2% sont « abolitionnistes », ils s'opposent à toute forme d'exploitation animale par les humains et sont donc en faveur d'une abolition de l'élevage et 3% sont « sans avis » et n'expriment donc pas d'attente particulière vis-à-vis de l'élevage (Delanoue *et al.* 2018).

Cependant, dans le contexte actuel, la question du prix d'achat reste centrale et le prix reste souvent le premier critère de choix concernant l'achat de viande. Les préoccupations, certes grandissantes, relatives à l'origine et aux modes de production de la viande consommée, arrivent encore en second plan dans les critères d'achat. Ainsi, seulement 65% des français déclarent être prêts à payer plus pour des produits provenant d'exploitations respectueuses du bien-être animal. De ce fait, la part de la viande de porc consommée en France est majoritairement issue de l'importation, ce qui permet au consommateur d'avoir des produits à bas prix, notamment pour les produits transformés et la restauration hors domicile. Outre des différences sur les aspects sociaux (mauvaises conditions de travail et rémunération particulièrement basses des salariés), sanitaires et environnementaux (utilisation de produits phytosanitaires interdits en France et dans l'UE), les normes de bien-être animal des pays non européens sont nettement moins strictes que les normes européennes. Il existe donc un risque non négligeable que le consommateur retrouve dans son assiette de la viande dont les conditions de production ne sont pas conformes aux normes européennes et donc non conformes à ses attentes prétendues. A l'exception des produits issus de l'agriculture biologique ou de certains signes officiels de qualité (en particulier l'Appellation d'Origine Protégée (AOP); l'Indication Géographique Protégée (IGP); la Spécialité Traditionnelle Garantie (STG) et le Label), il est difficile pour le consommateur de connaître les conditions d'élevage des animaux à l'origine de la viande consommée. Ces signes apportent des informations aux consommateurs à propos de l'origine géographique, du mode de production voire de transformation de la viande consommée. Pour les produits certifiés « Agriculture Biologique », des critères de bien-être animal sont également pris en compte.

L'élevage a donc une image controversée dans la société, en partie liée à une méconnaissance des réalités de l'élevage par les citoyens. En parallèle, un changement sociétal profond est en cours concernant la perception des animaux. Il a débuté dès le XVIIIème siècle et s'est ancré avec la reconnaissance de l'animal comme un être sensible en 2015. L'animal, autrefois considéré comme

un outil de travail dans une société majoritairement rurale, est aujourd'hui un compagnon de vie. De plus, l'urbanisation a progressivement distendu les liens qui étaient étroits entre les consommateurs et leur alimentation d'origine animale. La viande est devenue une matière inerte, pré-découpée et conditionnée et il est difficile de concevoir qu'elle provient d'animaux encore vivants peu de temps auparavant. La mort est cachée et l'animal n'est vu qu'en barquettes. De ce fait, les citoyens n'ont souvent qu'une vision partielle de la diversité des modes d'élevage et de leur fonctionnement. Il y a un décalage certain entre la réalité du monde de l'élevage et les représentations erronées ou idéalisées que les consommateurs se font du milieu agricole, diffusées sur les emballages ou *via* la publicité, qui mettent en avant un élevage en plein air, où animaux et éleveurs semblent épanouis. A l'inverse, les seules images internes visibles par le consommateur sont souvent issues de caméras cachées et filmées par des associations abolitionnistes pour soutenir leur cause. En diffusant ces images sélectionnées qui ne sont pas représentatives de la réalité complète des situations, des faits isolés, et néanmoins inacceptables, apparaissent comme représentatifs des pratiques courantes. Il y a donc un réel problème de représentation de l'élevage actuel, ce qui perd le consommateur. Pour 87% des éleveurs, les consommateurs sont mal informés sur le bien-être animal dans les élevages (Chambre d'agriculture Bretagne 2022). La question de l'information des consommateurs quant à leur alimentation est donc fondamentale. Pour pallier à cette problématique, un groupe de travail a été mis en place à la commission européenne pour réfléchir notamment à la mise en place d'un étiquetage « bien-être animal » sur les produits afin d'éclairer le consommateur.

Ainsi, le bien-être des animaux est devenu un des enjeux majeurs auxquels est confronté chacun des maillons des filières d'élevage. Les éleveurs en particulier sont les premiers acteurs du bien-être de leurs animaux puisqu'ils partagent leurs conditions de travail avec ces derniers. La montée en puissance de la problématique concernant le bien-être animal peut donc donner à certains éleveurs le sentiment que le bien-être des animaux prime sur leur propre bien-être (et l'amélioration de leurs conditions de travail) ou que leur expertise dans le soin aux animaux et la nature même de leur travail sont remises en cause. Dans ce contexte, depuis quelques années, l'approche « One Welfare » (« un seul bien-être ») émerge. Elle associe le bien-être des animaux et celui des êtres humains, en considérant qu'ils sont interdépendants et que le bien-être des animaux est intimement lié à celui de ceux qui s'en occupent. Cette approche cherche à développer une vision holistique du bien-être, impliquant que le bien-être de l'un (humain/animal) ne se fait pas au détriment de l'autre, mais au contraire qu'il se construit ensemble.

De nombreux enjeux et défis résultent donc du modèle d'élevage actuel, liés notamment à la demande des consommateurs. Comment maintenir un système d'élevage en France tout en le transformant progressivement en un système agroécologique résilient ? La question du choix des modes d'élevage les mieux adaptés et les plus durables est un des enjeux principaux pour répondre aux besoins alimentaires de la population, tout en réduisant ses impacts climatiques et environnementaux. Ces changements sont envisageables seulement si un accompagnement des filières est mis en place, pour leur permettre de réussir les transitions que la société et les populations demandent et que les défis impliquent. Dans cette volonté de changement et de réponse aux demandes des consommateurs, d'autres systèmes de production dits alternatifs se développent, tels que pour la filière porcine, des élevages en plein-air, des élevages sur litière et des élevages avec accès à des courettes extérieures. Ces systèmes, qui restent minoritaires, mettent en avant un bien-être animal amélioré en proposant souvent davantage d'espace aux porcs, un

environnement plus complexe et enrichi. Cependant, ces systèmes présentent également des inconvénients, le contrôle de l'environnement et notamment de l'alimentation, de l'abreuvement et des températures y étant plus difficile.

1.1.3 Enjeux des systèmes d'élevage alternatifs

1.1.3.1 En matière de bien-être animal

Pour le consommateur, bien-être animal rime avec plein air, liberté de mouvement et expression de comportements naturels. Ainsi, les systèmes d'élevages alternatifs apparaissent spontanément comme les garants d'un meilleur niveau de bien-être aux yeux des consommateurs, en permettant notamment aux animaux une meilleure expression de leurs comportements naturels. Cependant, la notion de bien-être est complexe et ne concerne pas seulement le comportement. Le bien-être animal est défini par l'ANSES comme « l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal » et repose classiquement sur cinq principes fondamentaux, que nous détaillerons ultérieurement.

Les besoins alimentaires et hydriques des porcs élevés en extérieur sont généralement plus importants, notamment en lien avec une dépense énergétique accrue, surtout l'hiver en raison des températures basses. Les besoins peuvent parfois ne pas être complètement couverts et ainsi générer un stress pour les animaux. Des indicateurs objectifs permettant d'évaluer l'absence de faim sont répertoriés dans le protocole Welfare Quality tels que la note d'état corporel ou le taux d'animaux maigres. Ainsi, Temple et ses collaborateurs ont mis en évidence que les porcs en croissance élevés sur paille ou en plein air présentent une prévalence plus élevée de mauvais état corporel que les porcs élevés en élevages conventionnels (Temple *et al.* 2012). De plus, la qualité de l'eau est souvent dégradée en élevage extérieur, en raison d'une possible contamination des abreuvoirs par les fientes des oiseaux sauvages, d'une température de l'eau plus élevée en été et d'un risque de gel en hiver, ce qui peut réduire la consommation hydrique des animaux. Toutefois, ces problèmes ne sont généralement pas rencontrés en élevage avec courettes puisque la distribution alimentaire et hydrique se fait dans les bâtiments (Delsart *et al.* 2023).

La présence de paille assure un substrat confortable pour les porcs qui réduit les blessures et apporte également un confort thermique permettant de réduire la température d'ambiance (Arey 1993). L'accès à l'extérieur peut être source de stress thermique pour les porcs qui ont une mauvaise thermorégulation et notamment pour les porcs avec accès à des courettes extérieures qui peuvent avoir des difficultés à réguler leur environnement thermique en alternant milieu intérieur et milieu extérieur. Le contrôle des conditions d'ambiance est ainsi moins aisé qu'en bâtiment. De plus, l'accès à l'extérieur soumet les animaux aux contraintes météorologiques et aux risques de coups de soleil, d'insolation ou de coups de froid. La présence d'une couverture sur les courettes peut permettre une certaine protection contre la pluie et le rayonnement solaire. Enfin, la présence de portes ou lanières en plastique au niveau de l'accès extérieur permet de maintenir une certaine isolation du bâtiment et d'y limiter les variations de températures (Brajon *et al.* 2023).

Les systèmes alternatifs permettent généralement aux porcs d'exprimer un éthogramme plus large qu'en bâtiment intégral. Notamment les systèmes plein-air ou sur litières permettent l'expression des comportements de fouillage, broutage, mâchonnage et exploration avec leur groin, ce qui permet la réduction des comportements sociaux nuisibles tels que les morsures d'oreilles ou de queues (Pandolfi *et al.* 2017). Le mélange précoce des porcelets naturellement permis par la présence de barrières ajourées entre les cases des truies, permet des interactions sociales entre les porcelets de portées différentes et diminue ainsi les interactions négatives au moment du sevrage (Verdon, Morrison, Rault 2019). Cependant, la mortalité des porcelets dans les jours suivants la mise-bas est nettement supérieure dans les systèmes sans blocage de la truie, majoritairement par écrasement dans les quatre premiers jours de vie des porcelets.

1.1.3.2 En matière de biosécurité et de santé animale

La biosécurité est l'ensemble des mesures de gestion et des mesures matérielles destinées à réduire le risque d'introduction, de développement et de propagations des maladies. Elle représente un des challenges majeurs des systèmes d'élevage alternatifs (Union Européenne 2016). Le respect de la biosécurité en élevage est essentiel pour assurer la santé animale, qui est étroitement liée à la santé et au bien-être des humains. On s'intéresse donc ici non seulement aux maladies animales, mais aussi aux interactions qui existent entre le bien-être des animaux, la santé des hommes, la protection de l'environnement et la sécurité sanitaire des aliments (EFSA 2024).

Les élevages avec accès à l'extérieur rendent plus difficile l'établissement de mesures de biosécurité strictes. En effet, la probabilité de contact avec la faune sauvage est beaucoup plus élevée et les possibilités d'exposition à des agents pathogènes circulants dans la faune sauvage tels que le virus de la peste porcine africaine ou de la maladie d'Aujeszky transmis par les sangliers ou lors de contacts avec des oiseaux ou rats, sont nettement plus importantes. La mise en place de clôtures est nécessaire et réglementairement obligatoire afin de réduire les possibilités de contact avec la faune sauvage, que ce soit dans les élevages plein-air ou les élevages avec courtes extérieures (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation 2019). Cette mise en place reste contraignante car ces clôtures sont coûteuses et difficiles à mettre en place et à entretenir.

Enfin, la présence de litière rend compliquée l'élimination correcte des urines et des matières fécales ainsi que les étapes de nettoyage et désinfection des lieux (Delsart *et al.* 2023).

Par ailleurs, les porcs avec accès à l'extérieur peuvent être plus exposés aux agents infectieux. Ils sont en effet plus à risque de parasitisme interne, notamment de coccidioses ou helminthoses. Le risque d'infestation par *Ascaris suum*, est plus élevée chez les porcs élevés sur litière (Sanchez-Vazquez *et al.* 2010). Le contrôle des parasitoses est difficile dans les élevages alternatifs en raison de la nature du substrat, puisqu'il nécessite de rompre le cycle de vie du parasite. Les ectoparasites (gale (*Sarcoptes scabiei* var. *suis*) et poux (*Haematopinus suis*)) semblent également plus présents chez les porcs ayant accès à des pâturages plein-air ou logés sur paille (Damriyasa *et al.* 2004).

Au contraire, les animaux élevés en systèmes alternatifs semblent moins sensibles aux maladies respiratoires, ce qui peut s'expliquer par une meilleure qualité de l'air (Leeb *et al.* 2019).

De plus, du fait des densités d'animaux diminuées par rapport aux élevages conventionnels, les pressions d'infection sont limitées.

Ainsi, dans cette volonté de changement et de réponse aux demandes des consommateurs, les systèmes de production dits alternatifs tels que les élevages proposant un accès à l'extérieur peuvent constituer un élément de réponse seulement si l'amélioration du bien-être ne se fait pas au détriment de la santé des porcs.

1.2 Bien-être et stress chez le porc

1.2.1 *Bien-être animal*

1.2.1.1 Définition du bien-être animal

Le bien-être animal a été défini dès 1965 par le rapport Brambell qui met en lumière cinq principes fondamentaux (Brambell, 1965). Ces cinq libertés, reprises en 1992 par l'AWC (Animal Welfare Committee, anciennement FAWC), sont établies pour assurer le bien-être des animaux (FAWC, 2009) :

- L'absence de faim et de soif par la possibilité d'accéder librement à de l'eau et à de la nourriture, pour le maintien d'un bon niveau de santé ;
- L'absence d'inconfort grâce à un environnement approprié, avec un espace suffisant, incluant un abri et une aire de repos confortable et sans courant d'air, un éclairage suffisant et non permanent et un confort thermique ;
- L'absence de douleur, de blessure et de maladie par des mesures de prévention ou un diagnostic et traitement rapide ;
- La liberté d'expression d'un comportement normal grâce à un espace suffisant, des installations adaptées et la compagnie d'autres congénères ;
- L'absence de peur et de détresse en veillant à garantir des conditions de vie et un traitement des animaux évitant toute souffrance mentale.

Le Welfare Quality Project (WQP) a identifié 12 critères d'évaluation du bien-être animal qui complètent l'approche de ces cinq libertés.

En 2015, l'animal est reconnu comme un être sensible et l'ANSES fait évoluer la définition de bien-être animal en 2018 en y ajoutant une notion d'état mental positif, en plus de l'état physique.

Le bien-être animal peut se définir comme « l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal » (ANSES, 2018). En prenant en compte le concept du « One Welfare » évoqué précédemment, cette définition a été complétée par le CESE (Conseil économique social et environnemental) qui ajoute la mention suivante « Il ne saurait y avoir de bien-être des animaux de production sans des conditions de vie et de travail satisfaisantes pour les êtres humains en charge de leur élevage, transport et abattage. Elles constituent un prérequis fondamental en s'intégrant dans le concept du « One welfare » qui comprend aussi la préservation de l'environnement ».

1.2.1.2 Le bien-être animal appliqué au porc

Le groupe scientifique de l'EFSA (European Food Safety Authority) sur la santé et le bien-être des animaux a soumis en 2022 un avis scientifique sur le bien-être des porcs à la ferme chez les différentes catégories (cochettes et truies tarées, truies de mise bas et allaitantes, porcelets allaitants, porcelets sevrés, porcelets d'élevage et verrats) dans les systèmes d'élevage les plus utilisés en Europe (EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) *et al.* 2022).

Il en ressort des principes fondamentaux pour le bien-être chez les porcs.

1.2.1.2.1 Alimentation et absence de faim et de soif

Les porcs sont des animaux omnivores, l'alimentation apportée doit être adaptée au stade de croissance, au potentiel génétique et à l'état de santé des animaux, en faisant notamment attention à la composition en acides aminés et en minéraux des rations. Ce sont des animaux actifs qui passent près de 75% de leur temps à la recherche de nourriture en fouillant, broutant, mâchonnant et explorant avec leur groin. Ils ont une activité de fouille marquée, même lorsqu'ils sont rassasiés. En élevage, les modalités de distribution de l'aliment font que les porcs passent moins de temps à la recherche de nourriture. Les principales sources de stress sont liées aux changements alimentaires et à l'accès à une quantité insuffisante de nourriture, notamment en cas de longueur d'auge insuffisante ou de quantité de nourriture distribuée trop faible.

Concernant l'eau, la quantité apportée doit permettre de couvrir les besoins des animaux et l'eau doit être disponible en permanence, de bonne qualité et à une température adaptée afin d'assurer une consommation hydrique optimale (Delsart *et al.* 2023).

1.2.1.2.2 Environnement et absence d'inconfort

Différents paramètres, variant selon les catégories d'âge et de poids, sont à considérer pour le logement des porcs tels que la densité d'animaux afin d'assurer la liberté de mouvements, le revêtement du sol, le confort thermique, le niveau sonore, l'éclairage, la ventilation et la qualité de l'air. Tous ces paramètres doivent répondre à des normes qui sont réglementées.

Les porcs présentent des possibilités de régulation thermique limitées, dépendantes de bains de boue à des températures élevées ou de comportements d'agrégation ou de recherche de zones protégées à des températures faibles. Ils ont en effet des capacités de transpiration et de halètements limitées ce qui les rend sensibles au stress thermique en cas de fortes températures. Ils réagissent à une température ambiante élevée en se positionnant sur un sol qui favorise les pertes de chaleur par conduction, préférentiellement le béton. Ainsi, à 18°C ils se reposent sur de la paille alors qu'à 27°C, ils préfèrent les sols composés de caillebotis béton ou de béton nu (Ducreux *et al.* 2002).

Les porcs sont des animaux diurnes, l'essentiel de leur consommation alimentaire s'effectue le jour. Ils ont une activité principalement crépusculaire et ont donc besoin de lumière durant la journée.

Le contrôle de l'ensemble de ces paramètres doit permettre l'absence d'inconfort. Lorsqu'ils disposent d'un espace suffisant, les porcs gardent la zone qu'ils occupent propre et sèche, en ajoutant et enlevant régulièrement des matériaux de litière. Ils séparent également les zones de couchage, de fouissage et de déjection lorsque cela est possible. La zone de couchage est préférentiellement la zone la plus calme et thermiquement confortable. Au contraire, ils excrètent dans les zones plus froides, humides ou dans les courants d'air (EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) *et al.* 2022).

1.2.1.2.3 Bon état de santé

Les principales maladies rencontrées par les porcs en élevage sont les troubles respiratoires, locomoteurs, cutanés et gastro-intestinaux. Ce sont donc les atteintes à surveiller afin de garantir un bon état de santé et, par conséquent, le bien-être des porcs.

Les troubles respiratoires sont l'un des problèmes de santé les plus importants en production porcine. Ils peuvent se manifester principalement par de la toux et des éternuements et être source d'inconfort, de douleur voire de détresse due à une altération de la fonction respiratoire ou à des lésions des poumons ou des voies respiratoires.

La boiterie est également reconnue comme un problème de bien-être important en élevages porcins. C'est un trouble douloureux et multifactoriel qui se manifeste par une démarche anormale et peut être secondaire à une blessure physique ou à une infection des membres ou du dos. Elle a un impact négatif sur le bien-être car elle altère la capacité du porc à rivaliser pour les ressources et augmente le temps de couchage, ce qui peut favoriser l'apparition d'escarres. De plus, les boiteries sont génératrices de douleur et d'inconfort et sont associées au stress chez les porcs en

engraissement ; des valeurs plus élevées de biomarqueurs du stress (cortisol et alpha-amylase salivaires notamment) ont été décrites chez des porcs présentant des boiteries (Contreras-Aguilar *et al.* 2019).

Quel que soit le stade physiologique, les porcs sont sujets aux lésions cutanées. Celles-ci peuvent résulter d'interactions sociales négatives telles que de l'agressivité ou les morsures de queue, de caractéristiques environnementales dommageables ou de pratiques de mutilation (par exemple, la caudectomie). Parmi les atteintes cutanées, on compte les lésions faciales des porcelets, souvent associées à la compétition pour l'accès aux trayons. Ces combats font partis de l'établissement naturel de l'ordre des trayons mais les bagarres peuvent être plus apparentes dans les grandes portées ou lors d'une interruption de l'approvisionnement en lait à la suite d'une mammite ou d'une agalactie. Les lésions de la queue, allant de légères marques de morsure jusqu'à une perte complète de la queue, sont associées à plusieurs facteurs de risque, notamment un environnement stérile ou inadapté et des troubles sociaux. En effet, les niveaux de morsure de la queue sont inférieurs dans les enclos enrichis (par des objets ou substrats supplémentaires) par rapport aux enclos sans objets ou substrats à manipuler (Taylor *et al.* 2010). Les lésions des oreilles peuvent être causées par une mastication accrue des oreilles par d'autres porcs en cas d'ennui ou de comportement exploratoire insuffisant. Les lésions sur le corps et les oreilles résultent principalement de l'agressivité qui se produit au moment du mélange d'animaux. Toutes ces atteintes cutanées, selon leur agressivité, peuvent être source d'inconfort et de douleur chez les porcs et peuvent parfois constituer des points d'entrée pour les agents pathogènes favorisant alors les infections secondaires.

Enfin, les troubles gastro-intestinaux sont fréquents, notamment dans les deux semaines qui suivent le sevrage. Ils sont principalement causées par des agents infectieux ou parasitaires qui tirent profit d'altérations du fonctionnement du tractus gastro-intestinal en partie liées au stress induit par le sevrage (EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) *et al.* 2022).

Ainsi, toute atteinte de la santé des porcs peut être source d'inconfort voire de douleur, ce qui impacte le bien-être des animaux et peut générer du stress chez ces derniers. Santé, stress et bien-être animal sont donc étroitement liés.

1.2.1.2.4 Comportement approprié

Le comportement approprié d'un animal comprend l'expression de comportements sociaux et exploratoires, une bonne relation homme-animal et un état émotionnel positif (Temple *et al.* 2011).

Les porcs sont des animaux grégaires. Ils constituent des groupes stables, dans lesquels une structure sociale de type hiérarchie de dominance–subordination se met en place. L'établissement de cette hiérarchie permet de limiter les échanges agressifs physiques intenses entre les animaux. La manifestation de contacts physiques avec les congénères, sous la forme d'actes de mordillement, fait partie des modalités d'expression des liens sociaux chez les porcs (Mormède, Foury, Meunier-Salaün 2006). Les comportements sociaux positifs tels que le reniflage et le léchage peuvent être liés au bien-être, favorisent la cohésion sociale et l'affiliation entre congénères et réduisent les effets

négatifs des événements stressants par l'effet de « tampon social » (Kikusui, Winslow, Mori 2006)). Néanmoins, selon leurs occurrences, ils peuvent aussi être les prémices de comportements sociaux négatifs.

L'environnement doit permettre l'expression des comportements naturels. La présence de matériaux d'enrichissement manipulables tels que des chaînes, des morceaux de bois ou des cordes naturelles ou des substrats organiques meubles (paille, foin, ensilage) régulièrement renouvelés permet aux porcs de mâchouiller, mordre, fouiller et renifler. Ceci leur permet d'exprimer leur comportement exploratoire et donc de passer plus de temps en interaction avec leur environnement. Un meilleur enrichissement de l'environnement (zone contenant de la tourbe et de la paille dans un râtelier vs sols en caillebotis et espace minimal recommandé) réduit le temps passé inactif et le temps consacré à des comportements sociaux et agressifs nuisibles comme les morsures d'oreilles ou de queues, responsables de lésions et de problèmes de santé (Beattie *et al.* 2000 ; Petersen, Simonsen, Lawson 1995). L'apport de paille réduit l'apparition de mauvais indicateurs de bien-être tels qu'une incidence élevée de comportements agonistiques et de déplacement (Marcet-Rius *et al.* 2019).

Afin d'évaluer le bien-être animal en élevage porcin, le protocole *Welfare Quality*[®] regroupe ces principaux indicateurs pour fournir un score de bien-être global d'une unité d'élevage en ce qui concerne l'alimentation, le logement, la santé et les comportements appropriés. L'outil BEEP (bien-être en élevage de porcs) est un autre outil permettant l'évaluation du bien-être animal des porcs en élevage. Il comporte 15 mesures à relever principalement sur les animaux, en post-sevrage et en engraissement et présente l'avantage d'être simple à utiliser en élevage grâce à sa durée d'évaluation relativement courte (1h à 1h30 contre 4 à 6h pour le protocole *Welfare Quality*). Il comprend 14 indicateurs qui illustrent les quatre dimensions du bien-être : qualité du logement, bonne santé, alimentation et comportement (COURBOULAY *et al.* 2019).

1.2.1.3 Réglementation sur le bien-être des porcs

Afin que les conditions d'élevage répondent aux besoins des porcs et garantissent leur bien-être, des normes minimales à respecter sont énoncées dans la directive européenne 2008/120/CE du Conseil du 18 décembre 2008 (Conseil de l'Union Européenne 2008). Ces normes concernent le logement, l'alimentation et les conditions environnementales des porcs : l'espace vital par animal, la qualité de la litière, l'accès permanent à de l'eau fraîche et à des lieux pour fouir et jouer, ou encore les niveaux de luminosité et de bruit (cf Annexe 1). En mars 2018, la Commission Européenne a désigné un premier centre de référence de l'UE pour le bien-être animal axé sur les porcs (UE Reference Centre for Animal Welfare Pigs), qui vise à améliorer l'application de la législation de l'UE sur les porcs (EURCAW-Pigs 2024).

Concernant l'alimentation, un accès permanent à de l'eau fraîche en quantité suffisante est obligatoire pour tous les porcs âgés de plus de deux semaines. L'accès à de l'eau en plus de la soupe est également essentiel.

Des normes à propos des densités selon le type de logement, le stade physiologique et le poids des animaux ont été établies. Un éclairage minimum est imposé : les porcs doivent être exposés à une lumière d'une intensité au moins égale à 40 lux pendant un minimum de huit heures par jour. Cette obligation de lumière, naturelle ou artificielle, est valable pour tous les animaux.

Des normes sont également établies concernant l'accès à des matériaux manipulables. Tous les porcs doivent avoir un accès permanent à une quantité suffisante de matériaux permettant des activités de recherche et de manipulation suffisantes, tels que la paille, le bois, la sciure de bois, le compost de champignons ou la tourbe. Ces matériaux doivent répondre à différents critères, ils doivent pouvoir être mâchés, déformés et manipulés, comestibles s'ils sont destructibles et sans risque sanitaire ou de blessure pour les animaux.

Enfin, depuis le 1^{er} janvier 2022, la désignation d'un référent bien-être animal, qu'il soit responsable de l'élevage lui-même ou une personne désignée au sein du personnel, est obligatoire dans chaque élevage. Ce référent doit suivre un parcours de formation sur le bien-être animal et est chargé d'y sensibiliser les personnes travaillant en contact avec les animaux.

1.2.2 Concept de stress

1.2.2.1 Définition du stress

Le concept de stress est introduit pour la première fois par Hans Selye suite à des expériences menées sur des rats soumis à divers stimuli (exposition au froid, lésion chirurgicale, exercice musculaire excessif, exposition à des doses sublétales de divers médicaments). Il y définit le stress comme la « réponse non spécifique de l'organisme à toute demande exagérée qui lui est faite ». Il s'agit de la réaction physiologique de l'organisme à un facteur de stress ou agent stressant, soit à toute menace pour l'homéostasie de l'individu et dont le but est de faire face à cette menace. Selye décrit une réponse commune et typique, indépendante du stimulus qu'il appelle « syndrome général d'adaptation » et qui comprend trois étapes (Selye 1936) :

- La phase d'alarme durant laquelle l'organisme perçoit le facteur de stress et y répond de manière stéréotypée (*fight, flight, freeze*). Cette phase est caractérisée par une mobilisation rapide des ressources pour faire face à la menace perçue qui déclenche la libération d'hormones de stress (cortisol et adrénaline) ;
- La phase de résistance : en cas de persistance du facteur de stress, l'organisme tente de s'adapter et de résister aux effets du stress. Les fonctions corporelles sont ajustées pour maintenir l'homéostasie, mais cela peut entraîner une utilisation prolongée des ressources et un coût pour l'organisme ;
- Enfin la phase d'épuisement si le stress persiste trop longtemps et que les ressources sont épuisées. Des conséquences plus graves peuvent se manifester alors telles que l'épuisement des glandes surrénales et l'immunosuppression, voire la mort.

1.2.2.2 Sources de stress chez le porc

Divers stimuli peuvent ainsi être qualifiés de stressant. Il peut s'agir de stimuli externes à l'organisme tels que des stimuli physiques (température, humidité, agression mécanique) ou sociaux (surdensité, isolement, confinement, allotement), ou de stimuli internes, qu'ils soient biochimiques (hypoglycémie, hypovolémie, hypoxie), inflammatoires ou infectieux, ou psychologiques (peur ou douleur) (Bach, Hervé, Mignot 2020; Eckert *et al.* 1999).

