



HAL
open science

Analyse descriptive de la concentration de cortisol pilaire chez les porcs charcutiers de la naissance à l'abattage en élevages porcins biologiques

Benjamin Morel

► **To cite this version:**

Benjamin Morel. Analyse descriptive de la concentration de cortisol pilaire chez les porcs charcutiers de la naissance à l'abattage en élevages porcins biologiques. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04901906

HAL Id: dumas-04901906

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04901906v1>

Submitted on 20 Jan 2025

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° 124

**ANALYSE DESCRIPTIVE DE LA CONCENTRATION DE
CORTISOL PILAIRE CHEZ LES PORCS CHARCUTIERS
DE LA NAISSANCE A L'ABATTAGE EN ÉLEVAGES
PORCINS BIOLOGIQUES**

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 15 novembre 2024

par

Benjamin, Jacques, Gabriel MOREL

Sous la direction de

Catherine BELLOC

Président du jury : Monsieur Patrick LUSTENBERGER, *Professeur émérite à la faculté de médecine de Nantes*

Membres du jury : Madame Catherine BELLOC, *Professeur en médecine des animaux d'élevage monogastriques à Oniris-VetAgro Bio Nantes*

Madame Julie HERVE, *Maître de conférences en physiologie-physiopathologie à Oniris-VetAgro Bio Nantes*

ANNEE 2024 - Thèse n° 124

**ANALYSE DESCRIPTIVE DE LA CONCENTRATION DE
CORTISOL PILAIRE CHEZ LES PORCS CHARCUTIERS
DE LA NAISSANCE A L'ABATTAGE EN ÉLEVAGES
PORCINS BIOLOGIQUES**

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 15 novembre 2024

par

Benjamin, Jacques, Gabriel MOREL

Sous la direction de

Catherine BELLOC

Président du jury : Monsieur Patrick LUSTENBERGER, *Professeur émérite à la faculté de médecine de Nantes*

Membres du jury : Madame Catherine BELLOC, *Professeur en médecine des animaux d'élevage monogastriques à Oniris-VetAgro Bio Nantes*

Madame Julie HERVE, *Maître de conférences en physiologie-physiopathologie à Oniris-VetAgro Bio Nantes*

Département DSC Sciences cliniques		
Responsable : Olivier GAUTHIER – Adjoint : Marion FUSELLIER		
Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC)	
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (Pr)	Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Claire DEFOURMSTRAUX (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass) Vincent BRUET (MC)	Sabrina VIEU (AERC) Maria Dolores SANCHEZ (CERC)
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 HDR) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECAT (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) François FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (Pr) Lamia BRIAND (Pr)
Département GPA Génie des procédés alimentaires		
Responsable : Vanessa JURY – Adjointe : Cyril TOUBLANC		
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 : Jean-Michel GALHARRET – Adjointe : Sibylle DUCHAINE		
Mathématiques, statistiques, informatique	Chantal THORIN (Pr Ag) Evelyne VIGNEAU (Pr) Jean-Michel GALHARRET (MC)	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) Franck INSGNARES (IE)	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.)

Département DSC Sciences cliniques		
Responsable : Olivier GAUTHIER – Adjoint : Marion FUSELLIER		
Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC)	
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (Pr)	Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Claire DEFOURMSTRAUX (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass) Vincent BRUET (MC)	Sabrina VIEU (AERC) Maria Dolores SANCHEZ (CERC)
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 HDR) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECA (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) François FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (Pr) Lamia BRIAND (Pr)
Département GPA Génie des procédés alimentaires		
Responsable : Vanessa JURY – Adjointe : Cyril TOUBLANC		
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 : Jean-Michel GALHARRET – Adjointe : Sibylle DUCHAINE		
Mathématiques, statistiques, informatique	Chantal THORIN (Pr Ag) Evelyne VIGNEAU (Pr) Jean-Michel GALHARRET (MC)	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) Franck INSGNARES (IE)	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.)

Formations Techniciens supérieurs	
--	--

Responsable : Laurence FRERET	
-------------------------------	--

	Laurence FRERET (PCEA) Françoise BRICHET (IAE) Christophe CARON (PLPA) Virginie MAGIN (Ens.cont.)
--	--

Pr Ag : Professeur Agrégé, Pr : Professeur, MC : Maître de Conférence, MCC : MC contractuel,
PLPA : Professeur Lycée Professionnel Agricole, PCEA : Professeur Certifié Enseignement Agricole,
HDR : Habilité à Diriger des Recherches, CERC : Chargé d'Enseignement et de Recherche Contractuel, Ens.
Cont. : Enseignant Contractuel