Chez le porc, différentes causes de stress ont été identifiées : le stress social, environnemental, métabolique, immunologique ou celui dû aux pratiques humaines et à la manipulation des animaux (Martínez-Miró *et al.* 2016). Il existe une variabilité individuelle dans la perception de la menace et dans la réponse au stress, un même stimulus stressant pouvant provoquer une réponse différente chez l'animal selon son âge, sa génétique, son système de production ou son exposition antérieure au même stimulus.

Le stress social intervient lors du regroupement des porcs avec des congénères inconnus par exemple pendant la gestation, après le sevrage, pendant l'engraissement ou avant le transport à l'abattoir (Pitts *et al.* 2000). Ces situations mènent à l'établissement d'une nouvelle hiérarchie qui peut être la cause de bagarres et d'un stress aigu, immédiatement après le regroupement, voire chronique pour les animaux soumis ou isolés ou lorsque ces regroupements sont répétés.

Des conditions environnementales non optimales peuvent également être source de stress chez les animaux, notamment en ce qui concerne la température, l'humidité, la lumière, la concentration en poussières et gaz, les niveaux d'ammoniac et l'intensité sonore (O'Connor *et al.* 2010).

Un des critères majeurs pour l'environnement des porcs est l'environnement thermique, qui dépend à la fois de la température ambiante mais également de la température effective, dépendant elle-même de la température ambiante, de la ventilation et du revêtement du sol. Les porcs sont en effet beaucoup plus sensibles à la chaleur que les autres espèces en raison d'une thermorégulation peu efficace. Ils possèdent très peu de glandes sudoripares fonctionnelles et une épaisse couche de tissu adipeux sous-cutané, ce qui empêche la perte de chaleur sensible. La transpiration est donc fortement limitée. Ils dépendent ainsi davantage de la voie respiratoire pour la dissipation de la chaleur mais possèdent une faible capacité à haleter en raison de poumons plus petits, d'un degré moindre d'ouverture de la bouche et de l'impossibilité de sortir la langue de la bouche. Par conséquent, la perte de chaleur s'effectue principalement par thermolyse insensible comportementale par évaporation d'eau grâce aux bains de boue. Ainsi, s'ils n'ont pas d'étang ou de zone de baignade, ils ont de grandes limitations pour se rafraîchir (Mayorga *et al.* 2018).

La richesse de l'environnement, que ce soit au niveau du sol, de la litière et du matériel d'enrichissement peut également être source de stress si les porcs ne peuvent pas exprimer leurs comportements naturels.

Le stress métabolique est lié à la restriction ou la privation d'eau ou de nourriture. Il concerne principalement les truies gestantes qui sont soumises à une alimentation restreinte entraînant une faim chronique ou lors des processus de mélange d'animaux où les plus soumis ont moins accès aux sources de nourriture. Les principales sources de stress concernant l'alimentation sont liées aux

changements alimentaires, à la restriction alimentaire ou à un accès limité à la nourriture (Scipioni, Martelli, Antonella Volpelli 2009).

La modification de l'état de santé, liée à la présence d'un agent infectieux lors d'une maladie est responsable d'un stress immunologique chez le porc.

Enfin, la manipulation des animaux par l'homme peut être source de stress. Les porcs peuvent développer des réactions de peur et d'anxiété à l'approche de l'homme, qui peuvent notamment se manifester par des comportements de retrait à son contact (Velarde *et al.* 2009). En effet, en production porcine, les hommes ont peu d'interaction avec les porcs en dehors des situations perçues comme négatives par les porcs telles que les vaccinations, les tatouages, les poses de boucles et les castrations (Merlot, Mounier, Prunier 2011). La socialisation est donc importante afin de réduire le stress et l'anxiété liés par exemple à la manipulation des animaux. *A contrario*, ils associent une expérience gratifiante avec le manipulateur, telle que l'alimentation, ce qui les rend moins craintifs du manipulateur et des autres humains (Hemsworth, Verge, Coleman 1996).

Deux périodes sont particulièrement génératrices de stress pour les porcs : le sevrage et le transport.

Le sevrage est un évènement très stressant pour le porcelet. Chez les sangliers ou chez les porcs semi sauvages, c'est un processus progressif qui se déroule entre la première semaine de vie et 13 à 17 semaines, avec une substitution progressive du lait maternel par d'autres aliments, principalement végétaux. En élevage, il s'agit d'un évènement brutal qui a lieu entre 21 et 28 jours en élevage conventionnel et 42 à 49 jours en élevage biologique. Il consiste en une séparation brutale de la truie, avec un changement d'environnement physique avec le transport vers un nouvel environnement, un changement de régime alimentaire avec une nouvelle source de nourriture, un changement social dû au retrait des contacts avec la mère et au mélange avec des porcelets issus d'autres portées, une exposition majorée aux agents pathogènes et de nombreuses manipulations lors des vaccinations (Colson *et al.* 2012).

Le transport que ce soit vers une autre exploitation ou vers l'abattoir est également source de stress que ce soit le départ de la pièce habituelle, le chargement et le déchargement du camion, le jeûne, les variations de température et d'humidité, le bruit, les vibrations du véhicule et les densités de stockage.

Ainsi les sources de stress sont nombreuses dans tous les types d'élevages.

1.2.2.3 Mécanismes mis en jeu au cours du stress

La réponse de stress se décompose en deux phases : la phase analytique qui consiste en la perception et l'analyse de la menace et la phase de réponse caractérisée par l'intégration et la riposte.

La phase analytique met en jeu le thalamus et notamment le cortex somesthésique et pré-frontal qui détecte le stimulus stressant et participe à la prise de décision en traitant l'information,

et le système limbique, impliqué dans les émotions et leur gestion, qui permet une mémorisation du stress subi.

La phase de riposte implique l'amygdale, en interaction avec le locus coeruleus et l'hippocampe par l'intermédiaire de l'hypothalamus et de la formation réticulée. La stimulation de l'amygdale entraîne la libération de neurotransmetteurs tels que la dopamine, l'acétylcholine, la sérotonine et la noradrénaline, et de peptides tels que la corticolibérine (ou CRH) dont les cellules productrices sont connectées avec le locus coeruleus. Il en résulte une augmentation de la vigilance et du traitement des informations reçues, un choix de la stratégie optimale pour faire face au facteur de stress et une réponse en trois temps (Moisan, Le Moal 2012). Comme vu précédemment, cette réponse se décompose en une phase d'urgence ou d'alarme mettant en jeu le système nerveux orthosympathique, une phase de résistance régie par l'axe hypothalamo-hypophysaire surrénalien et une dernière phase d'épuisement, en cas de stress chronique, qui devient pathologique (Bach, Hervé, Mignot 2020).

La réponse neuroendocrinienne de stress met donc en jeu différents systèmes que nous allons détailler :

- L'axe sympatho-médullo-surrénalien (SAM) avec la libération de catécholamines et une augmentation de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle et de la température
- L'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HPA) avec la libération de cortisol
- L'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique (HPG) avec une diminution de son activité (diminution des concentrations sanguines en œstradiol, progestérone et testostérone)
- Le système immunitaire : leucocytose à court terme (en cas de stress aigu) et lymphocytose à long terme (en cas de stress chronique)

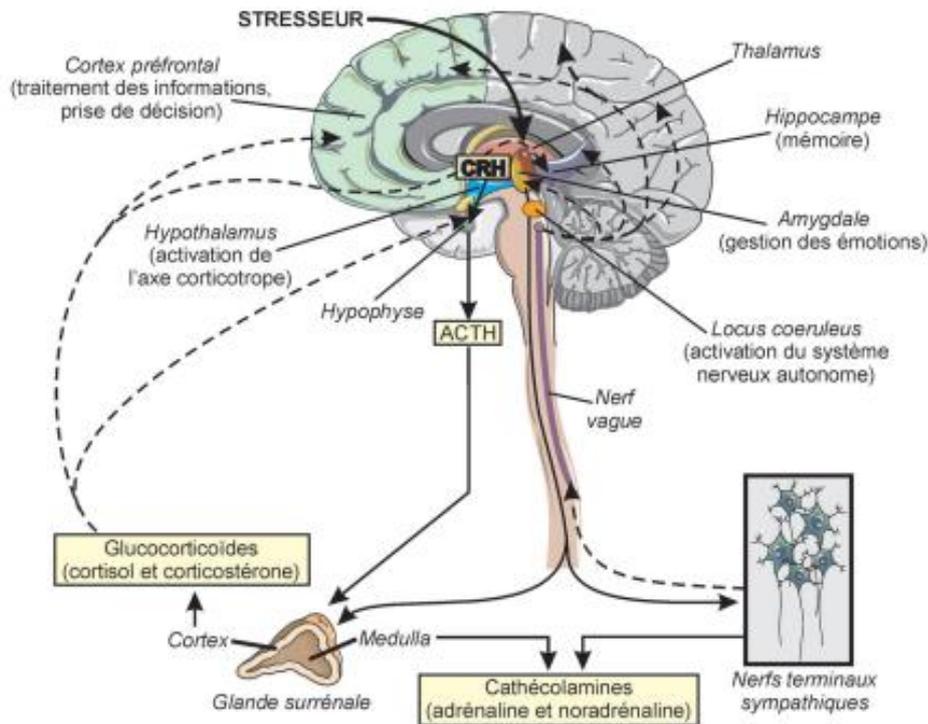


Figure 3 : Médiateurs biologiques des réponses de stress (Algava *et al.*, 2011)

1.2.2.3.1 Réponse de l'axe sympatho-médullo-surrénalien

Dans un premier temps, la phase d'alarme implique le système nerveux autonome, en particulier l'axe sympatho-médullo-surrénalien (SAM) *via* la libération de catécholamines (adrénaline ou épinéphrine et noradrénaline ou norépinéphrine). Ces hormones agissent pour préparer l'individu « au combat ou à la fuite » (Cannon 1914).

Le système nerveux autonome comprend deux entités aux effets généralement opposés : le système nerveux parasympathique, qui assure les fonctions végétatives de l'organisme par le biais de neurones, et le système nerveux orthosympathique, activateur de l'organisme, qui stimule le catabolisme, par le biais de neurones adrénergiques. En cas de stimulus menaçant, c'est donc le système nerveux orthosympathique qui entre en jeu.

Les neurones pré-ganglionnaires orthosympathiques sont de type cholinergique et libèrent de l'acétylcholine au niveau de la synapse entre les neurones pré et post ganglionnaires. L'acétylcholine se fixe au niveau des récepteurs nicotiques situés à la membrane des cellules chromaffines de la médullo-surrénale. En réponse, celles-ci libèrent de l'adrénaline dans la circulation sanguine générale. L'augmentation du débit sanguin surrénalien induit par les catécholamines auto-entretient leur sécrétion. Les catécholamines exercent ainsi une rétroaction positive sur leur propre libération (Eckert *et al.* 1999).

La majorité des neurones post-ganglionnaires sont adrénergiques et sécrètent de la noradrénaline.

Une fois libérées dans la circulation systémique, les catécholamines agissent par fixation sur des récepteurs membranaires couplés à une protéine G. Ces récepteurs sont de deux classes : α (avec deux types : α_1 et α_2) et β (avec trois types : β_1 , β_2 et β_3). La noradrénaline stimule principalement les récepteurs alpha et, dans une moindre mesure, les récepteurs beta tandis que l'adrénaline stimule les deux types de récepteurs (Guyton, Hall 2016).

La fixation de l'hormone sur son récepteur est à l'origine d'un changement de conformation de la protéine G qui a deux effets : elle peut alors modifier la perméabilité membranaire de la cellule cible ou entraîner l'activation ou l'inhibition de l'enzyme AMPc (adénosine monophosphate cyclique) fixée à l'autre extrémité du récepteur et qui fait protrusion à l'intérieur de la cellule. L'AMPc joue le rôle de second messenger et déclenche une voie de signalisation intracellulaire qui active rapidement les réponses cellulaires.

Différents changements physiologiques sont alors observés : augmentation de la pression artérielle, augmentation du flux sanguin à destination des muscles, du cœur et des poumons et diminution du flux sanguin vers les organes non nécessaires à la réponse au stress, augmentation du taux de métabolisme cellulaire, augmentation de la glycémie et de la glycolyse dans le foie et les muscles, renforcement musculaire, augmentation de l'activité mentale et du taux de coagulation sanguine (Guyton, Hall 2016). On note également une augmentation du nombre de leucocytes circulants (principalement lymphocytes T NK et CD8 cytotoxiques) avec une amélioration transitoire des fonctions immunitaires innée et adaptative (Bacou *et al.* 2017).

Suite à sa libération, 50 à 80% de la noradrénaline sécrétée est rapidement recapturée par les fibres adrénergiques. Une partie des catécholamines est détruite par des enzymes tissulaires (notamment la monoamine oxydase) ou catabolisée par la catécholamine-O-méthyltransférase et les catabolites sont excrétés.

1.2.2.3.2 Réponse de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien

En parallèle, la phase de résistance se met en place et fait entrer en jeu l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HPA) dont la principale hormone biologiquement active sécrétée est le cortisol (ou hydrocortisone).

Organisation de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien

L'axe hypothalamo-hypophysaire surrénalien ou axe corticotrope est organisé autour de trois structures principales : l'hypothalamus, l'hypophyse antérieure et le cortex surrénalien (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019).

L'hypothalamus est une région du cerveau constituée de quatre groupes de noyaux dont le noyau paraventriculaire, centre intégrateur majeur impliqué dans le métabolisme, la croissance, l'immunité, la reproduction et le stress (Hervé 2024).

L'hypophyse, située dans la selle turcique de l'os sphénoïde comprend deux structures : la neuro-hypophyse (ou post-hypophyse) et l'anté-hypophyse. La neuro-hypophyse est une zone de contact neuro-vasculaire où certains neurones hypothalamiques déversent directement leurs peptides hormonaux (ADH et ocytocine) dans la circulation générale. L'anté-hypophyse est un tissu glandulaire qui se divise en trois parties : la pars distalis, la pars tuberalis et la pars intermedia. Elle comporte entre autres des cellules synthétisant la corticotropine (ou ACTH), l'hormone thyroïdienne (ou TSH), l'hormone folliculo-stimulante (ou FSH), l'hormone lutéinisante (ou LH), l'hormone de croissance (somatotropine ou GH) et la prolactine (Bach, Hervé, Mignot 2019).

Les glandes surrénales sont une structure paire située au niveau du pôle supérieur des deux reins. La surrénale est composée de deux régions : une partie centrale, la médulla et une partie externe, le cortex. La médulla est en relation fonctionnelle avec le système nerveux orthosympathique et sécrète des catécholamines en réponse à la stimulation orthosympathique, comme vu précédemment. Le cortex sécrète des hormones nommées corticostéroïdes (comprenant entre autres les minéralocorticoïdes et les glucocorticoïdes), ainsi que des androgènes. Sa structure s'organise en trois couches :

- la zone glomérulaire : la plus externe, qui représente 15% du cortex, et assure la sécrétion d'aldostérone ;
- la zone fasciculée : la zone médiane et la plus large, qui représente 75% du cortex et produit des glucocorticoïdes (cortisol et corticostérone) et de faibles quantités d'androgènes et œstrogènes ;
- la zone réticulée : la zone interne, qui représente 10% du cortex et synthétise les hormones sexuelles (déhydroépiandrostérone, androsténone et faibles quantités d'œstrogènes) et de faibles quantités de glucocorticoïdes (Guyton, Hall 2016).

Hormones de l'axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien

Le noyau paraventriculaire reçoit une variété de signaux provenant d'autres parties de l'hypothalamus (liés au métabolisme et au cycle circadien), du tronc cérébral (signaux nerveux périphériques), de l'organe sub-fornical (qui détecte la composition chimique du sang) et du système limbique (impliqué dans l'état émotionnel). Cette variété de signaux convergeant vers le noyau paraventriculaire explique la grande sensibilité de l'axe corticotrope à de multiples influences, qu'elles soient internes ou externes.

En réponse à un stimulus, les neurones des noyaux paraventriculaires de l'hypothalamus synthétisent des peptides nommés « *releasing* » et « *inhibiting* » hormones, qui commandent la sécrétion de stimulines hypophysaires. La libérine qui nous intéresse dans l'étude du système HPA est la CRH, un peptide de 41 acides-aminés libéré dans les capillaires du système porte hypothalamo-hypophysaire et qui se fixe dans l'adénohypophyse. Une fois fixée, la CRH stimule la libération d'un peptide de 39 acides-aminés, l'ACTH. Ce peptide est synthétisé par les cellules corticotropes de

l'hypophyse antérieure à partir d'un précurseur POMC (proopiomélanocortine). La vasopressine (ou ADH pour anti diuretic hormone) inhibe la libération d'ACTH (Bach, Hervé, Mignot 2020).

L'ACTH agit par fixation sur des récepteurs membranaires MC2R (melanocortin 2 receptor) couplés à l'adénylcyclase des cellules de la corticosurrénale, et formation d'AMPC qui entraîne l'activation de kinases dont la protéine kinase A. Celle-ci est responsable de la conversion initiale du cholestérol en prégnénolone dans la réaction de synthèse du cortisol. Dans le cortex surrénalien, l'ACTH stimule ainsi la production et la sécrétion des glucocorticoïdes, le cortisol étant le principal glucocorticoïde chez la plupart des mammifères, et en particulier chez les porcs. L'ACTH possède également un rôle trophique sur les zones fasciculée et réticulée. La sécrétion d'ACTH suit un rythme circadien avec une sécrétion pulsatile, maximale au réveil et minimale au moment du coucher (Guyton, Hall 2016).

Le cortisol n'est synthétisé que suite à la stimulation par l'ACTH, il y a donc un délai entre l'augmentation du taux d'ACTH plasmatique et l'augmentation du taux de glucocorticoïdes.

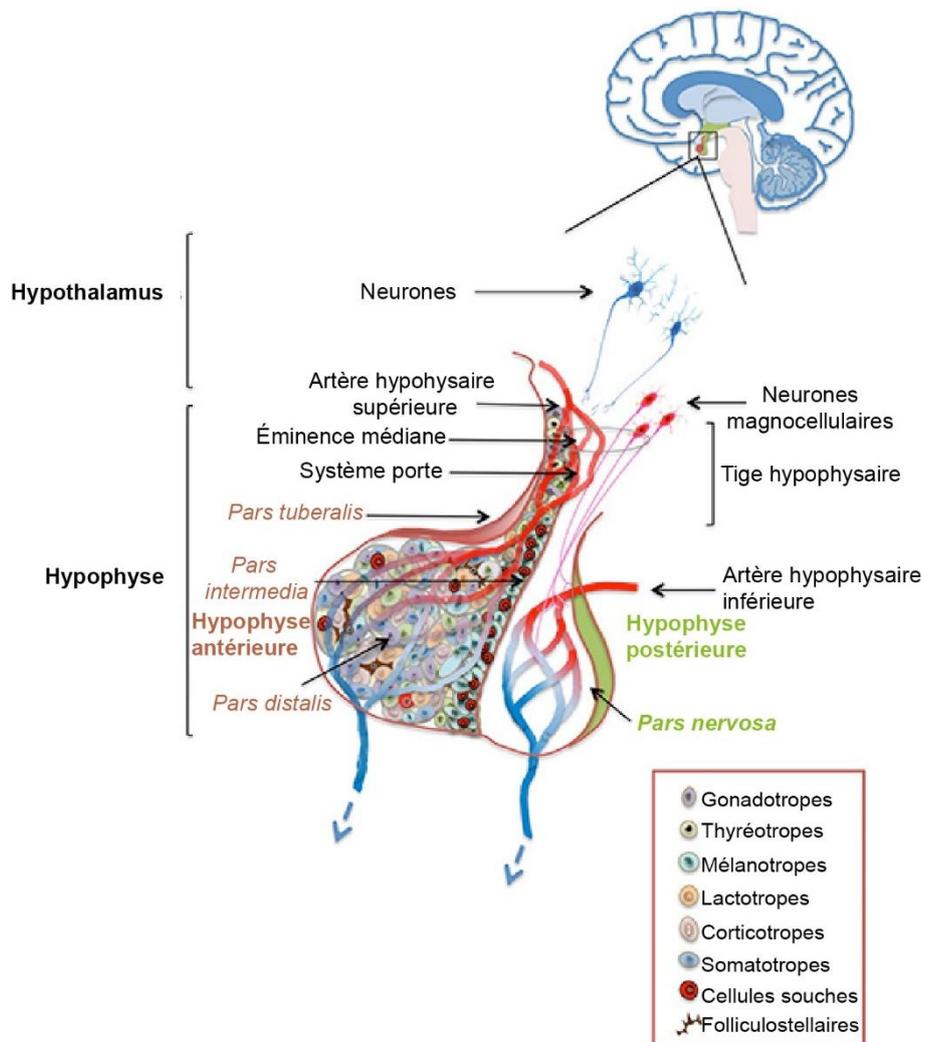


Figure 4 : Organisation du complexe hypothalamo-hypophysaire (Taragnat *et al.*, 2023)

Transport du cortisol

Le cortisol est une hormone lipophile. Ainsi, la majeure partie du cortisol circulant est liée à des protéines de transport de type alpha-globulines, principalement l'albumine (pour 80 à 90 %) et la transcortine ou CBG (cortico steroid binding globulin, pour 5 à 10%) ce qui lui confère une longue demi-vie plasmatique (de l'ordre de 60 à 90 minutes chez l'homme) (Guyton, Hall 2016). Seule la fraction libre, non fixée à des protéines de transport, constitue la fraction active du cortisol circulant. La quantité de cortisol actif dépend donc directement des concentrations plasmatiques en protéines de transport dont la production est hépatique. Divers facteurs peuvent ainsi modifier la concentration de ces protéines. Un traitement exogène aux glucocorticoïdes ou une exposition prolongée au stress entraînent une diminution des CBG, au contraire, l'estradiol stimule leur synthèse (Dhabhar 2010).

Tout comme la sécrétion d'ACTH, la sécrétion de cortisol est pulsatile avec une périodicité d'environ 90 minutes. On note un cycle diurne chez le porc, avec un pic juste avant la période d'activité, c'est-à-dire le matin, et un creux le soir vers minuit. Les concentrations basales de cortisol dans le sang sont généralement plus élevées le matin que l'après-midi et le soir. Il existe également un cycle circadien avec un pic vers la fin de la période sombre (Lee, Kim, Choi 2015). Ce rythme de sécrétion peut être modifié. Ainsi, chez les très jeunes porcs, les rythmes circadiens du cortisol peuvent être faibles ou absents. Le rythme circadien du cortisol se développe progressivement chez les porcs en croissance et atteint un profil adulte et stable au moment de la puberté, soit vers l'âge de 20 semaines (Ruis *et al.* 1997).

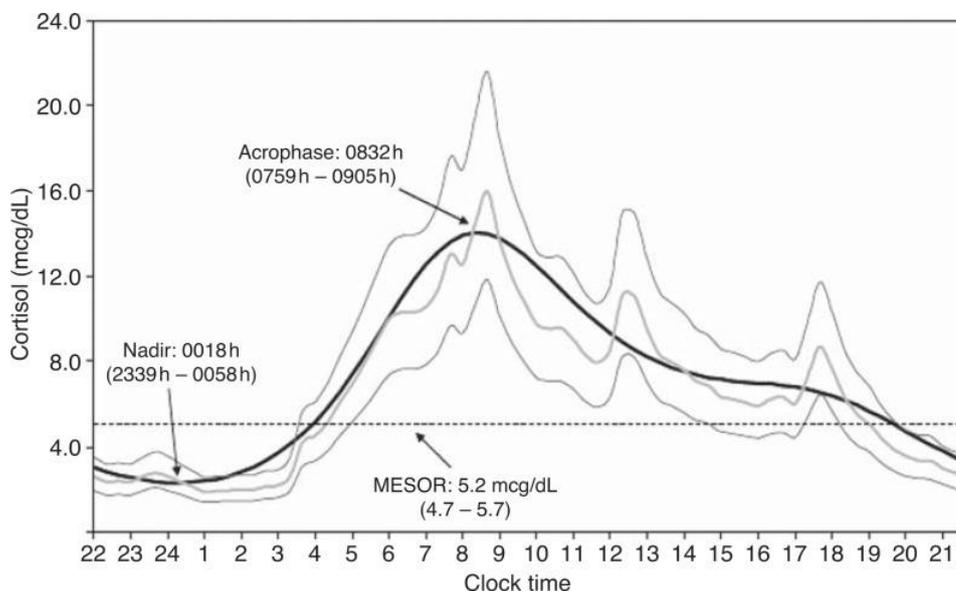


Figure 5 : Cycle circadien du cortisol plasmatique chez l'homme (Debono *et al.*, 2009)

On note aussi des facteurs de variations individuelles de l'activité corticosurrénalienne de base et de la réactivité de l'axe HPA et donc de la sécrétion de cortisol. Les caractéristiques individuelles, telles que les traits de personnalité ou des facteurs prénataux, font que la réponse de

stress peut varier entre individus pour une exposition à un même facteur de stress. La variabilité de la concentration en cortisol pileur au sein d'une bande, entre élevages et entre bandes d'un même élevage, chez des porcs en fin d'engraissement, mise en évidence par Levallois et ses collaborateurs, suggère que le stress vécu sur le long terme par les porcs d'un même groupe est différent et peut être dû à des réponses de stress différentes des porcs face à des facteurs de stress identiques (Levallois *et al.* 2024). De plus, l'activation de l'axe HPA dépendrait aussi de la façon dont l'animal gère une situation génératrice de stress, comme le démontre Mason dans son étude où il soumet des singes à des épreuves de jeûne. Les singes qui ne recevaient pas de nourriture présentaient une augmentation des métabolites du cortisol dans leurs urines. Cette réponse a disparu lorsqu'ils ont reçu des aliments non nutritifs mais avec la même apparence et la même saveur que leur nourriture habituelle. Ce n'est donc pas le jeûne en soi qui a conditionné une réponse de stress, mais plutôt la façon dont le singe l'a perçu (Mason 1971). Enfin, l'héritage génétique, les facteurs maternels et épigénétiques et les facteurs abiotiques comme l'alimentation et divers facteurs environnementaux tels que la température et l'humidité peuvent modifier ces sécrétions (Marple *et al.* 1972).

Dégradation et élimination du cortisol

Le site majeur de la dégradation des corticoïdes est le foie, où ils sont essentiellement réduits sous forme de dérivés hydroxylés, majoritairement par glucurono-conjugaison et à un moindre degré par sulfo-conjugaison, avant d'être principalement éliminés par voie urinaire, majoritairement sous forme de 17-hydroxycorticostéroïde. Environ 2% du cortisol est éliminé directement sans transformation, et forme ce que l'on appelle le cortisol libre urinaire (Szymanowicz 2011).

Le cortisol peut être aussi métabolisé en son dérivé inactif, la cortisone, par la 11 β -Hydroxystéroïde déshydrogénase de type 2 (11 β -HSD2) dans les reins, les glandes salivaires et le colon, soient les tissus impliqués dans le métabolisme hydro-électrolytique (Mormède *et al.* 2007). L'activité de ces enzymes est régulée par les glucocorticoïdes, les hormones thyroïdiennes, les hormones de croissance, les cytokines et les stéroïdes. D'autres enzymes ayant une activité réductase et déshydrogénase permettent la formation d'autres métabolites urinaires (Arioli *et al.* 2022).

Actions du cortisol

Le cortisol est un lipide soluble, ainsi la fraction libre peut traverser les membranes biologiques par diffusion passive, y compris la barrière hémato-encéphalique et les membranes cellulaires. Une fois la membrane biologique traversée, le cortisol se fixe sur des récepteurs cytoplasmiques intracellulaires. Ces récepteurs sont de deux types : MR (récepteur aux minéralocorticoïdes) ou récepteur de type I, liant l'aldostérone et les glucocorticoïdes, avec une plus grande affinité pour les minéralocorticoïdes et GR (récepteur aux glucocorticoïdes) ou récepteur de

type II fixant seulement les glucocorticoïdes. Le complexe hormone/ligand peut alors pénétrer dans le noyau et agir comme facteur de transcription. Il se lie à de courtes séquences spécifiques d'ADN nommées « élément de réponse aux glucocorticoïdes » ou GRE et agit comme promoteur ou inhibiteur de la transcription. Ainsi le cortisol stimule ou inhibe la transcription de nombreux gènes ce qui modifie la synthèse de leurs ARNm et donc des protéines correspondantes, avec des effets qui sont donc décalés dans le temps. Il faut compter 45 à 60 minutes pour permettre la synthèse des protéines et les modifications résultantes peuvent durer plusieurs heures à plusieurs jours.

Le cortisol agissant sur des récepteurs ubiquitaires, il a une action sur tous les tissus et participe à la régulation du métabolisme et de l'homéostasie et à l'adaptation de l'organisme. Ainsi parmi les rôles biologiques du cortisol on peut citer (Szymanowicz 2011; Sapolsky, Romero, Munck 2000; Collège des Enseignants de Nutrition 2021) :

- rôle cardiovasculaire : il augmente la sensibilité des fibres musculaires lisses vasculaires aux agents hypertenseurs, stimule la synthèse des catécholamines et inhibe leur dégradation par l'enzyme catéchol-O-méthyltransférase (COMT), il diminue l'efficacité des agents vasodilatateurs sur l'endothélium ce qui résulte en une augmentation de la pression artérielle et du débit cardiaque ;
- rôle sur le métabolisme glucidique : il stimule la néoglucogenèse par le foie, diminue la glycolyse, augmente la glycémie et la sécrétion d'insuline, diminue l'utilisation périphérique du glucose (par les muscles et le tissu adipeux), stimule la synthèse de glycogène hépatique ;
- rôle sur le métabolisme des protéines : il augmente le catabolisme protéique musculaire et diminue la synthèse protéique ;
- rôle sur le métabolisme des lipides : il exerce un effet hyperlipémiant par lipolyse du tissu adipeux et mobilisation des acides gras, il favorise le stockage des lipides et la lipogenèse hépatique ;
- rôle neurobiologique : il entraîne une suppression de l'appétit ainsi qu'une mémorisation de l'évènement stressant ;
- rôle minéralocorticoïde en cas d'hypercortisolisme : il a une action diurétique par interaction avec le récepteur de l'aldostérone conduisant à une hypertension ;
- rôle anti-inflammatoire et immunosuppresseur : il est à l'origine d'une diminution du nombre de cellules immunitaires et d'une dérégulation de la réponse inflammatoire via la diminution du nombre de lymphocytes et de monocytes circulants, il favorise l'apoptose des lymphocytes T et B, diminue leurs sécrétions d'interleukines et de cytokines et inhibe la synthèse des prostaglandines et leucotriènes (Dhabhar 2010) ;
- rôle lors de la gestation : il contribue à la maturation du fœtus et à l'induction de la mise-bas ;
- rôle inhibiteur de la fonction de reproduction : il inhibe la synthèse de GnRH et des gonadotropines hypophysaires (LH et FSH), la sécrétion de progestérone par l'ovaire et de testostérone par les testicules (Martínez-Miró *et al.* 2016) ;
- rôle sur le métabolisme du calcium : il diminue l'absorption intestinale de calcium, ralentit la croissance des cartilages et la formation de l'os chez le jeune et est responsable d'ostéoporose chez l'adulte ;

- rôle au niveau cutané : il entraîne un retard de la cicatrisation des plaies, il stimule la synthèse des enzymes de dégradation de la matrice extracellulaire et inhibe l'expression des gènes codants le collagène ce qui diminue les propriétés mécaniques de la peau.

Régulation de l'axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien

Le cortisol exerce un rétrocontrôle négatif direct puissant sur les cellules corticotropes de l'hypophyse, les noyaux paraventriculaires de l'hypothalamus et le système nerveux central, ce qui explique le retour à un niveau basal de l'activité de l'axe HPA suite à une stimulation. L'ACTH exerce également un rétrocontrôle négatif sur la sécrétion de CRH par le noyau paraventriculaire et la CRH exerce un rétrocontrôle négatif sur sa propre sécrétion. Cependant, les stimuli stressants sont les plus puissants et peuvent passer outre le rétrocontrôle négatif du cortisol, entraînant des sécrétions prolongées en cas de stress chronique par exemple (Guyton, Hall 2016).

1.2.3 *Le stress, indicateur de bien-être animal*

Finalement, stress et bien-être animal sont intrinsèquement liés. D'après les cinq libertés, le bien-être d'un animal dépend directement de son adaptation à son environnement. Il ne peut être obtenu que si l'ensemble des besoins physiques, environnementaux, nutritionnels, comportementaux et sociaux de l'animal sont satisfaits et est donc lié aux efforts que l'animal doit fournir pour s'adapter à son environnement : lorsque l'adaptation est possible sans trop d'efforts (comportementaux ou physiologiques), alors le bien-être est préservé. Une réponse de stress est déclenchée suite à toute menace de l'homéostasie de l'animal. Cette réponse est protectrice et nécessaire à la survie dans un premier temps si le stimulus stressant reste bref mais peut devenir délétère pour le bien-être en cas de détresse, c'est-à-dire si le coût biologique du stress sur les fonctions de reproduction, croissance ou compétence immunitaire est élevé (Moberg 2000). Ainsi, le bien-être est plus difficilement atteint en cas de stress prolongé.

L'activation de l'axe HPA a été démontrée lors de procédures douloureuses, telles que la castration, ou stressantes, comme le mélange de groupes d'animaux, le transport ou encore la frustration de ne pas pouvoir exprimer un comportement (Boissy, Le Neindre 1997; Mormède *et al.* 2007). La présence de lésions de la queue est aussi associée à une augmentation des niveaux de cortisol chez les porcs, ce qui peut refléter la douleur de la blessure ou le stress associé au comportement de caudophagie (Carroll *et al.* 2018). En effet, ces lésions entraînent des douleurs importantes et dégradent l'état de santé de l'animal, elles favorisent donc un mauvais bien-être chez le porc et un stress lié à la douleur. De plus, le comportement de caudophagie peut avoir diverses origines et peut notamment être la manifestation d'un état de stress chez le porc mordeur. De même, le stress social lié aux mélanges d'animaux constitue un contexte favorable aux morsures (Ramonet 2024). La synthèse accrue de cortisol apparaît donc comme un indicateur de stress et donc de bien-être animal altéré.

Ainsi, le stress peut être un outil permettant d'approcher le bien-être animal. L'évaluation du stress serait donc une méthode de choix pour évaluer le bien-être animal des animaux d'élevage et en particulier des porcs.

1.3 Les marqueurs pour l'évaluation du stress chez le porc

Les différents facteurs évoqués précédemment constituent une menace pour l'homéostasie et sont donc sources de stress pour les porcs, ce qui déclenche une variété de réponses comportementales, neuroendocriniennes et immunologiques.

1.3.1 Observation du comportement

Le stress chez le porc peut se manifester par l'expression de comportements anormaux dont l'évaluation repose sur l'observation des individus.

Plusieurs troubles du comportement peuvent être observés en cas de stress chez les porcs (Everding 2021). On peut ainsi observer des comportements stéréotypés, qui se développent principalement en cas de frustration, d'ennui, de contrainte ou de peur. Ils incluent le mâchonnement fictif, le balancement de la tête, le mordillement des barreaux. Les porcs étant des animaux explorateurs, passant beaucoup de temps à fouiller et mâcher en conditions naturelles, ils redirigent ce comportement vers leur environnement ou à défaut vers leurs congénères lors de mordillement des queues ou des oreilles, ce qui peut être à l'origine de blessure, douleur et stress chez les animaux touchés. Ainsi, une fréquence particulièrement élevée de mordillements d'oreilles ou de queues, associée à d'autres facteurs alimentaires (déséquilibre nutritionnel de la ration) ou abiotiques (température, ventilation, densité inadéquate), peut être à l'origine du développement du cannibalisme défavorable à la santé et au bien-être de l'animal

Les principaux troubles du comportement sont des comportements agressifs, tels que des bagarres et blessures surtout lors du mélange d'animaux qui ne se connaissent pas ainsi que des phénomènes de caudophagie ou de cannibalisme observés principalement en engraissement. Le stress peut également limiter l'expression des comportements normaux tels que les comportements exploratoires de reniflement, de fouissage, de léchage et de jeu.

On note une variation individuelle dans la réponse comportementale du stress. Ainsi, si l'on reprend le concept du « *fight or flight* » émis par Cannon, on peut distinguer deux stratégies comportementales des porcs, caractérisées par des différences constantes dans les réponses comportementales, physiologiques et endocriniennes aux situations conflictuelles. On décrit ainsi des animaux proactifs ou résistants et des animaux réactifs ou peu résistants. Le premier type

correspond à la réponse active (la réponse de combat-fuite) et est caractérisé par une réaction sympathique prédominante et un contrôle territorial et une agression ; le deuxième type de réponse correspond à une réponse de conservation-retrait, caractérisée par une activation parasympathique prédominante et par une immobilité et de faibles niveaux d'agressivité (Koolhaas *et al.* 1999). Ces différences dans la réponse comportementale au stress impliquent également des différences dans la réponse physiologique au stress avec des variations dans la réactivité de l'axe HPA selon la caractéristique proactive ou réactive des porcs. Ruis et ses collaborateurs ont mis en évidence que les animaux peu résistants montrent moins d'agressivité dans les tests de compétition alimentaire et hésitent plus longtemps à quitter leur enclos d'origine ou à entrer en contact avec un humain et présentent une réactivité élevée de l'axe HPA avec des valeurs de cortisol salivaire plus élevées suite à un stress d'environnement nouveau sans différence dans les concentrations initiales de cortisol (Ruis *et al.* 2000).

1.3.2 Utilisation du cortisol dans les matrices biologiques courantes

Les matrices biologiques principales classiquement utilisées pour la détermination de la concentration en cortisol sont le sang, la salive, l'urine et les fèces.

1.3.2.1 Cortisol plasmatique

Le dosage du cortisol plasmatique requiert la réalisation d'un prélèvement sanguin. Chez les porcs, la ponction veineuse s'effectue dans la veine cave, c'est donc un acte invasif qui nécessite une contention souvent stressante pour l'animal. De plus, des conditions de transport spécifiques sont requises : les prélèvements doivent être transportés à froid ou congelés (Mormède *et al.* 2007).

Comme vu précédemment, le cortisol plasmatique est fixé à plus de 90% aux protéines plasmatiques. Or, le cortisol plasmatique reflète la fraction de cortisol total, soit le cortisol libre et le cortisol lié. Ainsi, tout changement au niveau des protéines de liaison peut modifier les concentrations en cortisol libre. Or, de nombreux facteurs influent les concentrations en CBG du plasma sanguin porcin tels que l'âge, le sexe et le génotype (Nyberg *et al.* 1988).

Un des inconvénients majeurs du dosage des taux plasmatiques de glucocorticoïdes est leur grande variation selon les rythmes ultradiens, diurnes et éventuellement saisonniers. Ils sont également sensibles à de nombreux facteurs environnementaux. Ils augmentent simplement en attrapant et en manipulant l'animal. L'avantage évident de la prise de sang est qu'elle permet d'accéder non seulement aux taux de glucocorticoïdes, mais aussi à des informations sur les paramètres biologiques de l'HPA (modifications de la glycémie ou du taux de globules blancs) et d'autres paramètres sensibles au stress tels que le dosage des catécholamines par exemple.

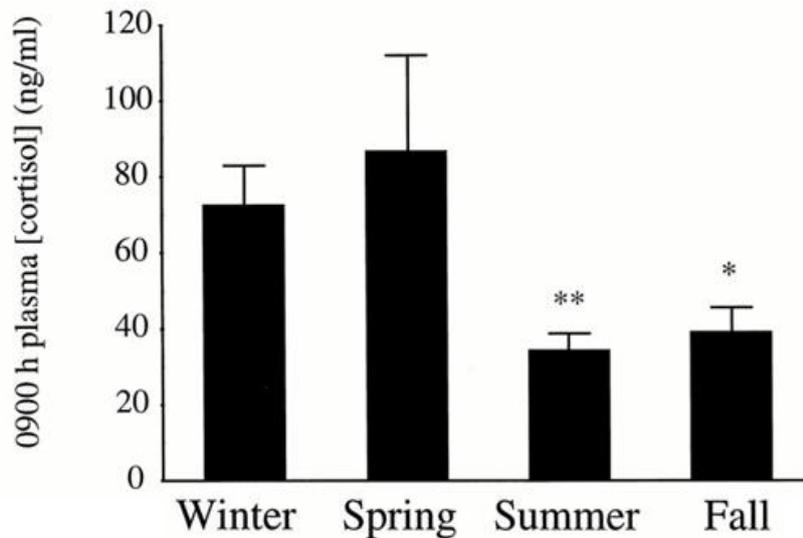


Figure 6 : Variations saisonnières des concentrations en cortisol plasmatique chez l'homme (d'après Walker *et al.*, 1997)

1.3.2.2 Cortisol salivaire

L'échantillonnage de salive est peu invasif et contraignant. Chez les porcs, des échantillons de salive peuvent être obtenus en permettant aux animaux de mâcher des salivettes jusqu'à ce qu'elles soient bien humidifiées (30 secondes à une minute). Les animaux peuvent donc être habitués à cette procédure ce qui permet de limiter considérablement le stress lié au prélèvement.

De plus, le cortisol salivaire est un bon indicateur du cortisol plasmatique. Le cortisol dans la salive n'existe que sous forme libre, car la salive est dépourvue de protéines de liaison ce qui permet de n'avoir accès qu'à la concentration de cortisol actif et non à la concentration en cortisol total. Le cortisol salivaire serait donc un bon reflet de la fraction libre du plasma (Vining *et al.* 1983). Les niveaux de cortisol salivaire basal représentent environ 5 à 10% des niveaux de cortisol plasmatique et une stimulation à l'ACTH induit une augmentation des niveaux de cortisol salivaire même si l'augmentation maximale reste moins importante pour le cortisol salivaire (230% pour plasmatique et 130% pour salivaire) (Parrott, Misson, Baldwin 1989). La différence entre les niveaux de cortisol salivaire et non lié sérique pourrait s'expliquer par une conversion partielle du cortisol en cortisone lors du passage dans les glandes salivaires, comme c'est le cas chez l'homme (Vining *et al.* 1983).

Les niveaux de cortisol fluctuent quotidiennement en fonction de nombreux facteurs physiologiques, y compris la rythmicité circadienne. Le cortisol salivaire fournit donc une mesure de la concentration à un moment précis, ou sur une courte période allant de 12 à 24 heures, et donne un reflet plutôt médiocre de la sécrétion normale et chronique de cortisol.

De plus, la prise alimentaire et la prise de boisson peuvent interférer et rendre les concentrations en cortisol observées difficilement interprétables, en augmentant la salivation ou la contamination par les aliments (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019).

1.3.2.3 Cortisol urinaire

L'urine peut être recueillie de manière non invasive lors de l'émission spontanée mais des échantillons peuvent être difficile à obtenir sur des animaux en liberté qui ne peuvent pas être observés en continu. C'est une matrice intéressante car c'est la principale voie d'élimination des glucocorticoïdes, à 93% chez le porc (Möstl, Palme 2002).

Les variations diurnes du cortisol urinaire sont comparables à celles du plasma, avec un pic tôt le matin, environ deux heures après le pic plasmatique, une diminution régulière la journée et un nadir le soir. L'accumulation sur plusieurs heures des produits d'excrétion permet d'être moins soumis aux fluctuations rencontrées pour les taux plasmatiques par exemple. Les différences entre individus dues au cycle circadien sont réduites. Ainsi, les niveaux de cortisol dans les urines du matin reflètent son excrétion moyenne sur 24h (Hay *et al.* 2000).

1.3.2.4 Cortisol fécal

La collecte des fèces peut se faire de façon non invasive, directement dans l'environnement afin d'éliminer toute contention et tout facteur de stress mais dans ce cas il peut être compliqué d'attribuer les fèces à un animal.

Le cortisol est principalement excrété dans l'urine, mais il est également excrété en moindre proportion dans les fèces, sous forme de nombreux métabolites. Ainsi, 7% des métabolites du cortisol sont excrétés dans les fèces chez les porcs et il faut compter environ 48h suite à un stimulus stressant pour avoir une excrétion de cortisol fécal (Palme *et al.* 1996). Le cortisol peut ainsi s'accumuler pendant plusieurs jours, ce qui permet de limiter les variations liées au cycle circadien.

Les prélèvements de fèces nécessitent des conditions de stockage particulières. En effet la concentration des métabolites augmente lors du stockage à température ambiante et l'intervalle de temps entre la défécation et la congélation de l'échantillon doit être le plus bref possible afin de ne pas modifier les concentrations en métabolites des fèces (Möstl *et al.* 1999).

1.3.3 Utilisation du cortisol pileire pour l'évaluation du stress

1.3.3.1 Intérêt du cortisol pileire

Nous avons donc mis en évidence que les processus de prélèvement des matrices biologiques classiques sont plus ou moins complexes et peuvent être source de stress pour l'animal, particulièrement chez le porc, pouvant impacter les dosages réalisés.

L'utilisation des phanères comme support du dosage du cortisol apparaît comme une matrice de choix. Ils offrent une facilité d'échantillonnage car le prélèvement se révèle peu invasif et est réalisable sans contention. Il est indolore et ne provoque pas de risque infectieux tandis que l'analyse n'est pas affectée par le stress inhérent au moment du prélèvement. De plus, les poils peuvent également être prélevés à partir des zones de repos ou de pièges à poils collants. Ainsi, ils apparaissent comme une matrice simple à prélever pour la détermination des concentrations en cortisol. De plus, les poils ne nécessitent pas de conditions spécifiques de stockage, si ce n'est leur conservation à l'obscurité, et l'analyse ne doit pas se faire dans un délai précis.

Davenport et ses collaborateurs ont mis en évidence le lien entre stress et concentration en cortisol pilaire en analysant les niveaux de cortisol dans la salive et les poils chez des macaques rhésus soumis à un stress de relocalisation. Le caractère stressant du déménagement est confirmé par les comportements observés et notamment l'apparition de troubles du comportement chez les singes. Il en résulte une augmentation des concentrations de cortisol salivaire et pilaire avec une corrélation significative entre les niveaux de taux de cortisol salivaire et pilaire chez un même animal (Davenport *et al.* 2006). Il y a donc clairement une relation entre les niveaux de cortisol dans les poils et l'activité de l'axe HPA, en réponse au stress. De plus, différentes études chez différentes espèces ont contribué à montrer les corrélations entre concentrations en cortisol dans les poils et les autres matrices biologiques telles que les fèces (Accorsi *et al.* 2008), la salive (Davenport *et al.* 2006) et les urines (Sauvé *et al.* 2007). Enfin, la revue de Kalliokoski et ses collaborateurs regroupant les résultats de 42 études rapporte des concentrations en cortisol pilaire significativement corrélées avec les concentrations en glucocorticoïdes dans d'autres matrices (Kalliokoski, Jellestad, Murison 2019).

De plus, les niveaux de cortisol mesurés dans les matrices courantes utilisées pour l'analyse des concentrations en cortisol ou de ses métabolites ne représentent qu'une période rétrospective de quelques minutes à quelques jours par rapport au moment du prélèvement et les niveaux de cortisol de ces matrices sont soumis à d'importantes variations physiologiques quotidiennes. Ainsi, pour avoir accès aux taux de cortisol sur des périodes plus grandes à partir de ces matrices, des échantillonnages répétés sont nécessaires (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019). Au contraire, le cortisol pilaire permet d'avoir accès aux concentrations en cortisol sur des périodes beaucoup plus longues, tout en s'affranchissant des variations liées au rythme circadien. Il permet donc de refléter le stress chronique et non aigu et les valeurs ne sont pas modifiées par le stress lié au prélèvement. En effet, un événement stressant court et unique comme la castration chez les veaux n'induit pas une augmentation du cortisol pilaire (Marti *et al.* 2017).

Le cortisol pilaire pourrait ainsi donner un aperçu de l'état de bien-être des porcs au cours de leur vie. Carroll et ses collaborateurs ont mis en évidence des concentrations moyennes de cortisol pilaire significativement supérieures chez les porcs ayant des lésions caudales, témoignant de caudophagie (Carroll *et al.* 2018).

Enfin, le cortisol pilaire est un outil intéressant de par sa stabilité. Webb et ses collaborateurs ont étudié les concentrations en cortisol sur des échantillons de cheveux de dix momies péruviennes datant de -55 à 1532. Il en ressort que même après des milliers d'années le cortisol peut être dosé dans les cheveux et que de plus, les valeurs de concentration en cortisol capillaire obtenues sont similaires à celles observées chez des volontaires en bonne santé (Webb *et al.* 2010).

Le cortisol pileire apparaît donc comme un moyen complémentaire d'évaluer le stress expérimenté par les animaux et fournit ainsi un reflet fiable et valide de la sécrétion de cortisol à long terme chez de nombreuses espèces (Lee, Kim, Choi 2015). Il n'est pas sensible aux changements liés à la rythmicité circadienne et permet de fournir un calendrier rétrospectif des expositions chroniques et/ou passées avec des valeurs qui ne sont pas affectées par le stress momentané et qui ne sont donc pas impactées par le stress lié au prélèvement (Meyer, Novak 2012).

1.3.3.2 Caractéristique des soies et incorporation du cortisol pileire

1.3.3.2.1 Caractéristiques des soies des porcs

Les poils sont une des caractéristiques des Mammifères. Ils ont un rôle de barrière entre l'environnement et l'organisme en assurant une protection mécanique, hydrique et contre les UV. Ils ont également un rôle sensitif, les poils sont des mécanorécepteurs qui transmettent notamment l'information nociceptive, ils sont importants dans la thermorégulation et jouent un rôle essentiel dans les interactions sociales (Bensignor 2021).

Anatomie du poil

Le poil est un dérivé de l'épiderme et se compose de deux parties : une partie vivante située sous la peau, le follicule pileux, et une partie non vivante, entièrement kératinisée, située au-dessus de la surface de la peau, la tige pileire. Le follicule pileux est la partie essentielle à la croissance des poils (Erdoğan 2017).

La tige pileire est constituée d'un cortex, d'une cuticule et d'une médulla.

Le follicule pileux consiste en une invagination de l'épiderme dans le derme et est constitué de trois couches. La partie supérieure comprend l'infundibulum, structure remplie de sébum et l'isthme, où débute la kératinisation. La partie inférieure comprend le bulbe pileux, partie reproductrice active du follicule pileux et la région supra-bulbaire, composée de trois couches : gaine radiculaire externe, gaine radiculaire interne et tige pileire. C'est la partie inférieure qui suit le cycle pileire que nous détaillerons par la suite.

L'innervation de l'ensemble du follicule pileux est assurée par le réseau nerveux dermique et comprend des terminaisons nerveuses afférentes et des terminaisons du système nerveux autonome. Des fibres nerveuses forment également une couche circulaire autour du bulbe pileux. Parmi elles on compte les terminaisons nerveuses libres, les terminaisons nerveuses lancéolées, les cellules de Merkel et les corpuscules de Ruffini.

La vascularisation est assurée par des artérioles concentrées dans la partie inférieure du follicule pileux (Erdoğan 2017).

Le follicule pileux possède également un rôle immunitaire et représente un site immuno-privilégié, c'est-à-dire qu'il est capable de tolérer l'introduction d'antigènes sans provoquer une réponse immunitaire inflammatoire (Medawar 1948).

Enfin la pigmentation de la tige capillaire par la mélanine lui permet d'assurer la protection contre les UV et la thermorégulation.

On retrouve deux grands types de glandes annexes associées aux follicules pileux : les glandes sébacées et les glandes sudoripares.

Les glandes sébacées sont sécrétrices de sébum, film hydro-lipidique qui lustre le poil, riche en acides gras et aux propriétés antimicrobiennes. Elles se trouvent juste sous la surface de la peau et leurs canaux aboutissent directement dans la lumière du follicule pileux, ce qui permet à la tige pileuse formée d'être baignée de sébum (Harkey 1993).

Les glandes sudoripares sont sécrétrices de sueur dont le contenu se déverse directement dans la lumière du follicule pileux puis est entraîné à la surface de la peau par la pousse du poil.

Enfin, il existe des muscles arrecteurs associés aux poils, qui permettent la pilo-érection et la vidange des glandes sébacées et sudoripares (Bensignor 2021).

1.3.3.2.2 Cycle pileux

Le cycle de croissance des poils comprend trois phases principales : une phase de croissance active appelée phase anagène, une phase de régression et d'involution du follicule pileux appelée phase catagène et une phase de repos ou phase télogène (Alonso, Fuchs 2006).

La phase anagène correspond à la production par les follicules d'une tige pileuse de la pointe à la racine. C'est durant cette phase que la synthèse et la pigmentation de la tige capillaire ont lieu. La durée de cette phase détermine la longueur de la tige pileuse. Chez le porc, la phase anagène est longue et dure environ 4 mois (Bergamin *et al.* 2019).

La phase catagène est une phase de transition où la partie supérieure de la tige pileuse est kératinisée et la partie inférieure de chaque follicule pileux régresse par apoptose des cellules de la couche épithéliale externe. Elle dure environ 20 jours chez le porc.

Pendant la phase télogène, les follicules se préparent à recevoir le signal pour commencer une nouvelle phase de croissance. Les cellules souches folliculaires sont activées lors de la transition télogène-anagène pour initier un nouveau cycle de croissance et ainsi fabriquer la nouvelle tige du poil.

Chez le porc, on retrouve 64% de follicules pileux en phase anagène et 36% en phase télogène au niveau des oreilles (Zambrano, Klein, Patzelt 2021). Un cycle complet dure un an (Watson, Moore

1990) et le taux de croissance des poils est estimé entre 5,3 et 12 mm par mois (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019), avec un taux de croissance variable selon les régions du corps (Wiechers *et al.* 2021). Le cycle pileux suit un rythme saisonnier. La phase anagène est à son maximum entre août et janvier et est fortement réduite le reste de l'année. Seuls 20% des follicules pileux sont en phase anagène entre la fin de l'hiver et l'été (Watson, Moore 1990). Le taux de follicules en phase anagène dépend également de l'âge des animaux, il est proche de 100% à la naissance et diminue ensuite progressivement (Meyer, Görge 1986). La mue des follicules télogènes a lieu pendant l'été et les changements saisonniers ont un effet marqué sur l'activité du follicule pileux.

Il faut compter environ deux semaines pour que la partie inférieure de la tige pileuse atteigne la couche la plus externe de la peau, la profondeur de la tige pileuse dans la peau étant entre 3 et 4 mm (Bacci *et al.* 2014).

1.3.3.2.3 Incorporation du cortisol dans les soies

Le cortisol systémique ne peut être incorporé dans la tige pileuse que pendant la phase anagène, alors que le follicule pileux est situé à plusieurs millimètres de la surface de la peau (Harkey 1993). Il y a donc un délai entre l'incorporation du cortisol dans les poils et le moment où la section concernée arrive à la surface de la peau qui dépend de la vitesse de croissance des poils et varie selon les espèces et les régions du corps. Le cortisol déposé dans la tige pileuse peut ainsi refléter une période allant de la naissance jusqu'au prélèvement des échantillons, à l'exclusion des quinze derniers jours précédant l'échantillonnage (Mowafy, Cassens 1976).

Le cortisol est une hormone lipophile dont le mécanisme exact d'incorporation dans les poils reste inconnu. On suppose cependant qu'il doit être similaire à celui des médicaments lipophiles. Ainsi, le modèle d'incorporation du cortisol dans les poils est basé sur celui de l'incorporation des médicaments lipophiles dans la tige pileuse, à savoir le modèle complexe à compartiments multiples défini par Henderson (Henderson 1993).

La voie principale se fait par diffusion passive du cortisol libre depuis le sang vers le follicule pileux pendant la phase anagène. Le cortisol diffuse depuis le sang vers les cellules ciliées en croissance à la base du follicule pileux et reste contenu dans la tige pileuse pendant la kératogenèse ultérieure. La concentration en cortisol pileuse dépend donc directement de la concentration sanguine.

Une diffusion à partir de la sueur et le sébum est une voie supplémentaire d'incorporation du cortisol dans les poils. Après la phase de croissance, la tige pileuse est recouverte de sébum et de sueur, dont le cortisol présent dans ces substances serait issu d'une diffusion passive depuis le sang. Le cortisol peut donc être incorporé par diffusion passive depuis le film de sueur et de sébum présent à leur surface et sécrété par les glandes apoclines et sébacées. Il existe des variations individuelles de ces sécrétions qui peuvent expliquer des concentrations différentes chez des individus ayant été

exposés aux mêmes doses hormonales. Ce cortisol se déposant après la phase anagène, est moins étroitement lié aux poils et peut donc être éliminé par des procédures de lavage doux.

La troisième voie d'incorporation du cortisol se fait *via* des substances externes provenant de l'environnement tels que l'air, l'eau ou les souillures, une fois que les poils ont poussé au-delà de la couche externe à la peau. Le logement des animaux d'élevage, généralement confiné et permettant des contacts étroits avec des environnements souillés et entre les animaux, les exposent à une contamination via l'urine, les matières fécales et la salive. Otten et ses collaborateurs ont mis en évidence que le cortisol peut s'accumuler sur les poils via une contamination par les urines (Otten *et al.* 2022), les matières fécales et la salive (Otten *et al.* 2020). Ainsi, les échantillons de poils doivent être prélevés dans des régions du corps « propres » pour éviter cette contamination. Cet effet est plus marqué dans les segments de poils distaux que proximaux, les dommages structurels des segments de cheveux distaux plus anciens augmentant la perméabilité de la matrice capillaire et donc la diffusion du cortisol.

On retrouve aussi un transfert intradermique. Le cortisol pourrait se retrouver concentré dans la partie supérieure de l'épiderme et l'hypoderme qui sont riches en lipides et en contact intime avec le follicule pileux et les glandes associées. La peau agit alors comme un piège et conserve certaines substances lipophiles, telles que le cortisol pour un transfert ultérieur au follicule pileux.

Enfin, chez l'homme, il existe un système stéroïde non surrénalien dans les kératinocytes, équivalent fonctionnel de l'axe HPA, permettant une production de cortisol par le follicule lui-même (Ito *et al.* 2005).

1.3.3.3 Élimination du cortisol pileux

Le cortisol incorporé dans les poils est éliminé *via* différents mécanismes, comme le lessivage par les produits cosmétiques ou les UV (Meyer, Novak 2012). Plusieurs études chez l'homme ont montré une diminution des concentrations en cortisol pileux, des segments proximaux aux segments distaux, en raison d'un possible lessivage du cortisol, lié à la dégradation de la fibre (Burnard *et al.* 2016). Cela n'a été démontré chez aucune espèce non-humaine.

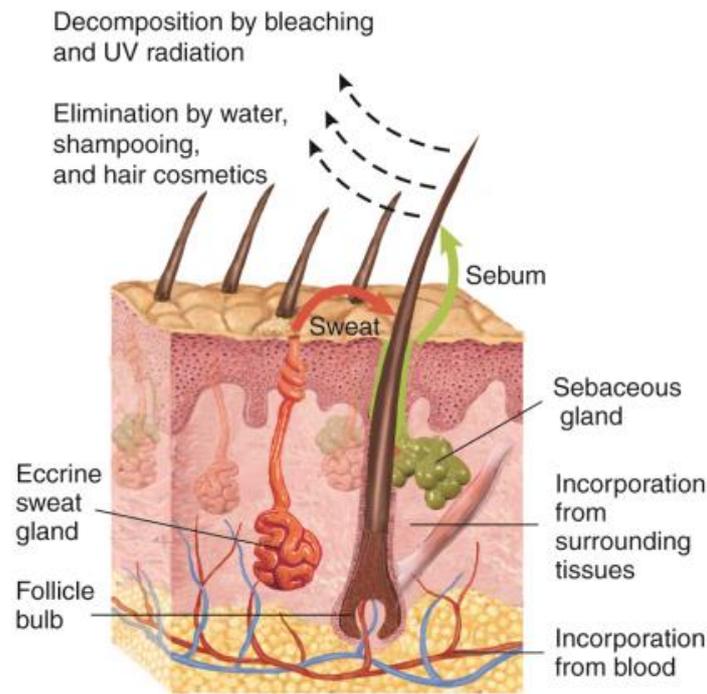


Figure 7 : Mécanismes d'incorporation et d'élimination du cortisol dans les poils (Meyer et Novak, 2012)

1.3.3.4 Facteurs de variation de la concentration en cortisol pileire

1.3.3.4.1 Facteurs dépendant de l'animal

Stade physiologique

Les concentrations en cortisol pileire (CCP) sont plus élevées chez les jeunes (Fourie *et al.* 2015). Heimbürge et ses collaborateurs ont mis en évidence des CCP plus élevées chez les porcelets de deux semaines par rapport aux porcs âgés de dix semaines, de 27 semaines et aux truies (Heimbürge *et al.* 2020). Ces résultats vont dans le même sens que ceux de la thèse de Alexandre Bourasseau qui observe une diminution de la concentration en cortisol pileire chez les porcelets entre la période néo-natale et le sevrage (Bourasseau 2023). Les jeunes porcelets présentent des concentrations en globulines, protéines liant les corticostéroïdes, plus faibles, ce qui entraîne une augmentation des concentrations plasmatiques en cortisol libre (Grant *et al.* 2017). Elles sont très élevées chez les nouveau-nés puis diminuent au cours des premiers jours de la vie post natale pour atteindre des valeurs similaires à celles des adultes vers l'âge de 6 mois pour les macaques (Dettmer *et al.* 2009). Chez les babouins, Fourie et al notent une baisse du cortisol aux stades juvénile et adolescent, avec une augmentation ultérieure à l'âge adulte (Fourie *et al.* 2015).

Chez l'homme, les niveaux de cortisol pileire sont effectivement plus élevés chez les plus jeunes (7 mois-3 ans) puis diminuent avec l'âge, les valeurs les plus faibles étant observées à l'adolescence avant de réaugmenter chez les adultes (Binz *et al.* 2018).

Une augmentation du cortisol circulant est notée tout au long de la gestation, jusqu'à la mise bas. En effet, les CCP des truies sont plus élevées en fin de gestation et en lactation qu'en début ou milieu de gestation (Bacci *et al.* 2014). La composition des eaux fœtales varie avec les concentrations en cortisol et les valeurs de cortisol pileire retrouvées chez les femelles gestantes sont associées aux valeurs de cortisol pileire du nouveau-né, ceci pouvant expliquer les concentrations de cortisol pileire élevées retrouvées chez les jeunes durant la période néo-natale (Grant *et al.* 2017).

Sexe

Les études se contredisent concernant l'influence du sexe sur les CCP. Certaines mettent en évidence des CCP plus élevés chez les mâles, d'autres chez les femelles et certaines ne mettent pas en évidence de différence entre les sexes.

Des taux plus élevés sont mis en évidence chez les mâles chez les ours noirs d'Amérique (Lafferty *et al.* 2015) et chez l'homme (Binz *et al.* 2018), des CCP plus élevées chez les femelles ont été mises en évidence chez les ours polaires (Bechshøft *et al.* 2011) et les porcs castrés (Bergamin *et al.* 2019). Dans d'autres études, aucun effet significatif du sexe sur les CCP n'a été trouvé chez les porcs (Heimbürge *et al.* 2020).

Les mâles entiers ont des niveaux plus bas de globuline liant les corticostéroïdes (CBG), ce qui pourrait entraîner des niveaux de cortisol libres plus élevés. Or comme c'est majoritairement le cortisol libre qui est incorporé dans les poils, ceci pourrait expliquer les différences observées entre les deux sexes (Nyberg *et al.* 1988).

Les sécrétions en cortisol dépendent également de divers facteurs tels que le comportement, l'état corporel et le métabolisme des stéroïdes sexuels qui varient selon le sexe (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019).

Race

Des différences dans l'activité basale de l'axe HPA et dans les réponses au stress peuvent être observées selon les races de porcs étudiées. Par exemple, les porcs Meishan présentent des niveaux de cortisol basal et post-stress plus élevés que les porcs Large White (Désautés, Bidanel, Mormède 1997).

1.3.3.4.2 Facteurs dépendant du poil

Région du corps

Des différences de CCP sont observées selon les régions du corps, quelles que soient les espèces. Chez les porcs, des CCP plus importantes ont été mesurées dans les poils de l'extrémité de la queue par rapport aux poils du dos et du cou (Heimbürge *et al.* 2020) ou en région dorso-lombaire (Casal *et al.* 2017). Les variations observées pourraient s'expliquer par la vitesse de croissance des poils variable selon les régions du corps, une croissance des poils plus précoce dans certaines régions pourrait autoriser une accumulation plus précoce de cortisol (Wiechers *et al.* 2021). Une autre explication serait la proportion variable de follicules pileux dans les différentes phases du cycle pileux selon les régions. Le cortisol est principalement incorporé pendant la phase de croissance du poil, des concentrations plus importantes peuvent donc être retrouvées dans les régions du corps avec plus de follicules en phase anagène ou avec des follicules ayant une phase anagène plus longue (Burnard *et al.* 2016).

Enfin, la possible contamination urinaire ou par des matières fécales et l'incorporation de cortisol à partir de ces matrices peut expliquer des variations spécifiques dans les régions plus souillées, notamment caudales (Otten *et al.* 2022).

Couleur des poils

Les études se contredisent concernant la variation de la concentration en cortisol pileux avec la couleur des poils. Selon les études, il ressort que les poils blancs contiennent plus de cortisol que les poils noirs des vaches laitières (Burnett *et al.* 2014) ou qu'il n'y a pas de différence significative selon la couleur des poils des vaches laitières (Nedić *et al.* 2017) ou des cheveux chez l'homme (Sauvé *et al.* 2007).

Chez les porcs, Heimbürge et ses collaborateurs ont montré que les CCP sont plus élevées dans les poils noirs que dans les poils blancs chez un même animal (Heimbürge *et al.* 2020). Des résultats similaires ressortent chez l'homme avec des niveaux de cortisol plus élevés dans les cheveux noirs par rapport aux cheveux blonds (Binz *et al.* 2018).

Les concentrations plus faibles retrouvées dans les poils foncés pourraient être dues à l'impact plus important des UV sur les poils foncés, entraînant plus de dégradation du cortisol (Otten *et al.* 2021). Les concentrations plus importantes retrouvées dans les poils foncés pourraient être dues aux interactions avec la mélanine qui absorbe les rayonnements et retient le cortisol dans le poil en réduisant les effets de la photodégradation ou au fait que le cortisol pourrait avoir la capacité de se lier à la mélanine, présente en plus grande quantité dans les poils noirs que blancs, ce qui limiterait ainsi la dégradation du cortisol dans les poils noirs (Otten *et al.* 2021).

1.3.3.4.3 Facteurs dépendant de l'environnement

Saison

Les résultats des différentes études divergent également concernant les variations des CCP avec les saisons.

Certaines études démontrent des concentrations en cortisol pileire plus élevées en hiver (Godefroy 2023) et plus faibles en été (Bacci *et al.* 2014). Ces résultats peuvent être mis en relation avec le cycle pileire et une croissance des poils plus importante en hiver, permettant une incorporation de cortisol plus élevée.

Heimburge et ses collaborateurs rapportent les résultats de différentes études dont les observations sont très variées (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019), certaines mettent en évidence des concentrations plus élevées en été et automne ou encore au printemps.

Exposition à la lumière

L'exposition aux UV peut être à l'origine d'une dégradation du cortisol et donc d'une diminution du cortisol pileire. Des poils de porcs et bovins ont été exposés aux rayons UV dans des conditions comparables à environ 8 heures d'exposition au soleil en été et les CCP mesurées sont significativement plus faibles que dans les poils maintenus à l'obscurité. Les mêmes conclusions ont été établies par Wester et ses collaborateurs sur des échantillons de cheveux humains (Wester *et al.* 2016). En effet, il semblerait qu'il y ait une réticulation entre les glucocorticoïdes endogènes et les composants de la matrice pileire qui contribue à une diminution des concentrations de cortisol (Miolo *et al.* 2011).

Ainsi, nous avons vu qu'en France 95% des porcs sont élevés en bâtiment sur caillebotis intégral. Ce système d'élevage est au cœur des débats, et c'est notamment le respect du bien-être animal qui est pointé du doigt. Dans cette volonté d'amélioration du bien-être des animaux, l'accès à l'extérieur figure parmi les préoccupations majeures des citoyens. Pourtant, les systèmes d'élevage avec accès à l'extérieur exposent davantage les animaux aux maladies infectieuses et aux aléas climatiques. Dans ce contexte est né le projet de recherche PANORAMA (PARTicipative desigN to enhance OutdooR Access of farM Animals), projet emblématique du méta-programme SANBA (SANTé et Bien-être des Animaux en élevage) de l'INRAE qui consiste à évaluer, *via* une approche multi-critères, le bien-être et la santé des porcs disposant ou non d'un accès extérieur de type courettes. L'objectif de ce projet est de déterminer les forces et les faiblesses des systèmes d'élevage avec ou sans accès extérieur.

Dans ce cadre, mon projet de thèse avait pour objectif d'étudier le stress chronique vécu par les porcs charcutiers en utilisant le cortisol pileire comme un indicateur, dans deux systèmes d'élevage, conventionnel ou avec un accès extérieur de type courettes, à deux stades physiologiques (post-sevrage et engraissement) et à trois saisons différentes (été, mi-saison et hiver).

2 PARTIE EXPERIMENTALE

2.1 Matériels et méthodes

2.1.1 Validation éthique du protocole

L'étude a été menée en accord avec la directive européenne 2010/63/UE relative à l'utilisation des animaux à des fins scientifiques. Ainsi, préalablement à sa mise en place, le protocole expérimental a été soumis et autorisé par le Comité Éthique pour la Recherche Clinique et épidémiologique Vétérinaire d'Oniris (numéro de validation : CERVO 2022-12-V).

2.1.2 Recrutement des élevages et présentation des élevages sélectionnés

Différents critères ont été définis pour la sélection des élevages inclus. Tout d'abord, la collecte des données devait être réalisée dans des élevages en bâtiment, situés dans le Grand Ouest, avec (n=8) ou sans (n=12) accès à des courettes extérieures. Les élevages sélectionnés devaient être de type naisseurs-engraisseurs afin de pouvoir effectuer des observations en maternité (sur les truies et leurs portées), en post-sevrage et en engraissement sur les porcs charcutiers.

A chaque visite, chaque élevage devait compter au moins dix truies en maternité, des porcs en post-sevrage âgés entre 7 et 11 semaines et des porcs en engraissement âgés entre 120 et 180 jours. Trois visites ont été prévues à trois saisons différentes, une en hiver, une en été et une à la mi-saison (automne ou printemps). L'éleveurs devaient se rendre disponible pour ces trois visites, notamment pour la première qui a nécessité un temps d'échange et de visite des infrastructures. Le tableau I présente les caractéristiques principales des élevages inclus dans l'essai, tandis que la figure 8 présente la répartition géographique de ces élevages.

Tableau I : Caractéristiques des élevages inclus dans l'étude

Elevage	Type	Cahier des charges	Saison de visite		
			Hiver	Mi-saison	Eté
E1	Courette	Bio	X	X	X
E2	Courette	Bio	X	X	X
E3	Courette		X	X	X
E4	Conventionnel		X	X	X
E5	Conventionnel		X	X	X
E6	Courette		X	X	X
E7	Conventionnel	Bleu blanc cœur	X	X	X
E8	Conventionnel		X	X	X
E9	Conventionnel		X	X	X
E10	Conventionnel		X	X	X
E11	Conventionnel		X	X	X
E12	Courette	Bio		X	X
E13	Conventionnel		X	X	X
E14	Courette	Bio	X	X	X
E15	Conventionnel		X	X	
E16	Courette	Bio	X	X	
E17	Conventionnel	Label rouge	X	X	
E18	Conventionnel	Label rouge femelles	X	X	
E19	Courette	Bio	X	X	
E20	Conventionnel		X	X	

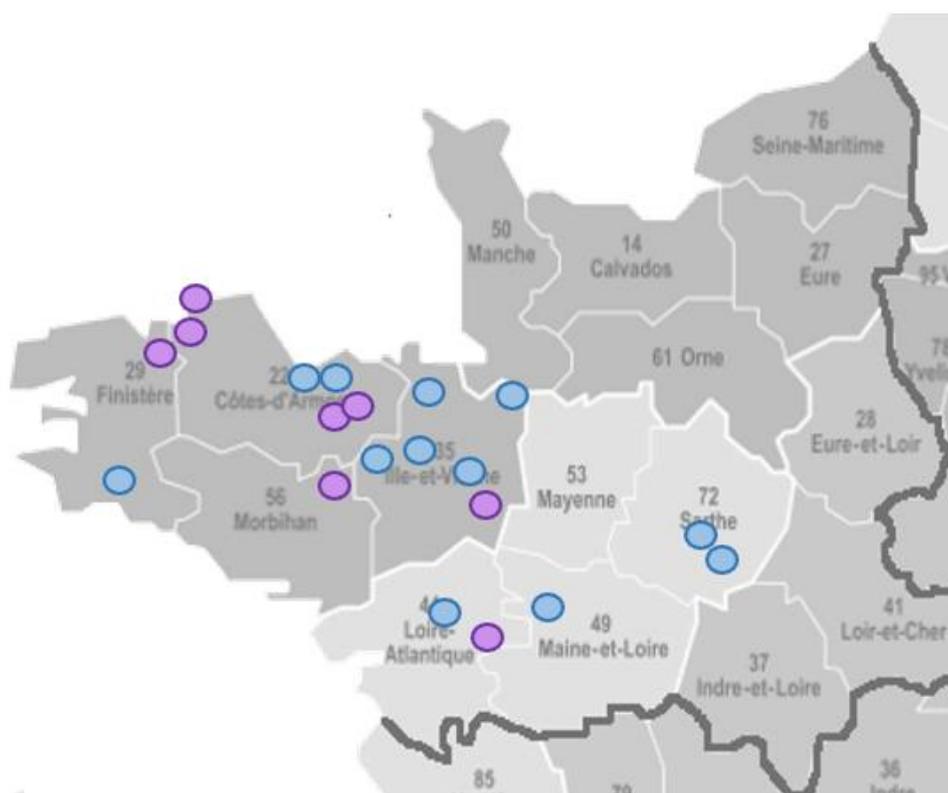


Figure 8 : Localisation des vingt élevages inclus dans l'étude

2.1.3 Organisation des visites

Parmi les vingt élevages visités, 13 ont été visités à trois saisons contre 7 seulement à deux saisons : été et mi-saison pour l'élevage 12 et hiver et mi-saison pour les six autres élevages. Les saisons ont été définies de la manière suivante :

- été, entre le 9 juin et le 8 septembre, avec des températures comprises entre 18 et 29°C pour la plupart des élevages, au cours du mois précédant la visite. Certains élevages ont connu un été particulièrement chaud avec des températures supérieures à 29°C sur plusieurs jours, notamment les élevages 1, 4 et 5.

- hiver, entre le 7 décembre et le 1^{er} mars, avec des températures comprises entre 7 et 13°C pour la majorité des élevages, au cours du mois précédant la visite. Tous les élevages, exceptés les élevages 5, 13 et 14, ont connu des températures négatives au cours de la période.

- mi-saison, entre le 15 et le 22 novembre et entre le 10 mars et le 17 mai, avec des températures comprises entre 7 et 18°C pour la plus grande partie des élevages, au cours du mois précédant la visite. Les élevages 1, 15 et 16 ont connu des températures particulièrement élevées par rapport aux autres élevages sur cette période, dépassant parfois les 29°C. Au contraire, les élevages 7, 10 et 11 ont eu des températures négatives certaines nuits (d'après *weatherspark.com*).

La première visite en élevage débutait par un temps d'échange avec l'éleveur, permettant de récolter des informations concernant l'organisation de l'élevage et la conduite en bande, ainsi qu'une visite et le relevé des principaux paramètres des bâtiments d'élevage.

L'observation des animaux était alors faite dans un second temps et se déroulait ensuite de la même façon à chaque visite, en maternité, en salle de post-sevrage et en salle d'engraissement. Les paramètres d'ambiance ont été collectés pour chaque catégorie d'animaux. La température des salles a été mesurée avec un thermomètre d'ambiance ou en regardant les températures sur les programmeurs présents à l'entrée des salles. De même, l'hygrométrie a été mesurée ou relevée via les sondes présentes dans l'élevage. La teneur en ammoniac a été appréciée par les observateurs lors des visites et l'odeur a été qualifiée de « saine », « neutre » ou « dérangeante ». La présence de fenêtre et/ou de lumière artificielle a été notée et l'éclairage a été évalué (de « très clair » à « très sombre »). L'ambiance sonore et le type de sol ont également été relevés (cf Annexe 3).

2.1.3.1 Observation des animaux en maternité

A chaque visite, dans chaque élevage, dix cases ont été choisies de manière aléatoire par les collègues comportementalistes de l'UMR Pegase de Rennes et observées en maternité. Le choix des cases a été fait selon les dates de mises bas des truies de telle sorte à avoir des portées avec des

dates de mises-bas les plus proches possibles et que les porcelets aient entre une et deux semaines d'âge.

La configuration des cases a été notée, notamment en ce qui concerne la surface, l'accès à l'eau et à l'aliment et la propreté. Les informations concernant la mise-bas et la portée ont également été relevées : date de naissance, nombre de mort-nés, de nés-vivants et de porcelets vivants le jour de la visite (cf Annexe 3).

L'état de santé des truies et des porcelets a été évalué pour chaque case observée, notamment via le relevé des signes cliniques et le *scoring* des blessures corporelles.

2.1.3.1.1 Observation des truies

La note d'état corporelle et la propreté de chaque truie a été estimée et notée. Les signes de maladies ont été recherchés, notamment la présence de lésions cutanées, de boiterie, de signes de diarrhée et l'état des mamelles a été apprécié. Les lésions cutanées ont été scorées d'après la grille descriptive de *Calderon Diaz et al.* et les lésions de la queue ont été notées à l'aide la grille descriptive de *Carroll et al* (cf Annexe 4).

2.1.3.1.2 Observation des porcelets

Le comportement des porcelets a été évalué : le nombre de porcelets dormant, tétant ou jouant a été noté. La présence de signes cliniques a été recherchée tels que de l'abattement, des boiteries, de la toux, des diarrhées, des hernies ainsi que d'éventuelles blessures ou lésions cutanées. L'état d'engraissement des animaux a été également globalement évalué ainsi que l'hétérogénéité éventuelle des portées. Les lésions cutanées et de la queue ont également été scorées selon les grilles évoquées précédemment.

2.1.3.2 Observation des animaux en post-sevrage et en engraissement

Le nombre d'animaux par case a été relevé ainsi que la surface des cases, les enrichissements présents, l'accès à l'eau et à l'aliment. La propreté des cases a été évaluée ainsi que la présence de signes cliniques tels que des boiteries, de la toux, des diarrhées ou d'éventuelles blessures ou lésions cutanées. Les lésions cutanées et de la queue ont été scorées à l'aide des grilles de notation (cf Annexe 4).

2.1.3.3 Prélèvements

Les prélèvements ont ensuite été effectués sur un maximum de 25 porcs en post-sevrage et de 25 porcs en engraissement (généralement au moins 20 prélèvements par stade). Ils ont été réalisés sans aucune contention des animaux, éventuellement en les attirant avec du jus de pommes distribué à la seringue. Les poils ont été tondus sur un petit carré de 3 cm de côté environ au niveau de la nuque et ont été stockés dans des enveloppes papier fermées et identifiées, à température ambiante jusqu'à extraction. Les soies pouvaient ainsi être stockées plusieurs mois avant le dosage du cortisol pilaire.

Comme vu précédemment, l'incorporation du cortisol pilaire dépend directement du nombre de follicules en phase anagène, de la saison de prélèvement et de l'âge des animaux prélevés. Ce sont donc des facteurs essentiels à prendre en compte dans notre étude. De plus, afin de limiter ces facteurs et leur influence sur les résultats obtenus, des précautions étaient prises lors de l'échantillonnage. Ainsi, nous prélevions des animaux du même groupe d'âge et sur une même région du corps.

2.1.4 Dosage du cortisol pilaire

Le protocole utilisé est adapté du protocole proposé par Heimbürge et ses collaborateurs (Heimbürge *et al.* 2020).

Lavage :

La première étape a consisté en un lavage des soies. Chaque échantillon a subi deux lavages sur roue, avec 5 mL d'isopropanol HPLC. Entre les deux lavages, le solvant a été retiré.

Séchage :

Les soies ont ensuite été déposées sur un disque de papier filtre disposé dans une boîte de Pétri et une étape de séchage dans un carton, à l'abri de la lumière et à température ambiante, a eu lieu pendant au moins 48h.

Pesée :

Les soies ont ensuite été découpées finement à l'aide de ciseaux. Entre 10 et 50 mg ont été placés dans un tube à fond rond de 2 mL.

Broyage :

Quatre billes de broyage acier inox de 3 mm ont été ajoutées dans chaque tube, les tubes ont ensuite été immergés pendant trente secondes dans de l'azote liquide afin de fragiliser les soies. Ils ont ensuite été placés dans un broyeur à billes et ont subi deux broyages successifs de 10 minutes à 30 Hz.

Extraction :

1,5 mL de méthanol HPLC ont été ajoutés dans chaque tube puis l'ensemble des tubes a été placé sur un agitateur de plaques à 800 rpm pendant 24h à température ambiante et à l'abri de la lumière.

Concentration :

Après 24h d'agitation, les tubes ont été centrifugés à 1500g pendant 5 minutes à température ambiante. Les billes ont été enlevées et une partie du surnageant (750µL) a été récupérée dans un tube de 1,5 mL. Les tubes ont été placés dans un concentrateur sous vide à 45°C pendant 70 minutes afin d'évaporer le surnageant restant. L'absence de liquide a été vérifiée puis les échantillons ont été stockés à -80°C jusqu'au dosage.

Remise en suspension et dosage :

Les échantillons de soies congelés ont été remis en suspension dans 140µL de PBS. La concentration de cortisol dans chaque échantillon a ensuite été déterminée grâce à un ELISA compétitif (Cortisol ELISA DEH3388, Demeditec Diagnostics GmbH, Kiel, Germany, cf Figure 9).

Les échantillons ont été déposés dans des puits de microtitration recouverts d'anticorps polyclonaux de lapin (anticorps de capture) dirigés contre le cortisol et ont été mis à agiter 1h avec 50µL de conjugué enzymatique (cortisol conjugué à la peroxydase de raifort) par puit. Le cortisol endogène de l'échantillon est ensuite entré en compétition avec le conjugué enzymatique pour se lier à l'anticorps de capture.

Les puits ont ensuite été rincés deux fois avec une solution de rinçage. Cette étape a permis l'élimination de tous les antigènes non liés.

Les échantillons ont ensuite été incubés à l'obscurité entre 30 minutes et 1h avec 200µL de substrat chromogène (tétraméthylbenzidine). L'avancée de la réaction a été suivie par la mesure de l'absorbance à 350 nm, avec un lecteur de plaque de microtitration. Une fois que l'absorbance mesurée a dépassé à 1,4, la réaction a été stoppée avec 50µL de solution de stoppage (une solution tampon d'acide 2N hydrochloride) par puits, puis l'absorbance entre 450 nm et 595 nm de chaque puit a été mesurée, dans les 15 minutes suivant l'arrêt de la réaction. La mesure de l'absorbance à 595 nm a permis de s'affranchir des bruits de fond (poussières et contamination) qui pouvaient modifier les concentrations en cortisol obtenues.

Finalement, l'intensité de la couleur formée et donc l'absorbance mesurée étaient inversement proportionnelles à la concentration de cortisol dans l'échantillon. Les valeurs d'absorbance mesurées permettaient de quantifier les concentrations en cortisol par rapport à une courbe étalon. Enfin, les concentrations de cortisol calculées en ng étaient rapportées à la quantité de soies en mg.

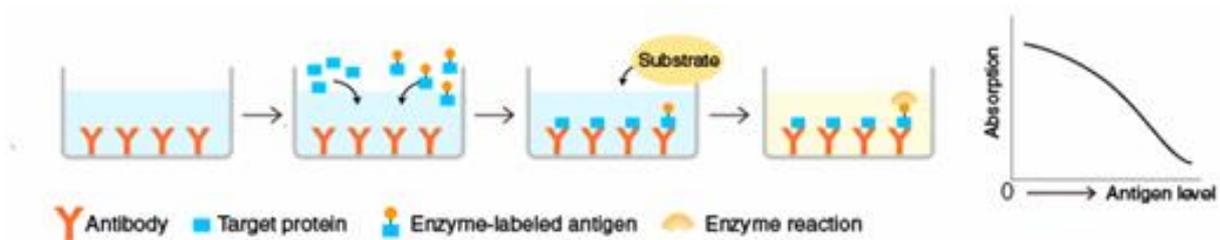


Figure 9 : Principe de l'ELISA compétitif (d'après <https://ruo.mbl.co.jp/bio/e/support/method/elisa.html>)

2.1.5 Traitement des données

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R (version R 4.3.2, RStudio). Le modèle utilisé était un modèle linéaire à effets mixtes qui repose sur la fonction lme4 du package « lmer ». Le modèle linéaire a été validé avec un test de Shapiro. Trois effets fixes ont été testés : la saison (hiver, été ou mi-saison), le stade (post-sevrage ou engraissement) et le type d'élevage (conventionnel ou avec courette). L'élevage a été ajouté comme un facteur aléatoire et la concentration en cortisol pileire (CCP) était la variable étudiée. L'effet de la saison, du stade et du type d'élevage sur la CCP ainsi que les éventuelles interactions entre ces paramètres ont été analysés *via* une ANOVA.

Les résultats représentés sur les graphiques sont les moyennes des moindres carrées (emmeans) et les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 95% (upper et lower classes).

2.2 Résultats

2.2.1 Échantillons prélevés

Au total, 1856 échantillons ont été dosés correspondant à 20 élevages, parmi lesquels 966 échantillons prélevés sur des porcs en post-sevrage et 890 sur des porcs en engraissement. Sur ces 1856 échantillons, 1206 provenaient d'élevages conventionnels contre 650 pour les élevages avec courettes. A chaque visite et pour chaque stade, entre 192 et 359 dosages ont été effectués.

2.2.2 Conduite d'élevage

2.2.2.1 En maternité

Le tableau II résume les caractéristiques de la conduite d'élevage en maternité dans les différents élevages étudiés.

Tableau II : Caractéristiques de la conduite d'élevage en maternité dans les différents élevages étudiés

Élevage	Organisation	Sol	Chauffage pour les porcelets	Alimentation des truies	Enrichissement
E1	1 salle de 30 cases 3 cases extérieures	Litière profonde	Nids chauffés	Eau et soupe a priori à volonté	Paille
E2	2 salles : 12 places avec courettes et 24 places sans courettes	Béton et paille	Nids chauffés	Eau et soupe	Paille
E3		Caillebotis béton et paille	Nids chauffés	Non renseigné	Paille
E4	18 cases	Caillebotis béton	Lampe chauffante	Soupe	Jute et corde
E5	16 cases	Caillebotis béton	Nids chauffés	Eau et soupe	/
E6	16 cases	Caillebotis béton et paille	Nids chauffés	Eau et soupe	Paille
E7	2 salles de 16 cases	Caillebotis plastique	Tapis + lampe chauffante	Eau et soupe	Toile de jute
E8	24 cases	Caillebotis plastique	Sol chauffant	Eau et soupe	/
E9	18 cases	Caillebotis plastique	Tapis + lampe chauffante	Soupe rationnée	Bois
E10	2 salles	Caillebotis plastique	Nids chauffés	Eau et soupe	/
E11	1 salle de 12 cases	Caillebotis plastique	Lampe chauffante	Eau et soupe	/
E12	2 salles de 12 cases	Caillebotis béton et paille	Nids chauffés	Eau Aliment rationné	Paille
E13	11 places	Caillebotis plastique	Lampe chauffante et tapis	Accès eau et soupe	/
E14	14 cases	Caillebotis béton et paille	Pas de nids	Eau et farine à volonté	Paille
E15		Caillebotis plastique	Pas de nids	Eau 2 repas par jour	/
E16	12 places (2x6 cases)	Caillebotis béton et paille	Nids chauffés	Eau à volonté Soupe	Paille
E17	14 places	Caillebotis plastique	Lampes chauffantes à la naissance	Accès eau et soupe	Jouet
E18	2 salles de 26 cases	Caillebotis plastique	Pas de nids	Eau à volonté et miettes	Chaîne
E19	2 salles de 7 cases	Caillebotis béton et paille	Nids chauffés	Eau à volonté Farine 2 repas	Paille
E20	1 salle de 32 cases	Caillebotis plastique	Tapis et lampe chauffante	Eau et farine 2 repas par jour	/

Une source de chaleur était disponible pour les porcelets de type nids chauffés, lampe ou tapis chauffants sauf dans trois élevages (dont deux conventionnels).

Des enrichissements étaient à disposition des truies, que ce soit de la paille pour les élevages avec courettes ou des matériaux à mâcher (corde, toile de jute, bois) pour les élevages conventionnels.

Le tableau III résume l'ensemble des pratiques génératrices de stress en maternité dans les différents élevages étudiés.

Tableau III : Pratiques génératrices de stress en maternité dans les différents élevages étudiés

Elevage	Soins aux porcelets	Claustration des truies	Socialisation précoce des porcelets	Age au sevrage (en jours)
E1	Meulage des dents Castration	Certaines truies (pendant 7 jours)	Dès la naissance	42
E2	Meulage des dents Castration	Non	Dès 6 jours	42
E3	Meulage des dents Castration Coupe des queues	Non	Non	42
E4	Castration	Oui (jusqu'au sevrage)	Oui	28
E5	Meulage des dents Castration Coupe des queues	Oui (jusqu'au sevrage)	Dès 14 jours	28
E6	Castration	Certaines truies (pendant 5 jours)	Dès 5 jours	42
E7	Meulage des dents Castration Caudectomie	Oui (jusqu'au sevrage)	Dès 10 jours	28
E8	Caudectomie (sauf 1 porcelet par case)	Oui (pendant 7 jours)	Non	28
E9	Castration Caudectomie (75% des animaux)	Oui (jusqu'au sevrage)	Non	28
E10	Meulage des dents Caudectomie	Oui	Non	28
E11	Castration	Oui	Non	Non renseigné
E12	/	Pendant 7 à 10 jours	Non	42
E13	Caudectomie Meulage des dents au besoin	Oui	Non	28
E14	Castration	Non	Non	42
E15	Caudectomie (sauf quelques animaux) Castration Meulage des dents (si grandes portées)	Oui	Non	28
E16	Castration	Pendant 15 jours	Dès 10 jours	42
E17	Meulage des dents Castration Caudectomie	Oui	Non	28 (21 pour les cochettes)
E18	Caudectomie Meulage des dents	Oui	Non	28
E19	Castration	Non	Oui	42
E20	Meulage des dents Caudectomie	Oui	Non	21

La plupart des truies étaient bloquées, au minimum la semaine suivant la mise-bas et jusqu'au sevrage dans certains élevages. Les truies étaient en liberté dans les élevages 2, 3, 14 et 19, qui sont tous des élevages avec courettes.

Les principaux soins aux porcelets étaient la caudectomie, le meulage des dents et la castration. Conformément au cahier des charges de l'élevage de porcs en agriculture biologique, la caudectomie n'était pas pratiquée dans les élevages certifiés AB (1, 2, 12, 14, 16 et 19). Cette pratique était également absente dans les élevages 6 et 11 et partielle dans les élevages 8, 9 et 15 où quelques porcelets étaient gardés avec des queues longues.

Le sevrage avait lieu à 28 pour les élevages conventionnels et à 42 jours pour tous les élevages biologiques inclus dans l'étude.

Dans près d'un tiers des élevages (1, 2, 4, 5, 6, 7, 16, 19), une socialisation précoce des porcelets en maternité avait lieu avant le sevrage.

2.2.2.2 En post-sevrage

Le tableau IV résume les caractéristiques de la conduite d'élevage en post-sevrage dans les différents élevages étudiés.

Tableau IV : Caractéristiques de la conduite d'élevage en post-sevrage dans les différents élevages étudiés

Élevage	Organisation	Sol	Tri des animaux	Alimentation	Enrichissement
E1	1 salle de 2 cases	Litière profonde		Eau et grain à volonté	Paille
E2	1 salle	Litière profonde		Eau et granulé à volonté	Paille
E3	17 cases	Béton	Par sexe	A volonté	Paille
E4	3 salles	Caillebotis béton		Eau et granulé à volonté	Chaînes +/- corde
E5	2 salles de 8 cases	Caillebotis béton	Par sexe et poids	Eau et granulé à volonté	Chaîne
E6	1 salle de 6 cases	Paille	Par poids	Eau et granulé à volonté	Paille
E7	12 cases par salle	Caillebotis béton	Par sexe	Eau et granulé rationné	Chaînette +/- bois
E8	6 cases par salle	Caillebotis béton	Par poids	Eau et granulé à volonté	Bois et chaînette ou mâchonna, toile de jute et jouet en bois
E9	16 cases par salle	Caillebotis plastique	Par poids	Eau et aliment rationné	2 chaînes + disque
E10	2 salles	Caillebotis plastique	Par poids et sexe	Eau et granulé	Chaîne, niche ou balle
E11	8 cases	Caillebotis béton		Eau et aliment sec à volonté	2 chaînes
E12		Litière profonde	Par poids	Soupe	Paille
E13	3 salles de 80 places	Caillebotis béton et paille		Eau et granulé à volonté	Paille
E14	3 salles de 2 cases	Caillebotis béton et paille	Par poids	Eau et farine à volonté	Paille + bois
E15	10 cases par salle	Caillebotis béton	Par poids	Eau et granulés à volonté	Chaîne + disque
E16	2 cases avec niches	Litière accumulée		Maïs et granulé à volonté	Paille
E17	6 cases par salle	Caillebotis plastique	Mêmes cases qu'en maternité	Eau et granulés à volonté	Jouet à mâchouiller + chaîne
E18	2 salles de 8 cases	Caillebotis plastique	Par sexe	Eau et granulés à volonté	Chaîne + disque
E19	2 cases de 45 places + 1 niche	Caillebotis béton et paille	Par poids	Eau et aliment sec à volonté	Paille
E20	2 salles de 10 cases	Caillebotis béton ou plastique	Par sexe et poids	Eau et aliment sec à volonté	Chaîne + disque

L'allotement en post-sevrage se faisait principalement par poids et/ou sexe. Les animaux prélevés en post-sevrage avaient des âges compris entre 4 et 12 semaines, la majorité des animaux étant âgés entre 8 et 11 semaines. Le sol était constitué principalement de caillebotis intégral, béton

ou plastique, recouvert de paille pour tous les élevages avec courettes et pour un élevage conventionnel (13). D'autres enrichissements étaient présents pour les élevages ne proposant pas de paille tels que des chaînes ou du bois.

2.2.2.3 En engraissement

Le tableau V rassemble les caractéristiques de la conduite d'élevage en engraissement dans les différents élevages étudiés.

Tableau V : Caractéristiques de la conduite d'élevage en engraissement dans les différents élevages étudiés

Elevage	Organisation	Sol	Tri des animaux	Alimentation	Enrichissement
E1	1 salle de 16 cases	Litière profonde	-	Aliment sec à volonté	Paille
E2	3 bâtiments	Litière profonde	-	Eau et granulés rationnés	Paille
E3	18 cases	Caillebotis béton et paille	-	A volonté	Paille
E4		Caillebotis béton	Mêmes groupes qu'en PS	Eau et aliment à volonté	Chaînes +/- corde + jouet
E5	1 salle de 10 cases	Caillebotis béton	Mêmes groupes qu'en PS	Eau et soupe rationnée	Bois ou chaîne + boule
E6	12 cases	Litière profonde	-	Aliment rationné	Paille
E7		Caillebotis béton et paille	Par poids	Pas d'accès à l'eau Soupe (10 repas)	Paille
E8		Caillebotis béton	-	Eau Soupe rationnée	Bois + chaîne + jouet
E9		Litière accumulée	-	Eau et soupe	Paille
E10	2 sites 4 cases par salle	Caillebotis béton	Par sexe	Eau et soupe	Boule + chaîne
E11	Salle de 8 cases	Caillebotis béton	-	Eau et soupe	Chaîne + balle
E12	12 cases	Caillebotis béton et paille	Par sexe	Eau et soupe rationnée	Paille
E13	3,5 salles de 10 cases	Caillebotis béton	-	Eau et granulés rationnés	Chaîne
E14		Caillebotis béton et paille	-	Eau et farine à volonté	Paille
E15	Salles de 12 cases	Caillebotis béton	Mêmes groupes qu'en PS	Eau et grain rationné	Chaîne
E16	10 cases	Caillebotis béton et paille Niche avec paille	Mêmes groupes qu'en PS	Eau et soupe rationnée	Paille
E17	2 sites	Caillebotis béton	-	Eau et granulés rationnés	Chaîne avec boule + chaîne
E18		Caillebotis béton	Par sexe	Eau et soupe rationnée	Chaîne
E19	2 bâtiments 9 cases	Caillebotis béton et plastique	-	Non renseigné	Paille
E20	2 salles de 10 cases	Litière profonde	Mêmes groupes qu'en PS	Eau et farine à volonté	Paille

Les animaux prélevés en engraissement étaient âgés d'environ 6 mois (entre 90 et 190j) et étaient majoritairement élevés sur caillebotis béton, recouvert de paille pour tous les élevages avec courettes et pour trois élevages conventionnels (7, 9 et 20). D'autres enrichissements de type chaîne, bois ou boule étaient présents, conformément à la réglementation, dans les élevages sans paille.

2.2.3 Paramètres d'ambiance

2.2.3.1 En maternité

L'ambiance en maternité était calme, avec un niveau sonore souvent bas. Dans certains élevages, la radio était allumée pour couvrir le bruit de la ventilation. L'odeur a principalement été jugée neutre ou saine, elle a été notée dérangeante dans six élevages conventionnels (9, 10, 11, 17, 18, 20).

2.2.3.2 En post-sevrage

L'ambiance sonore était calme en post-sevrage, excepté pour les élevages 7 et 20. L'odeur a été jugée neutre pour la moitié des élevages ou dérangeante pour l'autre moitié (dont 9 élevages conventionnels). La luminosité a été qualifiée de moyennement claire à sombre, sauf pour les élevages 5, 6 et 13 où elle a été notée très claire.

2.2.3.3 En engraissement

L'ambiance était globalement calme en engraissement, elle était plus animée dans les élevages conventionnels, en particulier dans les élevages 5, 7, 8 et 13. L'odeur a été jugée neutre ou dérangeante dans la plupart des élevages et saine pour l'élevage 3, qui est un élevage avec courettes et paille. La luminosité a été jugée moyennement à peu claire, elle était très sombre dans l'élevage 13.

2.2.4 Paramètres de santé et de comportement

2.2.4.1 En maternité

Quelques stéréotypies ont été notées chez les truies observées, caractérisées principalement par du mâchonnement, dans les élevages 2 et 3. Les principales lésions observées étaient cutanées (principalement escarres et griffures), essentiellement sur les truies claustrées, ou intéressant les mamelles (mamelles rouges, gonflées ou griffées). Des troubles respiratoires, se manifestant par de la toux, de l'essoufflement, de la polypnée voire de la dyspnée ont été observés dans les élevages 1, 4, 5, 7 et 20, principalement en été. Dans les élevages 1, 6, 8, 11 et 12, des diarrhées ont été observées sur certaines truies (principalement en été).

Des lésions cutanées, essentiellement au niveau de la face et des oreilles, étaient présentes chez les porcelets dans la moitié des élevages étudiés. L'élevage 13 a été touché par une épidémie de diarrhée au moment des visites d'hiver et d'été. Des épisodes de diarrhées touchaient également certains porcelets dans les élevages 2, 5, 8 et 14 (en été principalement). Quelques porcelets présentaient des boiteries ou des hernies.

2.2.4.2 En post-sevrage

Le tableau VI résume les paramètres de santé en post-sevrage dans les différents élevages étudiés.

Tableau VI : Paramètres de santé en post-sevrage dans les différents élevages étudiés

Elevage	Eté			Mi-saison			Hiver		
	Troubles respiratoires	Troubles digestifs	Atteintes cutanées	Troubles respiratoires	Troubles digestifs	Atteintes cutanées	Troubles respiratoires	Troubles digestifs	Atteintes cutanées
E1	+	-	+ 1 lésion score 3/4	-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E3	-	-	-	-	-	++ Oreilles Queues scores 2/3 voire 4	-	+	++ Queues
E4	-	-	-	+	-	+ Griffures scores 2/3 voire 4	-	-	+ Griffures score 1/2 voire 3
E5	+	+	+++	-	-	+ Griffures score 1	+	-	+ Griffures score 1 à 2
E6	-	++	-	-	-	-	-	-	-
E7	+	-	+ Griffures	++	-	+ Queues score 4 Oreilles	+	+	+ Queues score 4 Lésions scores 1/3
E8	+	-	+ Lésions score 1	+	-	+ Griffures scores 2/3 + 1 queue score 4	-	-	-
E9	-	-	+++ Nécrose d'oreilles	-	-	+ Queues score 4 +++ Griffures scores 2/3	-	-	+ Oreilles
E10	-	-	+ Lésions scores 2 et 3/4	+	-	-	++	-	++ Griffures, queues scores 1/2
E11	-	-	++	-	-	+ Griffures	+	-	+ Queues score 3

			Queues score 1 Griffures						
E12	++	-	-	+	-	-			
E13	++	-	+++ Griffures scores 2/3 + Queues	-	-	++ Griffures	++	-	-
E14	-	-	-	+	-	-	-	+	+ Lésions score 2
E15				-	-	+ Queues score 1 +++ Nécrose d'oreilles	++	-	+ Queues score 4
E16				+	-	++ Lésions score 2/3	-	-	-
E17				-	-	++ Griffures ++ Queues scores 2	-	-	++ Griffures ++ Queues scores 3/4
E18				+	-	-	-	-	+++ Griffures score 1
E19				-	-	-	-	-	-
E20				++	+	++ Flancs et oreilles score 2	++	-	+++ Griffures ++ Queues + Nécrose d'oreilles

- : absence de signes d'atteintes respiratoires/digestives/cutanées

+ : signes discrets d'atteintes respiratoires/digestives (une ou deux manifestations sur la période de visite) ou signes d'atteintes cutanées concernant moins de 20% des animaux

++ : signes marqués d'atteintes respiratoires/digestives (plus de deux manifestations sur la période de visite) ou signes d'atteintes cutanées concernant entre 25 et 75 % des animaux

+++ : signes d'atteintes cutanées concernant plus de 75% des animaux

Des épisodes de caudophagie, caractérisés par des lésions de score 2 à 4 sur un grand nombre d'animaux, dans une ou plusieurs cases ont été détectés dans plusieurs élevages (3, 10, 11, 17 et 20). Quelques lésions de caudophagie étaient également présentes dans un certain nombre d'élevages, notamment conventionnels (7, 8, 9, 13 et 15). D'autres lésions cutanées, notamment griffures et lésions des oreilles ont été retrouvées dans la majorité des élevages, en particulier dans les élevages 9 et 15 où un épisode de nécrose d'oreilles concernait jusqu'à 90% des animaux, respectivement lors de la visite d'été et de mi-saison.

Des atteintes respiratoires caractérisées par des éternuements, de la toux, de la polypnée voire de la dyspnée ont été détectées dans un certain nombre des élevages visités et à toutes les saisons. En hiver, des troubles respiratoires ont été retrouvés seulement dans les élevages en bâtiment. Toutes saisons confondues, aucun signe de troubles respiratoires n'a été noté dans les élevages 6, 9 et 19, trois élevages avec courettes.

Quelques diarrhées ont été observées ainsi que quelques cas de hernies (inguinale ou ombilicale) dans la moitié des élevages.

2.2.4.1 En engraissement

Le tableau VII résume les paramètres de santé en engraissement dans les différents élevages étudiés.

Tableau VII : Paramètres de santé en engraissement dans les différents élevages étudiés

Élevage	Eté			Mi-saison			Hiver		
	Troubles respiratoires	Troubles digestifs	Atteintes cutanées	Troubles respiratoires	Troubles digestifs	Atteintes cutanées	Troubles respiratoires	Troubles digestifs	Atteintes cutanées
E1	-	-	-	+	-	-	-	-	-
E2	-	+	-	-	-	-	-	-	+ Griffures
E3	-	-	-	++	-	+++ Cannibalisme	-	-	-
E4	+	-	++ Lésions face et oreilles	+	-	+++ Lésions queues	-	-	-
E5	-	-	+ Lésions score 2	-	+	+ 1 lésion score 4	-	-	+ Queues score 2/3
E6	+	-	-	-	-	-	+	-	-
E7	-	-	-	-	-	-	-	-	+ Griffures
E8	++	-	+++ Lésions score 1	-	-	+ Griffures scores 2/3	-	-	-
E9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E10	+	-	-	-	-	-	++	-	+ Griffures
E11	-	-	-	-	-	+ Lésions score 2	+	-	+ Lésions score 1
E12	++	-	-	++	-	-			
E13	-	-	-	-	-	+ 1 queue score 4	++	-	-
E14	-	-	+ 1 coup de soleil	+	-	-	+	-	++ Lésions score 1/2
E15				+	-	-	-	-	-
E16				+	-	-	+	-	+ Griffures score 1
E17				-	-	-	-	-	+ Lésions de queues
E18				-	-	-	+	-	+++ Griffures score 2
E19				++	-	-	-	-	-
E20				+	-	-	+	-	+ Queues score 1 Griffures score 2

- : absence de signes d'atteintes respiratoires/digestives/cutanées
- + : signes discrets d'atteintes respiratoires/digestives (une ou deux manifestations sur la période de visite) ou signes d'atteintes cutanées concernant moins de 20% des animaux
- ++ : signes marqués d'atteintes respiratoires/digestives (plusieurs manifestations sur la période de visite) ou signes d'atteintes cutanées concernant entre 25 et 75 % des animaux
- +++ : signes discrets d'atteintes cutanées concernant plus de 75% des animaux

Des comportements de monte ont été détectés dans les élevages 8, 11 et 13. Des stéréotypies (mâchonnage) ont été relevées dans l'élevage 2. Un épisode de cannibalisme touchait l'élevage 3 en hiver. Des lésions de caudophagie marquées ont été notées dans l'élevage 4 lors de la visite d'hiver. Quelques lésions de caudophagie ont également été mises en évidence dans les élevages 5, 13, 17 et 20. D'autres lésions cutanées, notamment griffures et lésions des oreilles ont été retrouvées dans la majorité des élevages. La présence de coups de soleil a été relevée en été dans l'élevage 14.

Quelques diarrhées ont été observées ainsi que des hernies (inguinale ou ombilicale) dans la moitié des élevages et quelques boiteries.

Des atteintes respiratoires caractérisées principalement par de la toux ont été relevées dans un certain nombre des élevages visités et particulièrement marquées dans les élevages 8, 12, 13 et 19. Parmi ces élevages, l'odeur a été jugée dérangeante dans trois d'entre eux. Aucun signe de troubles respiratoires n'a été noté dans les élevages 2, 5 et 7, 9 et 17.

On note que les troubles respiratoires concernaient aussi bien les porcs en post-sevrage que les porcs en fin d'engraissement. Les porcs élevés en bâtiment semblaient présenter davantage de signes d'atteintes respiratoires. Les atteintes cutanées marquées étaient davantage présentes en post-sevrage, notamment sur les porcs élevés en élevages conventionnels. Enfin, les troubles digestifs concernaient principalement les animaux en post-sevrage.

2.2.5 *Facteurs de variation du taux de cortisol pileaire*

2.2.5.1 Valeurs de CCP

Les CCP obtenues sont comprises entre 0,1 et 379,6 pg/mg, avec 50% des valeurs inférieures à 40,6 pg/mg. Les valeurs brutes des CCP par élevage, stade et saison sont disponibles en Annexe 1.

Tableau VIII : Paramètres descriptifs des concentrations en cortisol pileire (en pg/mg) selon les stades et les types d'élevages

Stade	Nombre de dosages	Type	Nombre de dosages	Emmeans [lower-upper]
PS	966	CV	622	53,6 [47,1-67,1]
		CO	344	39,2 [31,1-47,3]
ENG	890	CV	584	53,7 [47,1-60,2]
		CO	306	17,0 [9,8-26,1]

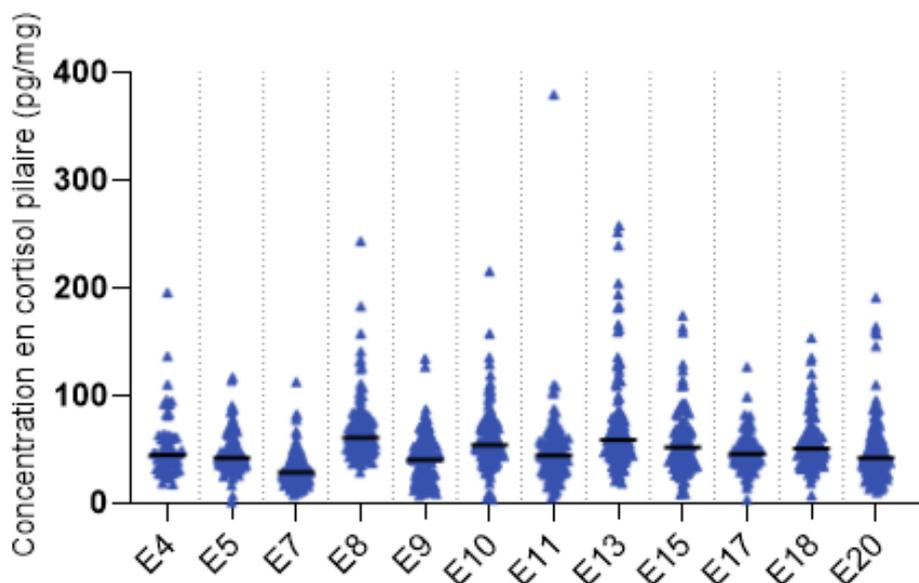


Figure 10 : Concentration en cortisol pileire (en pg/mg) dans les élevages conventionnels tous stades confondus (le trait noir représente la médiane pour chaque élevage)

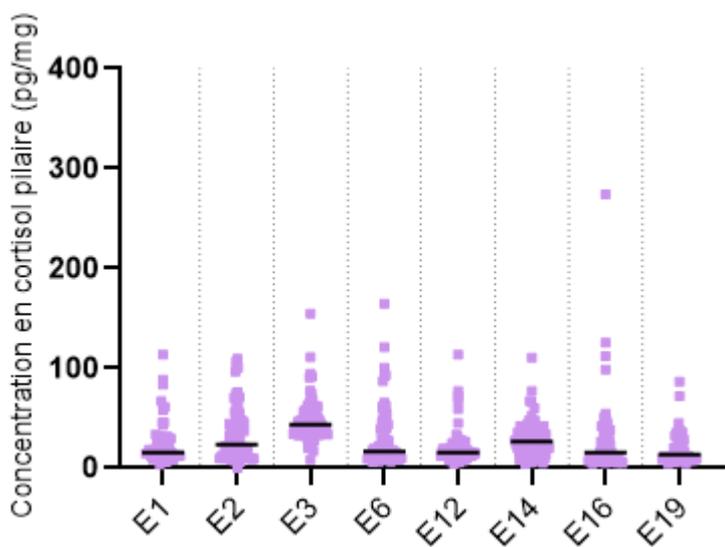


Figure 11 : Concentration en cortisol pileire (en pg/mg) dans les élevages avec courettes tous stades confondus (le trait noir représente la médiane pour chaque élevage)

Pour les porcs élevés en bâtiment (Tableau VIII et Figure 10), les CCP sont plutôt homogènes entre les élevages et au sein d'un élevage.

Les CCP des porcs ayant accès à des courettes extérieures sont plus hétérogènes entre les élevages (Tableau VIII et Figure 11). En particulier, les CCP dans l'élevage 3 sont bien supérieures à celles des autres élevages.

En post-sevrage, les CCP sont plutôt homogènes entre les élevages, indépendamment du type d'élevage, sauf pour les élevages 12 et 19, deux élevages avec courettes, qui présentent des CCP inférieures à celles des autres élevages (Figure 13). Au sein d'un élevage, les CCP sont aussi plutôt homogènes et regroupées autour de la médiane.

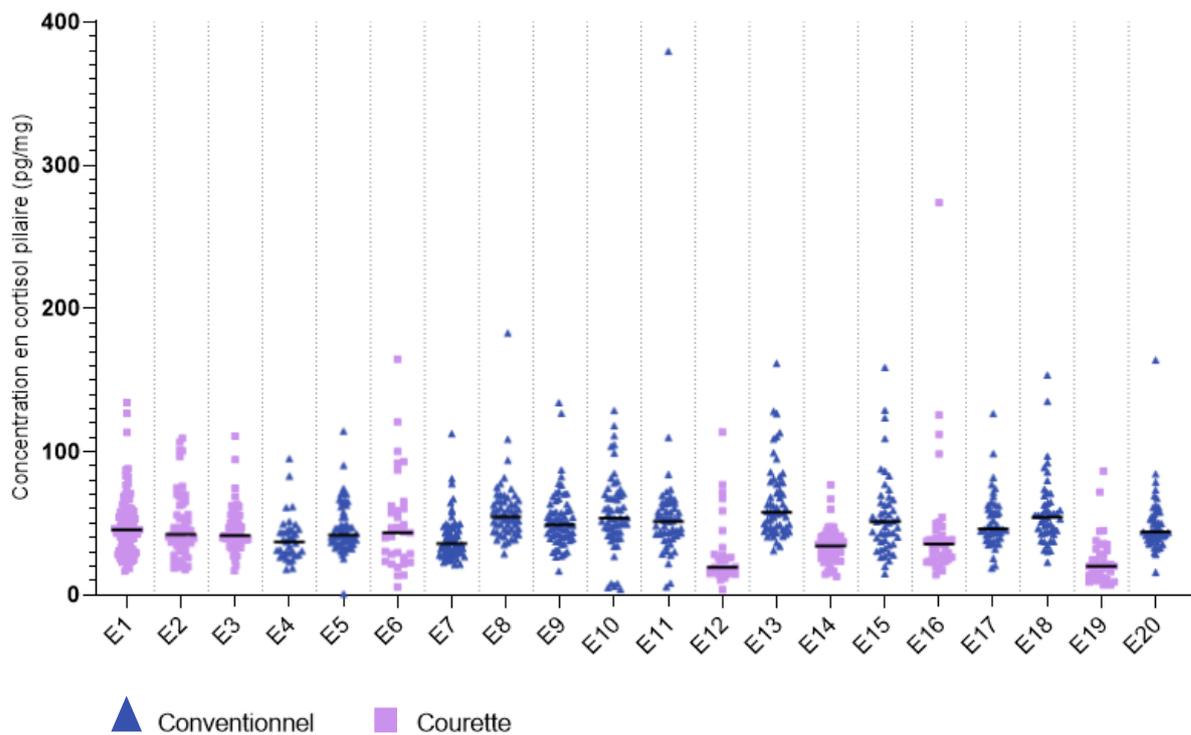


Figure 12 : Concentration en cortisol pileaire (en pg/mg) en post-sevrage dans les différents élevages (le trait noir représente la médiane pour chaque élevage)

En revanche, en engraissement, les CCP sont très hétérogènes entre les élevages et au sein des élevages, pour les élevages conventionnels et l'élevage 3 (Figure 13). Elles restent homogènes au sein des élevages avec courettes. Il convient de noter que les élevages 7 et 9, qui sont des élevages conventionnels, ont des CCP dont la médiane et la distribution se rapprochent de celles des élevages avec courettes.

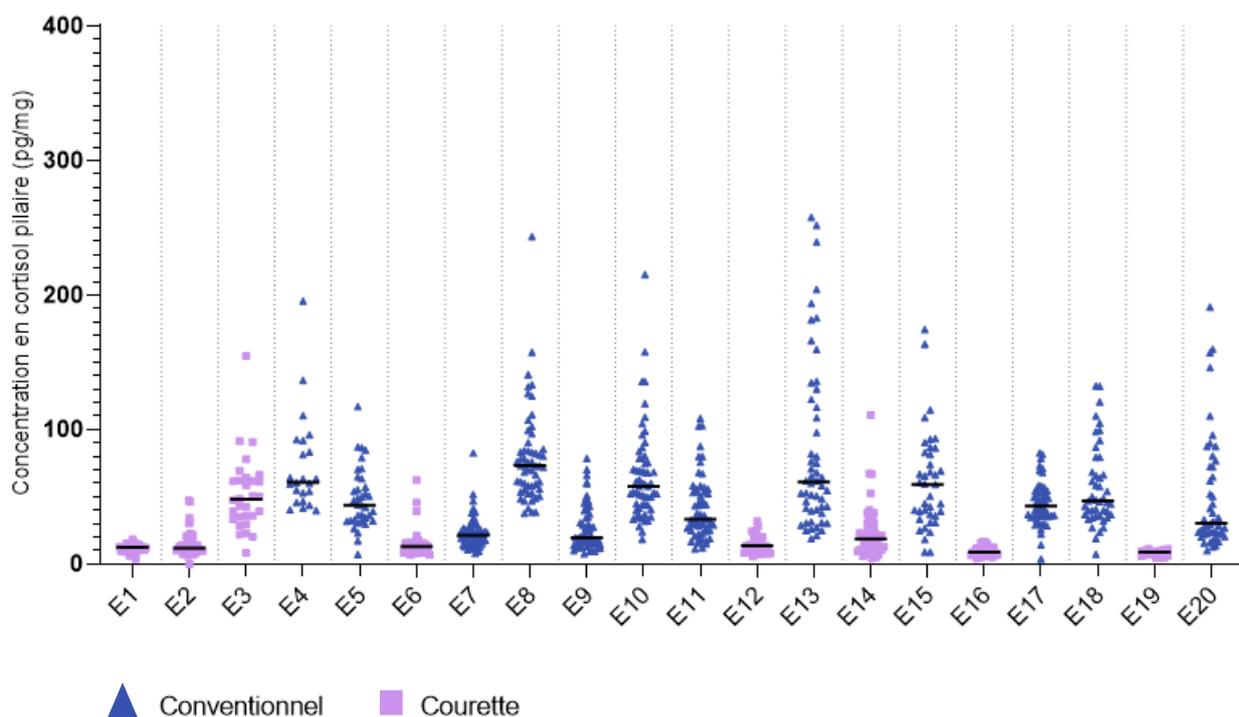


Figure 13 : Concentration en cortisol pileire (en pg/mg) en engraissement dans les différents élevages (le trait noir représente la médiane pour chaque élevage)

2.2.5.2 Effet de la saison

Les CCP varient significativement selon la saison ($p < 0,001$). Les CCP les plus faibles sont dosées à la mi-saison et les CCP les plus élevées sont dosées en hiver. Le type d'élevage n'influence pas la façon dont varient les CCP avec les saisons ($p=0,6$).

En revanche, la saison influence différemment les CCP selon le stade d'élevage. Ainsi, les animaux en post-sevrage présentent des CCP significativement supérieures en hiver par rapport à l'été ($p < 0,05$) et à la mi-saison ($p < 0,001$). Au contraire, les porcs en fin d'engraissement présentent des CCP significativement supérieures en été par rapport à l'hiver ($p < 0,001$) et à la mi-saison ($p < 0,001$) (Tableau IX).

Tableau IX : Paramètres descriptifs des concentrations en cortisol pileire (en pg/mg) selon les stades et les saisons

Saison	Eté		Mi-saison		Hiver	
	Emmeans [lower-upper]	Nombre	Emmeans [lower-upper]	Nombre	Emmeans [lower-upper]	Nombre
PS	45,3 [37,1-53,9]	257	44,0 [36,0-52,0]	351	52,2 [44,2-62,2]	358
ENG	50,7 [42,2-59,1]	191	36,9 [22,9-44,9]	356	37,9 [29,8-45,9]	343

2.2.5.3 Effet du type d'élevage

Le type d'élevage a un effet significatif sur les CCP ($p < 0,001$). Les porcs élevés en bâtiment présentent des CCP supérieures à celles des porcs ayant accès à l'extérieur ($p < 0,001$), et ce quelle que soit la saison observée ($p < 0,01$).

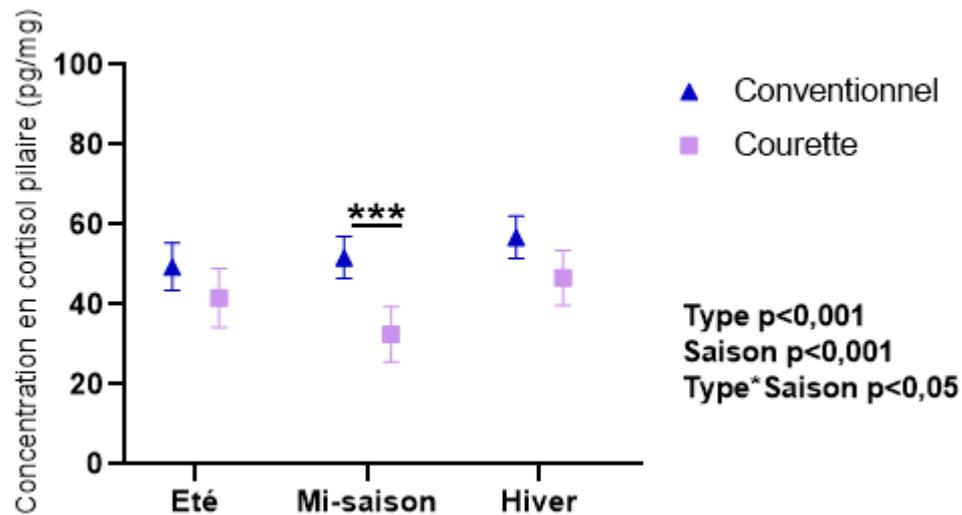


Figure 14 : Concentration en cortisol pileire (en pg/mg) en post-sevrage en fonction du type d'élevage et de la saison

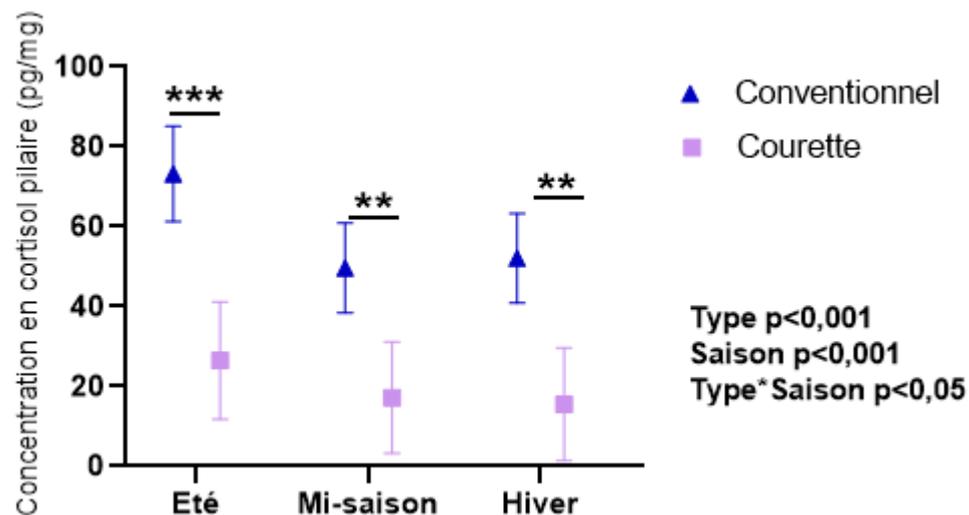


Figure 15 : Concentration en cortisol pileire (en pg/mg) en engraissement en fonction du type d'élevage et de la saison

L'effet du type d'élevage est présent quel que soit le stade physiologique (Figures 14 et 15). En post-sevrage, les CCP observées en élevages conventionnels sont significativement supérieures à celles observées dans les élevages avec courettes seulement pour la mi-saison ($p < 0,001$). En

engraissement, quelle que soit la saison observée, les CCP des animaux élevés en élevage conventionnel sont significativement supérieures à celles des animaux élevés dans les élevages avec courettes ($p < 0,01$).

Au sein des élevages conventionnels, on note deux types de sol en engraissement : de la paille ($n=3$) ou du caillebotis béton ($n=9$). Les CCP des animaux élevés sur caillebotis sont supérieures aux CCP des animaux élevés sur paille (respectivement 61,9 pg/mg [51,0-72,8] vs 33,5 pg/mg [14,8-52,1], $p < 0,01$).

2.2.5.4 Effet du stade d'élevage

Le stade d'élevage influence significativement les CCP ($p < 0,001$) (Figure 16). Les porcs en post-sevrage ont des CCP supérieures aux CCP observées en engraissement, excepté en été ($p=0,1$).

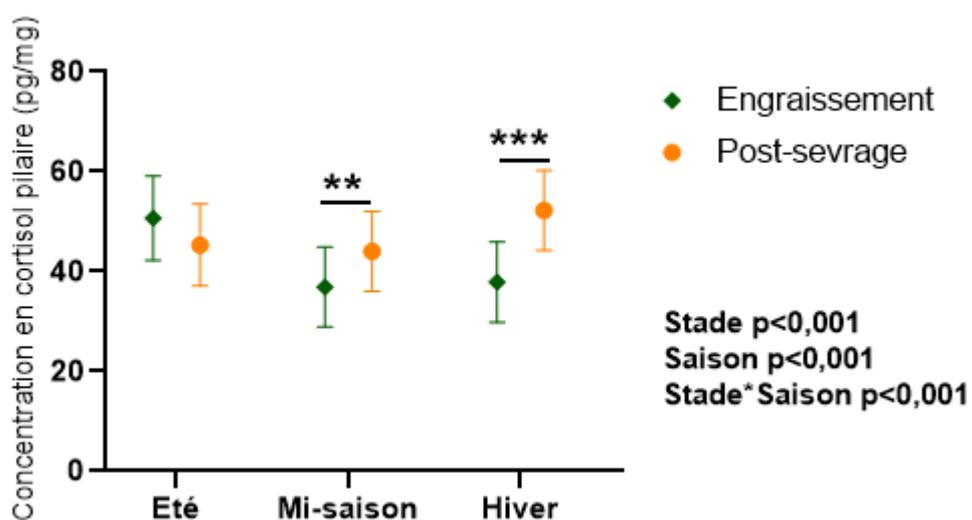


Figure 16 : Concentration en cortisol pileire (en pg/mg) en fonction du stade d'élevage et de la saison

On retrouve cet effet du stade seulement pour les élevages avec courettes ($p < 0,001$) (Figure 17).

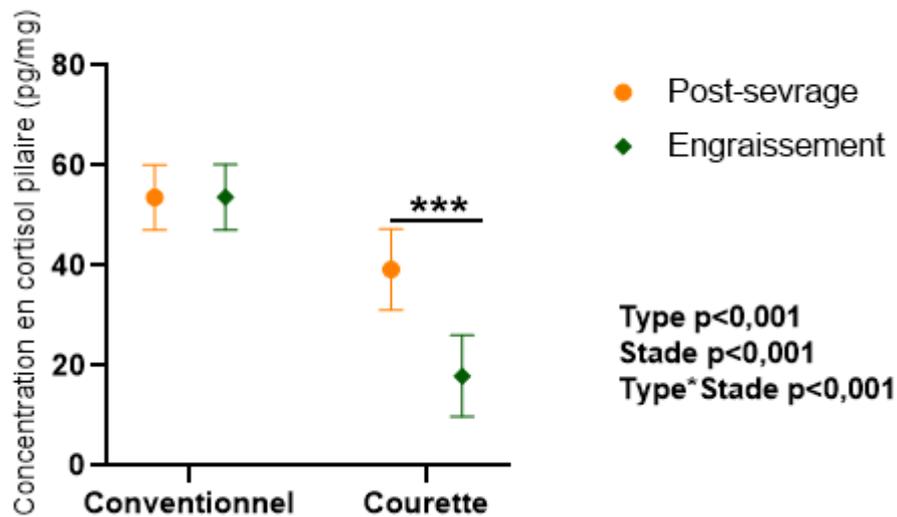


Figure 17 : Concentration en cortisol pileire (en pg/mg) en fonction du type et du stade d'élevage

Ainsi, nous avons mis en évidence un effet significatif de la saison, du type d'élevage et du stade physiologique sur les concentrations en cortisol pileire. Les porcs élevés en bâtiment présentent des CCP supérieures aux porcs ayant accès à l'extérieur. Parmi les porcs élevés en bâtiment, on note des CCP inférieures chez les porcs disposant de paille. Enfin, les CCP des porcs en fin d'engraissement sont significativement inférieures aux CCP des porcs dans les élevages avec courettes.

2.3 Discussion

2.3.1 Biais de l'étude

Animaux prélevés

Les prélèvements de soies sur les porcs ont été effectués quasiment exclusivement sans contention, ainsi les animaux les plus curieux et les moins peureux sont prélevés. On peut raisonnablement penser que ce sont aussi les animaux les moins stressés et donc ceux avec les valeurs de CCP les plus basses, ce qui entrainerait une sous-estimation des CCP dans notre étude. Les prélèvements étant réalisés de façon similaire pour toutes les visites, on peut néanmoins estimer que ce biais se retrouve pour toutes les valeurs de CCP et ne fausse donc pas les différences significatives obtenues.

De plus, les élevages conventionnels sont sur-représentés (n=12), par rapport aux élevages avec courettes (n=8). Presque deux fois plus d'échantillons ont été analysés dans les élevages conventionnels par rapport aux élevages avec courettes. L'analyse des prochains échantillons de l'étude est donc importante pour tirer des conclusions définitives.

Relevés des paramètres en élevage

Le relevé des paramètres d'ambiance et de santé a été réalisé par différents opérateurs, à partir de fiches spécifiques (cf Annexe 2). Les paramètres relevés sont ainsi soumis à la subjectivité de chaque opérateur. Néanmoins, deux personnes étaient présentes à chaque visite pour essayer de limiter cet effet et les trois visites pour chaque élevage ont permis de lisser les différences obtenues entre les visites.

De plus, les paramètres d'ambiance relevés peuvent être reliés aux valeurs de CCP. En effet, en engraissement, les CCP les plus élevées sont présentes dans les élevages 8, 10, 13 et 15, quatre élevages conventionnels où l'odeur a été jugée dérangeante, l'éclairage sombre (E13) et l'ambiance bruyante (E8). De même, en post-sevrage, les CCP les plus basses sont observées dans les élevages 12 et 19 où l'odeur a été jugée saine, l'éclairage moyennement clair et l'ambiance calme. D'autres paramètres sont néanmoins à prendre en compte, en effet ces deux élevages offrent notamment des courettes et de la paille aux porcs, qui influent également les CCP.

2.3.2 Conduites d'élevage et paramètres de santé

Pour les animaux en post-sevrage, les valeurs de CCP sont globalement homogènes, quel que soit le type d'élevage. On note cependant des valeurs de CCP plus faibles dans les élevages 12 et 19, deux élevages avec courettes, sans caudectomie, où les animaux disposent de paille et où le sevrage est plus tardif, à 42 jours.

Pour les animaux en engraissement, on note que les valeurs de CCP au sein d'un élevage sont plus hétérogènes pour les élevages conventionnels que pour les élevages avec courettes. Ces résultats sont en accord avec ceux de Levallois *et al.*, qui mettent en évidence un lien entre CCP diminuées et variabilité des CCP au sein d'un lot plus faible, notamment dans des élevages avec sevrage plus tardif à 42 jours et accès à l'extérieur.

Les élevages 7 et 9 constituent une exception, il s'agit d'élevages conventionnels dont la répartition des valeurs de CCP est assez homogène et relativement comparable avec celles des élevages avec courettes. Une des particularités de ces élevages est l'engraissement sur paille, comme dans la totalité des élevages avec courettes étudiés.

Au contraire, dans l'élevage 3 qui est un élevage avec courette, les CCP sont hétérogènes et plus importantes que dans les autres élevages avec courettes et la médiane des CCP se rapproche plus de celles des élevages conventionnels. On note dans cet élevage un épisode de cannibalisme lors de la visite de mi-saison responsable de nombreuses lésions cutanées, qui peuvent témoigner de stress chez les porcs charcutiers au moment de cette visite et contribuer à expliquer les valeurs de CCP obtenues. En effet, les lésions peuvent être sources de douleur et il a été mis en évidence que les porcs ayant des lésions de la queue au cours de leur vie présentent des taux de cortisol pileaire plus élevés que les porcs sains (Carroll *et al.* 2018).

Quatre porcs prélevés présentaient des atteintes de leur état de santé (abcès au niveau du cou, gale, arthrite et lésion de queue de score 4). Parmi eux, deux ont des CCP parmi les plus élevées : 86,8 pg/mg soit dans les 10% de valeurs les plus élevées pour l'engraissement en hiver pour le porc présentant un abcès au cou et 83,5 pg/mg soit dans les 11% de valeurs les plus élevées pour le post-sevrage en hiver pour le porc ayant une lésion de caudophagie. Ainsi, le cortisol pileaire peut refléter l'état de santé des animaux et être un indicateur de bien-être. Ces résultats sont en accord avec Carroll et ses collaborateurs qui ont mis en évidence des concentrations moyennes de cortisol pileaire significativement supérieures chez les porcs ayant des lésions caudales, témoignant de caudophagie (Carroll *et al.* 2018).

2.3.3 Effet de la saison

Dans notre étude, les CCP sont significativement plus faibles à la mi-saison qu'en été et qu'en hiver. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus Uetake et ses collaborateurs qui mettent en

évidence des CCP inférieures en septembre par rapport aux mois de juin et décembre chez des vaches laitières (Uetake et al. 2018).

Les porcs étant des animaux sensibles aux variations de températures, on peut supposer qu'à la mi-saison la douceur des températures est plus proche de leur zone de neutralité thermique et assure ainsi un meilleur confort thermique pour ces derniers, limitant ainsi les sources environnementales de stress (Figure 18). Les CCP les plus élevées sont obtenues en hiver, en accord avec les résultats de Heimbürge et ses collaborateurs (Heimbürge *et al.* 2020).

De plus, il apparaît que l'effet des saisons est différent selon le stade physiologique des porcs. Chez les porcs en post-sevrage, les valeurs de CCP les plus élevées sont retrouvées en hiver. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces valeurs. Au vu de la plus faible exposition aux UV en hiver, on peut imaginer que la dégradation du cortisol pileaire est réduite. De plus, porcelets ont une sensibilité accrue au froid, leur zone de neutralité thermique comprend des températures plus élevées que les adultes. Les faibles températures en hiver sont donc une source de stress plus importante pour les porcelets que la chaleur de l'été.

Au contraire, les porcs en fin d'engraissement présentent des CCP significativement supérieures en été, ce qui peut être à nouveau relié à leur zone de neutralité thermique. Les porcs plus lourds tolèrent difficilement des températures élevées, comme c'est plus souvent le cas en été. Le stress thermique est donc principalement causé par des températures trop importantes, ce qui peut expliquer des CCP plus importantes chez les animaux plus âgés en été.

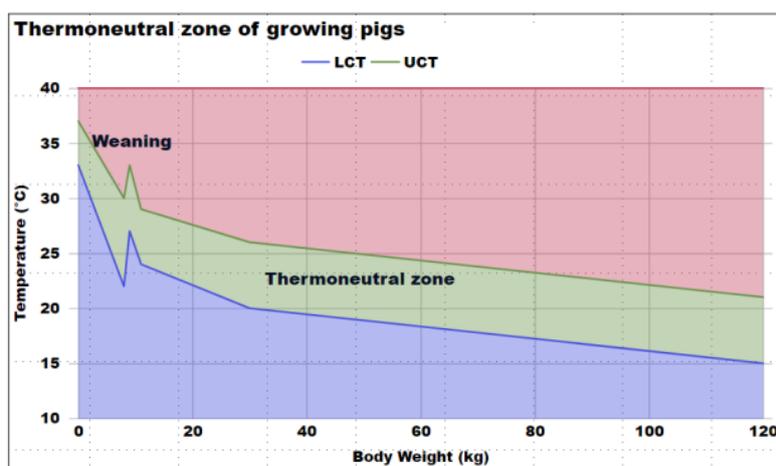


Figure 18 : Zones de neutralité thermique du porc en fonction du poids (d'après Payola, Piriou 2021)

2.3.4 Effet du type d'élevage

Les CCP dans les élevages avec courettes sont inférieures à celles observées dans les élevages conventionnels.

Dans les élevages avec courettes de notre étude, les porcs disposent de paille. C'est également le cas dans trois élevages conventionnels en engraissement (7, 9 et 20) dont deux (7 et 9) qui bénéficient de CCP inférieures par rapport aux autres élevages conventionnels. La paille constitue un enrichissement autorisant l'expression de comportements naturels, en particulier

exploratoires et permet également de réduire les comportements sociaux nuisibles responsables de lésions et de problèmes de santé (Petersen, Simonsen, Lawson 1995). De plus, les porcs élevés avec un environnement riche dès le jeune âge auraient une plus grande adaptabilité et moins de crainte face à un nouvel environnement ou des événements nouveaux ou stressants (de Jong *et al.* 2000). La présence de paille dans les élevages avec courettes peut donc expliquer en partie les valeurs de CCP inférieures dans ces élevages. Les porcs de l'élevage 20 disposent également de paille mais leurs CCP ne sont pas comparables à celles des élevages 7 et 9. Des troubles respiratoires ont été notés lors des visites de mi-saison et d'hiver et peuvent contribuer à expliquer des CCP supérieures.

Les porcs des élevages avec courettes ayant accès à l'extérieur, l'exposition aux UV et la photodégradation du cortisol induite pourraient également expliquer des valeurs de CCP plus faibles. En effet, Otten et ses collaborateurs ont mis en évidence qu'environ 8 heures d'exposition au soleil dans des conditions estivales sont responsables d'une diminution des CCP chez les porcs (Otten *et al.* 2021). Chez l'homme, les CCP chez des individus exposés à la lumière ont été jusqu'à 50% inférieures aux CCP des individus non exposés (Wester *et al.* 2016). Cependant, pour les porcs en engraissement, les CCP les plus élevées ont mises en évidence en été. De même, le fait que certains élevages conventionnels, donc non soumis à une possible dégradation par les UV, présentent des CCP basses et similaires à celles des élevages avec courettes, conforte l'idée que la dégradation photo-induite ne soit pas la seule responsable des valeurs de CCP plus faibles obtenues dans les élevages avec courettes.

Enfin, les porcs des élevages avec courettes sont davantage soumis aux fluctuations thermiques et notamment à la chaleur en période estivale, source de stress importante pour les porcs. On s'attend alors à retrouver des valeurs de CCP plus élevées pour les élevages avec courettes, ou à minima pour la période suivant la saison chaude, témoignant d'une incorporation plus importante de cortisol dans les soies en été, ce qui n'est pas le cas dans notre étude.

2.3.5 Effet du stade d'élevage

Nous avons montré que les CCP en post-sevrage sont globalement supérieures aux CCP observées en engraissement, tous élevages confondus.

Les animaux en post-sevrage sont prélevés seulement quelques semaines après le sevrage, processus de séparation brutale de la truie, de mélange d'animaux inconnus avec un changement d'environnement physique, et donc un phénomène particulièrement stressant pour les porcelets. Ce stress intense subit au moment du sevrage peut expliquer des valeurs de CCP plus élevées en post-sevrage qu'en engraissement. En particulier, plus que le sevrage en soi, le changement d'environnement et le mélange avec de nouveaux individus est source d'un stress majoré pour les porcelets, comme le montrent les augmentations des niveaux de cortisol et les modifications comportementales observées par Colson et ses collaborateurs (moins d'exploration de l'environnement, moins de jeu, plus de bagarres) (Colson *et al.* 2012). Ainsi, les porcs en post-sevrage ont été soumis à une multitude de facteurs stressants expliquant les valeurs de CCP élevées.

En analysant plus finement, nous avons mis en évidence que les CCP en post-sevrage sont supérieures aux CCP observées en engraissement, seulement pour les élevages avec courettes. Le stress subi par les porcelets au moment du sevrage serait donc similaire et important, quel que soit le type d'élevage. En revanche, en engraissement, il apparaît que les facteurs de stress sont réduits dans les élevages avec courettes. Les différences de conduite et d'environnement tels que la présence de paille, les densités diminuées, les paramètres d'ambiance (notamment ambiance olfactive plus saine (O'Connor *et al.* 2010)) semblent donc favoriser un meilleur bien-être chez les porcs et ainsi expliquer des CCP diminuées chez les porcs en fin d'engraissement.

Conclusion générale

Dans cette étude menée sur le terrain, dans 20 élevages commerciaux de porcs charcutiers, nous avons cherché à analyser l'effet d'un accès extérieur de type courettes sur le bien-être et la santé des animaux. En particulier, nous avons utilisé le dosage du cortisol pileire pour mesurer l'exposition au stress chronique des individus.

Nous avons montré qu'il existe une moindre exposition au stress chronique des porcs élevés dans des bâtiments avec accès à des courettes extérieures par rapport aux porcs élevés strictement en bâtiments, notamment pendant la phase d'engraissement. Conformément à nos attentes, l'exposition au stress chronique est réduite chez les porcs en fin d'engraissement par rapport aux porcs en post-sevrage, ce qui témoigne du caractère particulièrement stressant de cet évènement pour les porcelets.

Comme attendu, des différences existent entre les élevages, avec des élevages conventionnels proposant un engraissement sur paille, pour lesquels les taux de cortisol pileire sont proches de ceux des élevages biologiques. Ainsi, les systèmes d'élevages alternatifs apparaissent comme garants d'un meilleur bien-être. Le bénéfice de l'accès à l'extérieur seul reste difficile à évaluer car il s'accompagne souvent de la diminution des densités d'animaux et de la présence de paille, qui jouent un rôle déterminant dans le bien-être des porcs, en particulier en matière de comportement.

Le dosage du cortisol pileire, de par la facilité d'échantillonnage des soies et son caractère cumulatif dans la tige pileire, semble être un marqueur intéressant pour objectiver le stress chronique et le bien-être des porcs en élevage, bien que des études complémentaires soient nécessaires pour en appréhender les limites.

Bibliographie

- ACCORSI, P. A., CARLONI, E., VALSECCHI, P., VIGGIANI, R., GAMBERONI, M., TAMANINI, C. et SEREN, E., 2008. Cortisol determination in hair and faeces from domestic cats and dogs. *General and Comparative Endocrinology*. 15 janvier 2008. Vol. 155, n° 2, pp. 398-402. DOI 10.1016/j.ygcen.2007.07.002.
- ALONSO, L. et FUCHS, E., 2006. The hair cycle. *Journal of Cell Science*. 1 février 2006. Vol. 119, n° 3, pp. 391-393. DOI 10.1242/jcs.02793.
- AREY, D. S., 1993. The Effect of Bedding on the Behaviour and Welfare of Pigs. *Animal Welfare*. Août 1993. Vol. 2, n° 3, pp. 235-246. DOI 10.1017/S096272860001589X.
- ARIOLI, F., GAMBERINI, M. C., PAVLOVIC, R., DI CESARE, F., DRAGHI, S., BUSSEI, G., MUNGIGUERRA, F., CASATI, A. et FIDANI, M., 2022. Quantification of cortisol and its metabolites in human urine by LC-MSn: applications in clinical diagnosis and anti-doping control. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2022. Vol. 414, n° 23, pp. 6841-6853. DOI 10.1007/s00216-022-04249-3.
- BACCI, M. L., NANNONI, E., GOVONI, N., SCORRANO, F., ZANNONI, A., FORNI, M., MARTELLI, G. et SARDI, L., 2014. Hair cortisol determination in sows in two consecutive reproductive cycles. *Reproductive Biology*. 1 septembre 2014. Vol. 14, n° 3, pp. 218-223. DOI 10.1016/j.repbio.2014.06.001.
- BACH, J. M., HERVÉ, J. et MIGNOT, G., 2019. *Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire - Bases de régulation neuro-endocrine*. Polycoché d'enseignement, UE 156. Nantes : Oniris, 30 p.
- BACH, J. M., HERVÉ, J. et MIGNOT, G., 2020. *Physiologie intégrée - Axe corticotrope*. Polycoché d'enseignement, UE 166. Nantes : Oniris.
- BACOU, E., HAUROGNÉ, K., MIGNOT, G., ALLARD, M., DE BEAUREPAIRE, L., MARCHAND, J., TERENINA, E., BILLON, Y., JACQUES, J., BACH, J. M., MORMÈDE, P., HERVÉ, J. et LIEUBEAU, B., 2017. Acute social stress-induced immunomodulation in pigs high and low responders to ACTH. *Physiology & Behavior*. 1 février 2017. Vol. 169, pp. 1-8. DOI 10.1016/j.physbeh.2016.11.012.
- BEATTIE, V. E., O'CONNELL, N. E., KILPATRICK, D. J. et MOSS, B. W., 2000. Influence of environmental enrichment on welfare-related behavioural and physiological parameters in growing pigs. *Animal Science*. Juin 2000. Vol. 70, n° 3, pp. 443-450. DOI 10.1017/S1357729800051791.
- BECHSHØFT, T. Ø., SONNE, C., DIETZ, R., BORN, E. W., NOVAK, M. A., HENCHEY, E. et MEYER, J. S., 2011. Cortisol levels in hair of East Greenland polar bears. *Science of The Total Environment*. 15 janvier 2011. Vol. 409, n° 4, pp. 831-834. DOI 10.1016/j.scitotenv.2010.10.047.
- BENSIGNOR, Emmanuel, 2021. *Structure et fonction de la peau*. Polycoché d'enseignement, UE 283. Nantes : Oniris.
- BERGAMIN, C., COMIN, A., CORAZZIN, M., FAUSTINI, M., PERIC, T., SCOLLO, A., GOTTARDO, F., MONTILLO, M. et PRANDI, A., 2019. Cortisol, DHEA, and Sexual Steroid Concentrations in Fattening Pigs' Hair. *Animals*. 12 juin 2019. Vol. 9, n° 6, pp. 345. DOI 10.3390/ani9060345.

- BINZ, T. M., RIETSCHER, L., STREIT, F., HOFMANN, M., GEHRKE, J., HERDENER, M., QUEDNOW, B. B., MARTIN, N. G., RIETSCHER, M., KRAEMER, T. et BAUMGARTNER, M. R., 2018. Endogenous cortisol in keratinized matrices: Systematic determination of baseline cortisol levels in hair and the influence of sex, age and hair color. *Forensic Science International*. 1 mars 2018. Vol. 284, pp. 33-38. DOI 10.1016/j.forsciint.2017.12.032.
- BOISSY, A. et LE NEINDRE, P., 1997. Behavioral, Cardiac and Cortisol Responses to Brief Peer Separation and Reunion in Cattle. *Physiology & Behavior*. 1 mai 1997. Vol. 61, n° 5, pp. 693-699. DOI 10.1016/S0031-9384(96)00521-5.
- BOURASSEAU, A., 2023. *Description de la concentration en cortisol pileire chez des porcelets en période néo-natale et au sevrage en élevages porcins biologiques* [en ligne]. Thèse de doctorat vétérinaire. Nantes : Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes. [Consulté le 13 février 2024]. Disponible à l'adresse : https://doc-veto.oniris-nantes.fr/GED_CHN/198162491634/N-2023-090.pdf
- BRAJON, S., TALLET, C., MERLOT, E. et LOLLIVIER, V., 2023. Freins et motivations des éleveurs vis-à-vis des élevages porcins avec accès à l'extérieur. *Journées de la recherche porcine (JRP)* [en ligne]. Janvier 2023. pp. 19-24. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-04072509>
- BRAMBELL, F. W. Rogers. 1965. Report of technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems, 1965. pp 84. [Consulté le 14 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <http://archive.org/details/b3217276x>
- BURNARD, C., RALPH, C., HYND, P., EDWARDS, J. Hocking et TILBROOK, A., 2016. Hair cortisol and its potential value as a physiological measure of stress response in human and non-human animals. *Animal Production Science*. 9 septembre 2016. Vol. 57, n° 3, pp. 401-414. DOI 10.1071/AN15622.
- BURNETT, T.A., MADUREIRA, A. M. L., SILPER, B. F., NADALIN, A., TAHMASBI, A., VEIRA, D.M. et CERRI, R.L. A., 2014. Short communication: Factors affecting hair cortisol concentrations in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 1 décembre 2014. Vol. 97, n° 12, pp. 7685-7690. DOI 10.3168/jds.2014-8444.
- CANNON, W. B., 1914. The emergency function of the adrenal medulla in pain and the major emotions. *American Journal of Physiology-Legacy Content*. 2 février 1914. Vol. 33, n° 2, pp. 356-372. DOI 10.1152/ajplegacy.1914.33.2.356.
- CARROLL, G. A., BOYLE, L. A., HANLON, A., PALMER, M. A., COLLINS, L., GRIFFIN, K., ARMSTRONG, D. et O'CONNELL, N. E., 2018. Identifying physiological measures of lifetime welfare status in pigs: exploring the usefulness of haptoglobin, C- reactive protein and hair cortisol sampled at the time of slaughter. *Irish Veterinary Journal*. 2 mars 2018. Vol. 71, pp. 8. DOI 10.1186/s13620-018-0118-0.
- CASAL, N., MANTECA, X., PEÑA L, R., BASSOLS, A. et FÀBREGA, E., 2017. Analysis of cortisol in hair samples as an indicator of stress in pigs. *Journal of Veterinary Behavior*. 1 mai 2017. Vol. 19, pp. 1-6. DOI 10.1016/j.jveb.2017.01.002.
- CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE SUR LE CANCER, 2018. Les cancers attribuables au mode de vie et à l'environnement en France métropolitaine [en ligne]. 2018. [Consulté le 24 août 2024]. Disponible à l'adresse : https://gco.iarc.fr/includes/PAF/PAF_FR_report.pdf
- CHAMBRE D'AGRICULTURE BRETAGNE, 2022. Des éleveurs sensibles au bien-être des animaux. *Bien vivre le bien-être animal* [en ligne]. 2022. [Consulté le 11 juillet 2024]. Disponible à l'adresse :

<https://bien-etre-animal.chambres-agriculture.fr/definir-et-mettre-en-oeuvre/pratiques-et-attentes/enquete-eleveurs>

COLLÈGE DES ENSEIGNANTS DE NUTRITION, 2021. Physiologie du cortisol. In : COLLÈGE DES ENSEIGNANTS DE NUTRITION, *Nutrition*. 2. Elsevier Masson. pp. 113-117. ISBN 978-2-294-77346-4.

COLSON, V., MARTIN, E., ORGEUR, P. et PRUNIER, A., 2012. Influence of housing and social changes on growth, behaviour and cortisol in piglets at weaning. *Physiology & Behavior*. 20 août 2012. Vol. 107, n° 1, pp. 59-64. DOI 10.1016/j.physbeh.2012.06.001.

CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE, 2008. Directive 2008/120/CE du conseil du 18 décembre 2008 établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs. *Journal officiel de l'Union européenne* [en ligne]. 18 décembre 2008. [Consulté le 25 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32008L0120>

CONSEIL ÉCONOMIQUE, SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL, 2024. Relever les défis de l'élevage français pour assurer sa pérennité. *Conseil économique, social et environnemental* [en ligne]. 2024. [Consulté le 11 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2024/2024_01_defi_elevage.pdf

CONTRERAS-AGUILAR, M.D., ESCRIBANO, D., MARTÍNEZ-MIRÓ, S., LÓPEZ-ARJONA, M., RUBIO, C.P., MARTÍNEZ-SUBIELA, S., CERÓN, J.J. et TECLES, F., 2019. Application of a score for evaluation of pain, distress and discomfort in pigs with lameness and prolapses: correlation with saliva biomarkers and severity of the disease. *Research in Veterinary Science*. 1 octobre 2019. Vol. 126, pp. 155-163. DOI 10.1016/j.rvsc.2019.08.004.

COURBOULAY, Valérie, MEUNIER-SALAÛN, Marie-Christine, POL, Françoise et STANKOWIAK, Marie, 2019. BEEP : un outil à disposition des éleveurs pour objectiver le bien-être de leurs animaux. *51èmes Journées de la Recherche Porcine* [en ligne]. 2019. pp. 6. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-02164165/document>

DAMRIYASA, I. M., FAILING, K., VOLMER, R., ZAHNER, H. et BAUER, C., 2004. Prevalence, risk factors and economic importance of infestations with *Sarcoptes scabiei* and *Haematopinus suis* in sows of pig breeding farms in Hesse, Germany. *Medical and Veterinary Entomology*. 2004. Vol. 18, n° 4, pp. 361-367. DOI 10.1111/j.0269-283X.2004.00520.x.

DAVENPORT, M.D., TIEFENBACHER, S., LUTZ, C.K., NOVAK, M.A. et MEYER, J.S., 2006. Analysis of endogenous cortisol concentrations in the hair of rhesus macaques. *General and Comparative Endocrinology*. juillet 2006. Vol. 147, n° 3, pp. 255-261. DOI 10.1016/j.ygcen.2006.01.005.

DE JONG, I.C., PRELLE, I.T., VAN DE BURGWAL, J.A., LAMBOOIJ, E., KORTE, S.M., BLOKHUIS, H.J. et KOOLHAAS, J.M., 2000. Effects of environmental enrichment on behavioral responses to novelty, learning, and memory, and the circadian rhythm in cortisol in growing pigs. *Physiology & Behavior*. 1 février 2000. Vol. 68, n° 4, pp. 571-578. DOI 10.1016/S0031-9384(99)00212-7.

DELANOUE, E., DOCKES, A.C., CHOUTEAU, A., ROGUET, C. et PHILIBERT, A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l'élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. *INRAE Productions Animales*. 11 juin 2018. Vol. 31, n° 1, pp. 51-68. DOI 10.20870/productions-animales.2018.31.1.2203.

DELSART, M., POL, F., DUFOUR, B., ROSE, N. et FABLET, C., 2023. L'élevage porcin en systèmes alternatifs : atouts et défis en termes de bien-être animal, biosécurité, santé animale et sécurité sanitaire. *INRAE Productions Animales*. 6 octobre 2023. Vol. 36, n° 3, pp.7675-7675. DOI 10.20870/productions-animales.2023.36.3.7675.

DÉSAUTÉS, C., BIDANEL, J.P et MORMÈDE, P., 1997. Genetic Study of Behavioral and Pituitary-Adrenocortical Reactivity in Response to an Environmental Challenge in Pigs. *Physiology & Behavior*. 1 août 1997. Vol. 62, n° 2, pp. 337-345. DOI 10.1016/S0031-9384(97)00019-X.

DETTMER, A. M., NOVAK, M. F. S. X., NOVAK, M. A., MEYER, J. S. et SUOMI, S. J., 2009. Hair Cortisol Predicts Object Permanence Performance in Infant Rhesus Macaques (*Macaca mulatta*). *Developmental psychobiology*. décembre 2009. Vol. 51, n° 8, pp. 706. DOI 10.1002/dev.20405.

DHABHAR, S. F., 2010. Effects of stress on Immune Fonction : Implications for Immunoprotection and Immunopathology. In : CONTRADA, Richard et BAUM, Andrew, *The Handbook of Stress Science: Biology, Psychology, and Health*. Springer Publishing Company. ISBN 978-0-8261-1771-7.

DUCREUX, E., ALOUI, B., ROBIN, P., DOURMAD, J. Y., COURBOULAY, V. et MEUNIER-SALAÜN, M. C., 2002. Les porcs affichent leurs préférences vis-à-vis du type de sol en fonction de la température ambiante. *Journées de la Recherche Porcine* [en ligne]. 2002. pp 211-216. Disponible à l'adresse : <https://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2002/02txtBienetre/BE0202.pdf>

ECKERT, R., RANDALL, D. J, BURGGREN, W. W. et FRENCH, K., 1999. *Physiologie animale : mécanismes et adaptations*. De Boeck. BIOLOGIE. ISBN 978-2-7445-0053-4

EFSA, 2024. Santé animale. *EFSA* [en ligne]. 2024. [Consulté le 23 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.efsa.europa.eu/fr/topics/topic/animal-health>

EFSA PANEL ON ANIMAL HEALTH AND WELFARE (AHAW), NIELSEN, S. S., ALVAREZ, J., BICOUT, D. J., CALISTRI, P., CANALI, E., DREWE, J. A., GARIN-BASTUJI, B., GONZALES ROJAS, J. L., SCHMIDT, Gortázar, HERSKIN, M., MICHEL, V., MIRANDA CHUECA, M. Á., MOSBACH-SCHULZ, O., PADALINO, B., ROBERTS, H. C., STAHL, K., VELARDE, A., VILTROP, A., WINCKLER, C., EDWARDS, S., IVANOVA, S., LEEB, C., WECHSLER, B., FABRIS, C., LIMA, E., MOSBACH-SCHULZ, O., VAN DER STEDE, Y., VITALI, M. et SPOOLDER, H., 2022. Welfare of pigs on farm. *EFSA Journal*. 2022. Vol. 20, n° 8, pp. e07421. DOI 10.2903/j.efsa.2022.7421.

ERDOĞAN, B., 2017. Anatomy and Physiology of Hair. In : ERDOĞAN, *Hair and Scalp Disorders*. Kutlubay. IntechOpen. ISBN 978-953-51-3098-7.

EVERDING, T., 2021. Cortisol in Hair as a Measure of Chronic Stress during Sow Gestation and the Pattern of Cortisol in Blood during Parturition in Sows. [en ligne]. Thèse. Université d'Etat du Dakota Sud, 1 janvier 2021. [Consulté le 19 juin 2024]. Disponible à l'adresse : <https://openprairie.sdstate.edu/etd/5775>

FOURICHON, C., 2011. *Conduite d'élevage en production porcine*. Polycoché d'enseignement, UV101. Nantes : Oniris, 66p.

FOURIE, N. H., JOLLY, C. J., PHILLIPS-CONROY, J. E., BROWN, J. L. et BERNSTEIN, R. M., 2015. Variation of hair cortisol concentrations among wild populations of two baboon species (*Papio anubis*, *P. hamadryas*) and a population of their natural hybrids. *Primates*. 1 juillet 2015. Vol. 56, n° 3, pp. 259-272. DOI 10.1007/s10329-015-0469-z.

GODEFROY, Z., 2023. *Influence de la saison sur la concentration en cortisol pileire chez des porcs ayant ou non accès à l'extérieur* [en ligne]. Thèse de doctorat vétérinaire. Nantes : Ecole nationale vétérinaire de Nantes. Disponible à l'adresse : https://doc-veto.oniris-nantes.fr/GED_CHN/198269191644/N-2023-128.pdf

GRANT, K. S., WORLEIN, J.M., MEYER, J. S., NOVAK, M. A., KROEKER, R., ROSENBERG, K., KENNEY, C. et BURBACHER, T. M., 2017. A longitudinal study of hair cortisol concentrations in *Macaca nemestrina* mothers and infants. *American Journal of Primatology*. 2017. Vol. 79, n° 2, pp. e22591. DOI 10.1002/ajp.22591.

GREEPEACE, 2019. Mordue de viande, l'Europe alimente la crise climatique par son addiction au soja. *Greenpeace France* [en ligne]. juin 2019. [Consulté le 29 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.greenpeace.fr/espace-presse/mordue-de-viande-leurope-alimente-la-crise-climatique-par-son-addiction-au-soja/>

GUYTON, A. C. et HALL, J. E., 2016. *Textbook of medical physiology*. 14. Elsevier. ISBN 978-0-323-59712-8

HARKEY, M.R., 1993. Anatomy and physiology of hair. *Forensic Science International*. décembre 1993. Vol. 63, n° 1-3, pp. 9-18. DOI 10.1016/0379-0738(93)90255-9.

HAY, M, MEUNIER-SALAÜN, M C, BRULAUD, F, MONNIER, M et MORMÈDE, P, 2000. Assessment of hypothalamic-pituitary-adrenal axis and sympathetic nervous system activity in pregnant sows through the measurement of glucocorticoids and catecholamines in urine. *Journal of Animal Science*. 2000. Vol. 78, n° 2, pp. 420. DOI 10.2527/2000.782420x.

HEIMBÜRGE, S., KANITZ, E. et OTTEN, W., 2019. The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals. *General and Comparative Endocrinology*. 1 janvier 2019. Vol. 270, pp. 10-17. DOI 10.1016/j.ygcen.2018.09.016.

HEIMBÜRGE, S., KANITZ, E., TUCHSCHERER, A. et OTTEN, W., 2020. Within a hair's breadth – Factors influencing hair cortisol levels in pigs and cattle. *General and Comparative Endocrinology*. 1 mars 2020. Vol. 288, pp. 113359. DOI 10.1016/j.ygcen.2019.113359.

HEMSWORTH, P. H., VERGE, J. et COLEMAN, G. J., 1996. Conditioned approach-avoidance responses to humans: the ability of pigs to associate feeding and aversive social experiences in the presence of humans with humans. *Applied Animal Behaviour Science*. 1 octobre 1996. Vol. 50, n° 1, pp. 71-82. DOI 10.1016/0168-1591(96)01065-9.

HENDERSON, G. L., 1993. Mechanisms of drug incorporation into hair. *Forensic Science International*. 1 décembre 1993. Vol. 63, n° 1, pp. 19-29. DOI 10.1016/0379-0738(93)90256-A.

HERVÉ, J., 2024. *Physiologie du stress*. Polycopié d'enseignement, 26 janvier 2024. Nantes : Oniris. UE 46

ITO, N., ITO, T., KROMMINGA, A., BETTERMANN, A., TAKIGAWA, M., KEES, F., STRAUB, R. H. et PAUS, R., 2005. Human hair follicles display a functional equivalent of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and synthesize cortisol. *FASEB journal: official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*. août 2005. Vol. 19, n° 10, pp. 1332-1334. DOI 10.1096/fj.04-1968fje.

KALLIOKOSKI, O., JELLESTAD, F. K. et MURISON, R., 2019. A systematic review of studies utilizing hair glucocorticoids as a measure of stress suggests the marker is more appropriate for quantifying short-term stressors. *Scientific Reports*. 19 août 2019. Vol. 9, pp. 11997. DOI 10.1038/s41598-019-48517-2.

KIKUSUI, T., WINSLOW, J. T. et MORI, Y., 2006. Social buffering: relief from stress and anxiety. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 12 décembre 2006. Vol. 361, n° 1476, pp. 2215. DOI 10.1098/rstb.2006.1941.

KOOLHAAS, J. M., KORTE, S. M., DE BOER, S. F., VAN DER VEGT, B. J., VAN REENEN, C. G., HOPSTER, H., DE JONG, I. C., RUIS, M. A. W. et BLOKHUIS, H. J., 1999. Coping styles in animals: current status in behavior and stress-physiology. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 1 novembre 1999. Vol. 23, n° 7, pp. 925-935. DOI 10.1016/S0149-7634(99)00026-3.

LAFFERTY, D., LAUDENSLAGER, M., MOWAT, G., HEARD, D. et BELANT, J., 2015. Sex, Diet, and the Social Environment: Factors Influencing Hair Cortisol Concentration in Free-Ranging Black Bears (*Ursus americanus*). *PLOS ONE*. 3 novembre 2015. Vol. 10, pp. e0141489. DOI 10.1371/journal.pone.0141489.

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 2018. L'Anses propose une définition du bien-être animal et définit le socle de ses travaux de recherche et d'expertises, 2018. *Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail* [en ligne]. 2018. [Consulté le 14 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/content/l%E2%80%99anses-propose-une-d%C3%A9finition-du-bien-%C3%A9tre-animal-et-d%C3%A9finit-le-socle-de-ses-travaux-de>

LATINO-MARTEL, P., COTTET, V., DRUESNE-PECOLLO, N., PIERRE, F. H. F., TOUILLAUD, M., TOUVIER, M., VASSON, M. P., DESCHASAUX, M., LE MERDY, J., BARRANDON, E. et ANCELLIN, R., 2016. Alcoholic beverages, obesity, physical activity and other nutritional factors, and cancer risk: A review of the evidence. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*. 1 mars 2016. Vol. 99, pp. 308-323. DOI 10.1016/j.critrevonc.2016.01.002.

LEE, D. Y., KIM, E. et CHOI, M. H., 2015. Technical and clinical aspects of cortisol as a biochemical marker of chronic stress. *BMB Reports*. avril 2015. Vol. 48, n° 4, pp. 209-216. DOI 10.5483/BMBRep.2015.48.4.275.

LEEB, C., RUDOLPH, G., BOCHICCHIO, D., EDWARDS, S., FRÜH, B., HOLINGER, M., HOLMES, D., ILLMANN, G., KNOP, D., PRUNIER, A., ROUSING, T., WINCKLER, C. et DIPPEL, S., 2019. Effects of three husbandry systems on health, welfare and productivity of organic pigs. *Animal*. 1 janvier 2019. Vol. 13, n° 9, pp. 2025-2033. DOI 10.1017/S1751731119000041.

LEVALLOIS, P., LEBLANC-MARIDOR, M., LEHÉBEL, A., GAVAUD, S., LIEUBEAU, B., HERVÉ, J., FOURICHON, C. et BELLOC, C., 2024. Hair cortisol concentration in finishing pigs on commercial farms: variability between pigs, batches, and farms. *Frontiers in Veterinary Science*. 22 janvier 2024. Vol. 10, pp. 1298756. DOI 10.3389/fvets.2023.1298756.

MARCET-RIUS, M., KALONJI, G., COZZI, A., BIENBOIRE-FROSINI, C., MONNERET, P., KOWALCZYK, I., TERUEL, E., CODECASA, E. et PAGEAT, P., 2019. Effects of straw provision, as environmental enrichment, on behavioural indicators of welfare and emotions in pigs reared in an experimental system. *Livestock Science*. 1 mars 2019. Vol. 221, pp. 89-94. DOI 10.1016/j.livsci.2019.01.020.

- MARPLE, D N, ABERLE, E D, FORREST, J C, BLAKE, W H et JUDGE, M D, 1972. Effects of humidity and temperature on porcine plasma adrenal corticoids, ACTH and growth hormone levels. *Journal of animal science*. 1 mai 1972. Vol. 34, n° 5, pp. 809-812. DOI 10.2527/jas1972.345809x.
- MARTI, S., MELÉNDEZ, D. M., PAJOR, E. A., MOYA, D., HEUSTON, C. E. M., GELLATLY, D., JANZEN, E. D. et SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S., 2017. Effect of band and knife castration of beef calves on welfare indicators of pain at three relevant industry ages: II. Chronic pain. *Journal of Animal Science*. octobre 2017. Vol. 95, n° 10, pp. 4367-4380. DOI 10.2527/jas2017.1763.
- MARTÍNEZ-MIRÓ, S., TECLES, F., RAMÓN, M., ESCRIBANO, D., HERNÁNDEZ, F., MADRID, J., ORENGO, J., MARTÍNEZ-SUBIELA, S., MANTECA, X. et CERÓN, J. J., 2016. Causes, consequences and biomarkers of stress in swine: an update. *BMC Veterinary Research*. 19 août 2016. Vol. 12, n° 1, pp. 171. DOI 10.1186/s12917-016-0791-8.
- MASON, J. W., 1971. A re-evaluation of the concept of 'non-specificity' in stress theory. *Journal of Psychiatric Research*. août 1971. Vol. 8, n° 3-4, pp. 323-333. DOI 10.1016/0022-3956(71)90028-8.
- MAYORGA, E. J., RENAUDEAU, D., RAMIREZ, B. C., ROSS, J. W. et BAUMGARD, L. H., 2018. Heat stress adaptations in pigs. *Animal Frontiers: The Review Magazine of Animal Agriculture*. 30 octobre 2018. Vol. 9, n° 1, pp. 54-61. DOI 10.1093/af/vfy035.
- MEDAWAR, P. B., 1948. Immunity to homologous grafted skin; the fate of skin homografts transplanted to the brain, to subcutaneous tissue, and to the anterior chamber of the eye. *British Journal of Experimental Pathology*. février 1948. Vol. 29, n° 1, pp. 58-69. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2073079/pdf/brjexppathol00073-0068.pdf>
- MERLOT, E., MOUNIER, A. M. et PRUNIER, A., 2011. Endocrine response of gilts to various common stressors: A comparison of indicators and methods of analysis. *Physiology & Behavior*. 1 mars 2011. Vol. 102, n° 3, pp. 259-265. DOI 10.1016/j.physbeh.2010.11.009.
- MEYER, J. S. et NOVAK, M. A., 2012. Minireview: Hair Cortisol: A Novel Biomarker of Hypothalamic-Pituitary-Adrenocortical Activity. *Endocrinology*. 1 septembre 2012. Vol. 153, n° 9, pp. 4120-4127. DOI 10.1210/en.2012-1226.
- MEYER, W. et GÖRGEN, S., 1986. Development of hair coat and skin glands in fetal porcine integument. *Journal of Anatomy*. février 1986. Vol. 144, pp. 201-220. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1166475/pdf/janat00189-0199.pdf>
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION, 2019. Instruction technique DGAL/SDSPA/2019-389 [en ligne]. 15 mai 2019. Disponible à l'adresse : https://produire-porc-bio.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/186_Eve-secuporc-bio/PDF/IT-2019-389-final-clotures.pdf
- MIOLO, G., CAFFIERI, S., DALZOPPO, D., GALLOCCCHIO, F., FASANI, E. et BEYERSBERGEN VAN HENEGOUWEN, G. M. J., 2011. Photoactivation of corticosteroids in UVB-exposed skin. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 4 avril 2011. Vol. 103, n° 1, pp. 35-41. DOI 10.1016/j.jphotobiol.2011.01.009.
- MOBERG, G. P., 2000. Biological response to stress: implications for animal welfare. In : MOBERG, MENCH, *The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare*. janvier 2000. CABI. pp. 1-21. ISBN 978-0-85199-359-1

MOISAN, M. P. et LE MOAL, M., 2012. Le stress dans tous ses états. *médecine/sciences*. juin 2012. Vol. 28, n° 6-7, pp. 612-617. DOI 10.1051/medsci/2012286014.

MONTARIOL, C., 2023. Porc par les Chiffres : données récentes de la filière porcine. *IFIP* [en ligne]. 12 décembre 2023. [Consulté le 15 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://ifip.asso.fr/actualites/le-porc-par-les-chiffres-les-chiffres-cles-les-plus-recents-de-la-filiere/>

MORMÈDE, P., ANDANSON, S., AUPÉRIN, B., BEERDA, B., GUÉMÉNÉ, D., MALMKVIST, J., MANTECA, X., MANTEUFFEL, G., PRUNET, P., VAN REENEN, C. G., RICHARD, S. et VEISSIER, I., 2007. Exploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiology & Behavior*. 22 octobre 2007. Vol. 92, n° 3, pp. 317-339. DOI 10.1016/j.physbeh.2006.12.003.

MORMEDE, P., BOISSEAU-SOWINSKI, L., CHIRON, J., DIEDERICH, C., EDDISON, J., GUICHET, J. L., NEINDRE, P. LE et MEUNIER-SALAÛN, M. C., 2018. Bien-être animal : contexte, définition, évaluation. *INRAE Productions Animales*. 25 octobre 2018. Vol. 31, n° 2, pp. 145-162. DOI 10.20870/productions-animales.2018.31.2.2299.

MORMÈDE, P., FOURY, A. et MEUNIER-SALAÛN, M. C., 2006. Bien-être du porc : le point de vue de l'animal, approches biologiques et comportementales. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*. 2006. Vol. 159, n° 3, pp. 191-204. DOI 10.4267/2042/47833.

MÖSTL, E., MESSMANN, S., BAGU, E., ROBIA, C. et PALME, R., 1999. Measurement of glucocorticoid metabolite concentrations in faeces of domestic livestock. *Zentralblatt Fur Veterinarmedizin. Reihe A*. décembre 1999. Vol. 46, n° 10, pp. 621-631. DOI 10.1046/j.1439-0442.1999.00256.x.

MÖSTL, E. et PALME, R., 2002. Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology*. 1 juillet 2002. Vol. 23, n° 1, pp. 67-74. DOI 10.1016/S0739-7240(02)00146-7.

MOWAFY, M. et RG, CASSENS, 1976. Hair growth in the domestic pig - quantitative aspects. *Journal of Animal Science*. 1976. Vol. 71, n° 2, pp. 71-81. ISBN 0002-9726.

NEDIĆ, S., PANTELIĆ, M., VRANJEŠ-ĐURIĆ, S., NEDIĆ, D., JOVANOVIĆ, L., ČEBULJ-KADUNC, N., KOBAL, S., SNOJ, T. et KIROVSKI, D., 2017. CORTISOL CONCENTRATIONS IN HAIR, BLOOD AND MILK OF HOLSTEIN AND BUSHA CATTLE. *SLOVENIAN VETERINARY RESEARCH*. 28 décembre 2017. Vol. 54, n° 4. DOI 10.26873/SVR-398-2017.

NYBERG, L., LUNDSTRÖM, K., EDFORS-LILJA, I. et RUNDGREN, M., 1988. Effects of Transport Stress on Concentrations of Cortisol, Corticosteroid-Binding Globulin and Glucocorticoid Receptors in Pigs with Different Halothane Genotypes. *Journal of Animal Science*. 1988. Vol. 66, n° 5, pp. 1201. DOI 10.2527/jas1988.6651201x.

O'CONNOR, E. A., PARKER, M. O., MCLEMAN, M. A., DEMMERS, T. G., LOWE, J. C., CUI, L., DAVEY, E. L., OWEN, R. C., WATHES, C. M. et ABEYESINGHE, S. M., 2010. The impact of chronic environmental stressors on growing pigs, *Sus scrofa* (Part 1): stress physiology, production and play behaviour. *Animal*. 1 janvier 2010. Vol. 4, n° 11, pp. 1899-1909. DOI 10.1017/S1751731110001072.

OTTEN, W., BARTELS, T., HEIMBÜRGE, S., TUCHSCHERER, A. et KANITZ, E., 2021. The dark side of white hair? Artificial light irradiation reduces cortisol concentrations in white but not black hairs of cattle and pigs. *Animal*. 1 juin 2021. Vol. 15, n° 6, pp. 100230. DOI 10.1016/j.animal.2021.100230.

OTTEN, W., HEIMBÜRGE, S., TUCHSCHERER, A. et KANITZ, E., 2022. The age of hair matters – the incorporation of cortisol by external contamination is enhanced in distal hair segments of pigs and cattle. *Animal*. 1 avril 2022. Vol. 16, n° 4, pp. 100495. DOI 10.1016/j.animal.2022.100495.

OTTEN, W., HEIMBÜRGE, S., KANITZ, E. et TUCHSCHERER, A., 2020. It's getting hairy – External contamination may affect the validity of hair cortisol as an indicator of stress in pigs and cattle. *General and Comparative Endocrinology*. 1 septembre 2020. Vol. 295, pp. 113531. DOI 10.1016/j.ygcen.2020.113531.

PALME, R., FISCHER, P., SCHILDORFER, H. et ISMAIL, M.N., 1996. Excretion of infused ¹⁴C-steroid hormones via faeces and urine in domestic livestock. *Animal Reproduction Science*. mai 1996. Vol. 43, n° 1, pp. 43-63. DOI 10.1016/0378-4320(95)01458-6.

PANDOLFI, F., KYRIAZAKIS, I., STODDART, K., WAINWRIGHT, N. et EDWARDS, S. A., 2017. The “Real Welfare” scheme: Identification of risk and protective factors for welfare outcomes in commercial pig farms in the UK. *Preventive Veterinary Medicine*. 1 octobre 2017. Vol. 146, pp. 34-43. DOI 10.1016/j.prevetmed.2017.07.008.

PARROTT, R.F., MISSON, B.H. et BALDWIN, B.A., 1989. Salivary cortisol in pigs following adrenocorticotrophic hormone stimulation: Comparison with plasma levels. *British Veterinary Journal*. juillet 1989. Vol. 145, n° 4, pp. 362-366. DOI 10.1016/0007-1935(89)90034-1.

PETERSEN, V., SIMONSEN, H. B. et LAWSON, L. G., 1995. The effect of environmental stimulation on the development of behaviour in pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 1 novembre 1995. Vol. 45, n° 3, pp. 215-224. DOI 10.1016/0168-1591(95)00631-2.

PITTS, A. D., WEARY, D. M., PAJOR, E. A. et FRASER, D., 2000. Mixing at young ages reduces fighting in unacquainted domestic pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 1 juin 2000. Vol. 68, n° 3, pp. 191-197. DOI 10.1016/S0168-1591(00)00104-0.

RAMONET, Y., 2024. Eviter la caudophagie en détectant et limitant le stress. *Bien vivre le bien-être animal* [en ligne]. 2024. [Consulté le 23 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : https://bien-etre-animal.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/199_Eve-Bien-Etre-Animal/PJ/Porcs/BEA_Porc_Eviter_la_caudophagie.pdf.

RÉSEAU ACTION CLIMAT, 2022. Les coulisses de l'élevage de l'exportation bas de gamme. *Réseau action climat* [en ligne]. 2022. [Consulté le 27 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://reseauactionclimat.org/wp-content/uploads/2022/10/rapportrac-elevageexportationvf.pdf>.

ROGUET, C., 2023. Evolution, diversité et typologie des exploitations porcines en France : enseignements du recensement agricole de 2020, comparaison aux recensements de 2010 et 2000. *55èmes Journées de la recherche porcine* [en ligne]. 2023. [Consulté le 15 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2023/ecosocio/ec01.pdf>.

RUIS, M. A. W., TE BRAKE, J. H. A., ENGEL, B., EKKEL, E. D., BUIST, W. G., BLOKHUIS, H. J. et KOOLHAAS, J. M., 1997. The Circadian Rhythm of Salivary Cortisol in Growing Pigs: Effects of Age, Gender, and Stress. *Physiology & Behavior*. 1 septembre 1997. Vol. 62, n° 3, pp. 623-630. DOI 10.1016/S0031-9384(97)00177-7.

RUIS, Marko A. W, TE BRAKE, Joop H. A, VAN DE BURGVAL, Johan A, DE JONG, Ingrid C, BLOKHUIS, Harry J et KOOLHAAS, Jaap M, 2000. Personalities in female domesticated pigs: behavioural and physiological indications. *Applied Animal Behaviour Science*. 1 février 2000. Vol. 66, n° 1, pp. 31-47. DOI 10.1016/S0168-1591(99)00070-2.

SANCHEZ-VAZQUEZ, M. J., SMITH, R. P., KANG, S., LEWIS, F., NIELEN, M., GUNN, G. J. et EDWARDS, S. A., 2010. Identification des facteurs influençant l'apparition de foies de taches lactées chez les porcs abattus : une nouvelle approche pour comprendre l'épidémiologie d'*Ascaris suum* chez les porcs d'élevage britanniques. *Veterinary Parasitology*. 29 octobre 2010. Vol. 173, n° 3, pp. 271-279. DOI 10.1016/j.vetpar.2010.06.029.

SAPOLSKY, R. M., ROMERO, L. M. et MUNCK, A. U., 2000. How Do Glucocorticoids Influence Stress Responses? Integrating Permissive, Suppressive, Stimulatory, and Preparative Actions. *Endocrine Reviews*. 1 février 2000. Vol. 21, n° 1, pp. 55-89. DOI 10.1210/edrv.21.1.0389.

SAUVÉ, B., KOREN, G., WALSH, G., TOKMAKEJIAN, S. et UUM, S. HM. V., 2007. Measurement of cortisol in human Hair as a biomarker of systemic exposure. *Clinical and Investigative Medicine*. 1 octobre 2007. pp. E183-E191. DOI 10.25011/cim.v30i5.2894.

SCIPIONI, R., MARTELLI, G. et ANTONELLA VOLPELLI, L., 2009. Assessment of welfare in pigs. *Italian Journal of Animal Science*. janvier 2009. Vol. 8, n° sup1, pp. 117-137. DOI 10.4081/ijas.2009.s1.117.

SEEGERS, H. et MALHER, X., 2016. *Conduite d'élevage en production porcine*. Polycopié d'enseignement, UV101, 1. Nantes : Oniris, 12 p.

SELYE, H., 1936. A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents. *Nature*. juillet 1936. Vol. 138, n° 3479, pp. 32-32. DOI 10.1038/138032a0.

SILVERBERG, A. B., SHAH, S. D., HAYMOND, M. W. et CRYER, P. E., 1978. Norepinephrine: hormone and neurotransmitter in man. *The American Journal of Physiology*. mars 1978. Vol. 234, n° 3, pp. E252-256. DOI 10.1152/ajpendo.1978.234.3.E252.

SZYMANOWICZ, A., 2011. Caractéristiques immunoanalytiques du cortisol. *Immuno-analyse & Biologie Spécialisée*. 1 juin 2011. Vol. 26, n° 3, pp. 147-157. DOI 10.1016/j.immbio.2011.03.002.

TAYLOR, N. R., MAIN, D. C. J., MENDEL, M. et EDWARDS, S. A., 2010. Tail-biting: A new perspective. *The Veterinary Journal*. 1 novembre 2010. Vol. 186, n° 2, pp. 137-147. DOI 10.1016/j.tvjl.2009.08.028.

TEMPLE, D., COURBOULAY, V., MANTECA, X., VELARDE, A. et DALMAU, A., 2012. The welfare of growing pigs in five different production systems: assessment of feeding and housing. *Animal*. 1 janvier 2012. Vol. 6, n° 4, pp. 656-667. DOI 10.1017/S1751731111001868.

TEMPLE, D., MANTECA, X., VELARDE, A. et DALMAU, A., 2011. Assessment of animal welfare through behavioural parameters in Iberian pigs in intensive and extensive conditions. *Applied Animal Behaviour Science*. avril 2011. Vol. 131, n° 1-2, pp. 29-39. DOI 10.1016/j.applanim.2011.01.013.

UNION EUROPÉENNE, 2016. Règlement (UE) 2016/429 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2016 relatif aux maladies animales transmissibles et modifiant et abrogeant certains actes dans le domaine de la santé animale (« législation sur la santé animale »). *Journal officiel de l'Union*

Européenne [en ligne]. 2016. [Consulté le 15 avril 2024]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0429>.

VELARDE, A., DALMAU, A., KEELING, L. et VEISSIER, I., 2009. Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs). *Welfare Quality® Consortium* [en ligne]. 2009. [Consulté le 15 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02822161>

VERDON, M., MORRISON, R. S. et RAULT, J. -L., 2019. Group lactation from 7 or 14 days of age reduces piglet aggression at weaning compared to farrowing crate housing. *Animal*. 1 janvier 2019. Vol. 13, n° 10, pp. 2327-2335. DOI 10.1017/S1751731119000478.

VINING, R. F., MCGINLEY, R. A., MAKSVYTIS, J. J. et HO, K. Y., 1983. Salivary Cortisol: A Better Measure of Adrenal Cortical Function than Serum Cortisol. *Annals of Clinical Biochemistry: International Journal of Laboratory Medicine*. novembre 1983. Vol. 20, n° 6, pp. 329-335. DOI 10.1177/000456328302000601.

WATSON, S.A. et MOORE, G. P., 1990. Postnatal development of the hair cycle in the domestic pig. *Journal of Anatomy*. 1990. Vol. 170, pp. 1-9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1257057/pdf/janat00040-0009.pdf>.

WEBB, E., THOMSON, S., NELSON, A., WHITE, C., KOREN, G., RIEDER, M. et VAN UUM, S., 2010. Assessing individual systemic stress through cortisol analysis of archaeological hair. *Journal of Archaeological Science*. avril 2010. Vol. 37, n° 4, pp. 807-812. DOI 10.1016/j.jas.2009.11.010.

WESTER, V. L., VAN DER WULP, N. R. P., KOPER, J. W., DE RIJKE, Y. B. et VAN ROSSUM, E. F. C., 2016. Hair cortisol and cortisone are decreased by natural sunlight. *Psychoneuroendocrinology*. 1 octobre 2016. Vol. 72, pp. 94-96. DOI 10.1016/j.psyneuen.2016.06.016.

WIECHERS, D. H., BRUNNER, S., HERBRANDT, S., KEMPER, N. et FELS, M., 2021. Analysis of Hair Cortisol as an Indicator of Chronic Stress in Pigs in Two Different Farrowing Systems. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021. Vol. 8. DOI 10.3389/fvets.2021.605078.

ZAMBRANO, A., KLEIN, A. L. et PATZELT, A., 2021. Analysis of the morphometric parameters of pig ear hair follicles. *Skin research and technology: official journal of International Society for Bioengineering and the Skin (ISBS) [and] International Society for Digital Imaging of Skin (ISDIS) [and] International Society for Skin Imaging (ISSI)*. septembre 2021. Vol. 27, n° 5, pp. 730-738. DOI 10.1111/srt.13008.

Annexes

Mention/critère	Standard : pas de mention valorisante sur l'étiquette	Label Rouge	Label Rouge Fermier	Agriculture biologique 
Densité : place disponible pour chaque animal	1m ² / porc > 110 kg	1,20 m ² / porc > 110 kg	2,60 m ² / porc en bâtiment avec courette	2,70 m ² / porc > 110 kg
	1,64 m ² /cochette			2,5 m ² /truite reproductrice 6 m ² /porc reproducteur
	2,25 m ² /truite			
				7,5 m ² /truite avec ses porcelets
Accès à l'extérieur / aire de détente	Pas d'obligation d'accès à l'extérieur	Pas d'obligation d'accès à l'extérieur	Parcours ou accès plein air. En cas de parcours sur sol nu, il faut au moins 50m ² par porc, si ce sont des aires bétonnées au moins 2m ² par porc Mention « élevé en plein air » si accès plein air à partir de 17 semaines à au moins 83 m ² / porc Mention « élevé en liberté » si au moins 250 m ² /porc	Accès permanent à une aire d'exercice Aire d'exercice paillée (1,2 m ² /porc>110 kg)
Ambiance sonore	Niveau sonore limité à 85 dB	Pas d'exigences supplémentaires à la réglementation standard		
Ambiance lumineuse	Éclairage 40 lux pendant au moins 8 heures	Pas d'exigences supplémentaires à la réglementation standard		Aération et éclairage naturels
Conduite d'élevage	Attache des truies interdite, élevées en groupe (sauf pendant la période autour de la mise bas) Interventions douloureuses à réaliser avant 7 jours d'âge des porcelets par un personnel formé, si elles sont réalisées après alors ce doit être sous anesthésie par un vétérinaire	Pas d'exigences supplémentaires à la réglementation standard		Lait maternel pendant 40 jours Castration réalisée sous analgésie

Annexe 1 : Arrêté du 16 janvier 2003 établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs
(Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire)

Elevage	Saison	PS		Engraissement	
		Nombre de prélèvements dosés	Médiane [min-max]	Nombre de prélèvements dosés	Médiane [min-max]
E1	E	11	28,0 [19,8-33,9]	6	10,1 [4-12,7]
	M	7	25,1 [18,7-88,5]	9	12,3 [6,2-15,9]
	H	11	58,2 [28,7-113,9]	18	13 [8,1-18,6]
E2	E	23	51,6 [27,8-109,6]	23	17,6 [10,3-47,3]
	M	17	26,3 [18,0-71,1]	15	8,4 [6,3-12,7]
	H	15	42,7 [28,0-70,4]	13	11,8 [0,1-19,1]
E3	E	39	48,1 [27,4-111,0]	0	/
	M	13	35,6 [17,1-48,0]	17	61,5 [22,1-91,4]
	H	17	40,9 [20,8-62,6]	13	36 [8,4-154,9]
E4	E	15	40,7 [18,3-83,3]	0	/
	M	10	31,4 [24,6-95,3]	9	64,4 [41,7-195,7]
	H	10	36,9 [26,7-51,6]	14	60,2 [40,1-110,5]
E5	E	16	43,1 [1,2-66,2]	5	54,3 [49,8-117,2]
	M	19	55,1 [35,7-90,7]	17	39,1 [7,2-86,6]
	H	22	39,0 [28,5-114,5]	14	39,5 [17,3-71,1]
E6	E	2	27,6 [14,2-41]	13	14,6 [8,2-62,5]
	M	11	26,7 [19,9-47,2]	11	9,3 [6,8-39,3]
	H	19	59,2 [6,0-164,7]	15	14,8 [8,3-21,2]
E7	E	21	33,9 [21,6-59,8]	23	23,9 [12,9-82,7]
	M	20	43,4 [23-112,8]	20	16,8 [8,1-41,3]
	H	19	36,9 [21,4-81,5]	19	23,8 [12,4-51,8]
E8	E	20	51,7 [29,1-70,1]	20	68,4 [38,6-133,5]
	M	20	67,3 [38,7-183,0]	21	73,2 [37,9-141,1]
	H	15	52,0 [38,8-77,9]	15	78,2 [53,6-243,5]
E9	E	20	57,7 [30,3-127,0]	21	17,5 [9,7-43,6]
	M	20	40,9 [27,2-78,1]	15	46,8 [24,7-78,8]
	H	25	49,7 [17,0-134,4]	21	16,4 [7,9-27,3]
E10	E	20	50,0 [4,3-118,3]	19	80,3 [32,1-215,4]
	M	19	49,0 [6,4-79,5]	19	44,1 [24,1-69,0]
	H	19	67,7 [44,2-129,0]	21	57,7 [18,6-104,4]
E11	E	19	48,3 [5,9-66,8]	13	53,8 [29,7-108,4]
	M	18	50,5 [8,5-72,2]	22	28,1 [12,1-53,7]
	H	17	54,0 [28,0-379,6]	23	33,2 [11,4-102,9]
E12	E	17	18,5 [4,0-33,4]	19	17,0 [9,3-31,8]
	M	14	23,8 [10,8-113,9]	18	9,6 [5,7-17,5]
E13	E	20	57,4 [40,8-113,5]	14	173,9 [54,8-257,7]
	M	18	53,6 [31,2-109,2]	17	37,8 [19,0-136]
	H	18	74,9 [36,6-161,8]	21	62,0 [25,1-134,9]
E14	E	14	34,7 [16,9-67,3]	15	30,4 [15,6-110,9]
	M	17	30,3 [13,2-77,1]	24	16,3 [7,1-52,7]

	H	24	35,7 [18,1-47,7]	19	10,6 [4,2-40,2]
E15	M	23	47,3 [27,1-88,3]	20	62,8 (24,9-109,1]
	H	23	58,2 [15,0-159,1]	19	50,4 [9-174,5]
E16	M	19	35,9 (14,5-98,8]	19	7,8 [4,3-16,0]
	H	19	35,4 [18,3-274,0]	23	9,9 [5,7-16,6]
E17	M	21	49,6 [18,9-126,9]	25	41,4 [3,8-82,6]
	H	20	43,4 [25,6-82,2]	24	44,8 [25,6-81,7]
E18	M	22	54,5 [30,6-135,4]	22	60,1 [33,5-132 ,3]
	H	25	54,6 [23,2-153,7]	23	39,7 [7,4-132,4]
E19	M	19	17,8 [7,4-35,7]	11	9,5 [5,8-11,4]
	H	16	31,8 [7,4-86,6]	5	8,5 [4,4-11,4]
E20	M	24	44,1 [33,1-84,8]	25	28,6 [10,0-87,5]
	H	24	45,0 [16,0-164,1]	23	37,9 [12,8-191,3]

Annexe 2 : Paramètres descriptifs des concentrations en cortisol pileire (en pg/mg) des vingt élevages visités pour chaque stade et chaque saison

RELEVES INDIVIDUELS MATERNITE		NEC				0= rachitique				Propreté				0=très sale								
VISITE N°						1=maigre								1=sale								
DATE :						2= moyen								2=propre								
ELEVAGE :						3= gros								3=très propre								
		Case 1				Case 2				Case 3				Case 4				Case 5				
Truie	ELD/NEC																					
	Propreté																					
	Boiterie																					
	Bursite																					
	Signes respiratoires																					
	Signes digestifs																					
	Score lésions corporelles																					
	Score mamelles/queue																					
autres (dermato, nerveux...)																						
Porcelets	ELD/NEC	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	
	Propreté																					
	Boiterie																					
	Bursite																					
	Signes respiratoires																					
	Signes digestifs																					
	Score lésions corporelles																					
	Autres																					
	Porcelets dormants																					
	Porcelets tétants																					
Porcelets jouants																						
						NEC				0= rachitique				Propreté				0=très sale				
										1=maigre								1=sale				
										2= moyen								2=propre				
										3= gros								3=très propre				
		Case 6				Case 7				Case 8				Case 9				Case 10				
Truie	ELD/NEC																					
	Propreté																					
	Boiterie																					
	Bursite																					
	Signes respiratoires																					
	Signes digestifs																					
	Score lésions corporelles																					
	Score mamelles/queue																					
autres (dermato, nerveux...)																						
Porcelets	ELD/NEC	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	
	Propreté																					
	Boiterie																					
	Bursite																					
	Signes respiratoires																					
	Signes digestifs																					
	Score lésions corporelles																					
	Autres																					
	Porcelets dormants																					
	Porcelets tétants																					
Porcelets jouants																						

MESURES "SANTÉ"					
MATERNITÉ					
Elevage :	SALLE:				
Date :	Température / Hygrométrie:				
VISITE N°	Nombre de portées dans la salle:				
Enquêteurs :	Présence de fenêtres, nombre et tailles:				
Coupe de queue: O - N	Luminosité (4=très clair; 3=moyennement clair, 2=peu clair, 1=très sombre):				
Castration: O - N	Lumière artificielle:				
Meulage des dents: O - N	Ambiance (odeur: sain= 2, neutre= 1, dérangeant=0):				
Accès eau : O - N	Ambiance sonore:				
	Surface case + type de sol:				
	Présence nid, lampe chauffante, enrichissement, ... :				
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5
Id Truie					
Parité de la truie:					
Claustration (O/N)					
Type et accès aliment:					
Propreté case (1=très sale; 2=sale; 3=propre; 4=très propre)					
Date de naissance des porcelets:					
Nb porcelets nés-vivants					
Nb porcelets morts nés					
Nb de porcelets momifiés					
Nb de porcelets morts après la naissance, causes					
Nb porcelet comptés					
	CASE 6	CASE 7	CASE 8	CASE 9	CASE 10
Id Truie					
Parité de la truie:					
Claustration (O/N)					
Type et accès aliment:					
Propreté case (1=très sale; 2=sale; 3=propre; 4=très propre)					
Date de naissance des porcelets:					
Nb porcelets nés-vivants					
Nb porcelets morts nés					
Nb de porcelets momifiés					
Nb de porcelets morts après la naissance, causes					
Nb porcelet comptés					

MESURES "SANTÉ"				
Elevage :	SALLE:			
Date :	Température / Hygrométrie(sondes élevage par défaut):			
VISITE N°	Nombre de cases dans la salle:			
Enquêteurs :	Présence de fenêtres, nombre et tailles:			
Heure :	Luminosité (4=très clair; 3=moyennement clair, 2=peu clair, 1=très sombre):			
Stade Physio: PS - E	Lumière artificielle:			
	Ambiance (odeur: sain= 2, neutre= 1, dérangeant=0):			
	Ambiance sonore:			
	Type de sol:			
	Courette, nid, ... :			
CASE:	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
Nb porcs dans la case:				
Surface case:				
Présence et type + nombre d'enrichissement :				
Accès eau:				
Type et accès aliment:				
Propreté case (1=très sale; 2=sale; 3=propre; 4=très propre)				
Présence de toux				
Traces de diarrhée (O/N):				
Nb d'animaux malades:				
Types de pbs rencontrés:				

Annexe 3 : Fiches utilisées pour les relevés lors des visites d'élevages

Score	0	1	2	3	4	5
Description des lésions	Aucune lésion	Une lésion peu étendue (= 2cm), superficielle	Plus d'une lésion de score 1 ou une seule lésion rouge (plus profonde que la score 1) toujours superficielle	Une ou plusieurs lésion(s) étendue(s) (2 à 5 cm) et profonde(s)	Une lésion très étendue (>5cm), profonde et rouge ou de nombreuses lésions de score 3	Nombreuses lésions de score 4

Score	0	1	2	3	4
Description des lésions	Queue intacte : Aucun signe de morsure	Lésions légères ou cicatrisées, extrémité de la queue légèrement rouge	Signes de mastication ou de perforation, sans gonflement	Signes de mastication ou de perforation, avec gonflement et possible signes d'infection	Perte partielle ou totale de la queue, nécrose

Annexe 4 : Grilles de score des lésions cutanées (d'après Calderón Díaz *et al.*, 2014) et de la queue (d'après Carroll *et al.*, 2018)

Jeanne Bertrand

DESCRIPTION DE LA CONCENTRATION EN CORTISOL PILAIRE SELON LE STADE PHYSIOLOGIQUE CHEZ DES PORCS AYANT ACCES OU NON A L'EXTERIEUR

DESCRIPTION OF HAIR CORTISOL CONCENTRATION ACCORDING TO PHYSIOLOGICAL STAGE IN PIGS WITH OR WITHOUT OUTDOORS ACCESS

Thèse d'État de Doctorat Vétérinaire : Nantes, le 4 octobre 2024

RESUME

Aujourd'hui, 95% des porcs sont élevés dans des systèmes dits « conventionnels ». Dans un contexte où le bien-être des animaux destinés à la production alimentaire est un sujet de préoccupation majeure, les citoyens questionnent les systèmes d'élevage conventionnels et plébiscitent les systèmes alternatifs, permettant notamment un accès extérieur. Pourtant, celui-ci présente des inconvénients, en particulier en matière de contrôle de l'environnement. L'évaluation objective du niveau de bien-être animal et l'identification d'outils permettant sa mesure sont alors nécessaires.

Dans ce contexte, l'utilisation du cortisol pilaire apparaît comme une méthode intéressante pour évaluer l'exposition au stress chronique et le bien-être des porcs en élevage, en raison de la facilité d'échantillonnage des soies et de son accumulation sur plusieurs mois dans la tige pilaire.

Dans ce cadre, mon travail de thèse a consisté à suivre sur trois saisons vingt élevages, disposant ou non d'un accès extérieur de type courettes, et à mesurer les concentrations en cortisol pilaire d'une vingtaine d'individus en post-sevrage et en engraissement, pour chaque visite. Les données issues de 1856 dosages mettent en évidence des concentrations en cortisol pilaire chez les porcs en post-sevrage significativement supérieures à celles des porcs en fin d'engraissement. Il ressort également une exposition au stress chronique réduite chez les porcs ayant accès à l'extérieur par rapport aux porcs conventionnels, en particulier pendant la phase engraissement.

MOTS CLES :

- PORC
- ELEVAGE PORCIN
- POIL
- CORTISOL
- STRESS
- BIEN-ETRE ANIMAL
- ELEVAGE PORCIN
- METHODE D'ELEVAGE

DATE DE SOUTENANCE : 4 octobre 2024