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 prénoms de l'auteur : Benjamin MOREL
- Année de soutenance : 2024
- Titre de la thèse : Analyse descriptive des concentrations de cortisol plaire de la naissance à l'abattage en élevage porcin biologique
- Intitulé du diplôme : Thèse de doctorat vétérinaire
- Université de soutenance : Faculté de Médecine de Nantes
- Ecole de soutenance : Oniris – VetAgroBio : Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique
- Nombre de pages : 156 p.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	9
SOMMAIRE	17
Liste des annexes	21
Liste des tableaux.....	22
Liste des figures	25
Abréviation.....	27
INTRODUCTION	29
Partie 1 : Bibliographie.....	31
1.1) Réglementation et place de l’agriculture biologique en élevages porcins en France.....	32
1.1.1) Définition	32
1.1.2) Cadre réglementaire	32
1.1.3) Cahier des charges en élevage biologique porcine	33
1.1.3.1) Principes généraux.....	33
1.1.3.2) Alimentation	33
1.1.3.3) Soins et sevrage du porcelet	33
1.1.3.4) Prophylaxie et soins vétérinaires.	34
1.1.3.5) Logement et hygiène des locaux.....	34
1.1.4) Place de l’élevage biologique porc en France.....	34
1.2) Le cortisol	35
1.2.1) Rappel physiologique : Synthèse et rôle des glucocorticoïdes.....	35
1.2.1.1) Structure moléculaire des principaux gluco-corticoïdes.....	35
1.2.1.2) Axe hypothalamo-hypophysaire.....	36
1.2.1.3) Synthèse des glucocorticoïdes	37
1.2.1.4) Rôles du cortisol	38
1.2.1.5) Particularité de la synthèse de glucocorticoïdes chez les oiseaux	38
1.3) Le poil matrice du dosage du stress chronique	39
1.3.1) Matrices de dosage du cortisol	39
1.3.1.1) Les matrices de la cortisolémie de quelques minutes à quelques heures : sang, salive et lait.....	39
1.3.1.2) Les matrices d’élimination, reflet de la production journalière : urine et fèces.	40
1.3.1.3) Les matrices marqueurs du stress chronique : les phanères	40
1.3.1.3.1) Les poils	40
1.3.1.3.2) Les plumes	42
1.3.2) Facteurs influençant les taux de cortisol des phanères.....	42

1.3.2.1) Variabilité intra- et inter-individuelle	42
1.3.2.2) Gestation et premières semaines de vie	42
1.3.2.3) Age	43
1.3.2.4) Puberté	43
1.3.2.5) La région du corps	43
1.3.2.7) La contamination par des éléments externes	44
1.3.2.6) Saisons	44
1.3.2.8) Sexe.....	44
1.3.2.9) Races et génétique	44
1.3.2.10) Effets des maladies	45
1.3.2.11) Conditions de vie : logement, lien sociaux.....	45
1.3.3) Techniques de laboratoire pour le dosage du cortisol pileire	46
1.3.4) DHEA : hormones dosée avec le cortisol dans les poils.....	46
1.3.4.1) Synthèse de la DHEA	46
1.3.4.2) Interactions DHEA et cortisol.....	47
1.3.4.3) DHEA et cortisol dans les poils	47
Partie 2 : Etude expérimentale	49
2.1) Matériels et méthodes	50
2.1.1) Critères de sélection et de recrutement	50
2.1.1.1) Critères de sélection des élevages.....	50
2.1.1.2) Répartition et description des élevages.....	50
2.1.1.2.1) Répartition géographique.....	50
2.1.1.2.2) Description des élevages	50
2.1.1.3) Sélection des truies et des porcelets.....	52
2.1.2) Collecte des données descriptives des élevages	52
2.1.3) Prélèvement et stockage des soies.....	53
2.1.3.1) Prélèvement des soies	53
2.1.3.1.1) Stade maternité.....	54
2.1.3.1.2) Stade sevrage.....	54
2.1.3.1.3) Stade début d'engraissement.....	55
2.1.3.1.4) Stade fin d'engraissement	55
2.1.3.2) Stockage des soies	55
2.1.4) Analyse de laboratoire : extraction et dosage du cortisol pileire.....	55
2.1.5) Traitement des données.....	57
2.1.5.1) Création des bases de données.....	57
2.1.5.2) Etude de la significativité des paramètres étudiés	57

2.1.5.2.1) Modèles linéaires univariés.....	57
2.1.5.2.2) Création des régressions linéaires multiples (RLM).....	58
2.1.5.2.3) Création des modèles de régression linéaire répétés.....	59
2.2) Résultats.....	60
2.2.1) Description des animaux de l'étude	60
2.2.1.1) Animaux prélevés en maternité	60
2.2.1.2) Animaux prélevés en période sevrage	64
2.2.1.3) Animaux prélevés en début d'engraissement	69
2.2.1.4) Animaux prélevés en fin d'engraissement.....	72
2.2.2) Concentration de cortisol pileire au cours de la vie des individus	74
2.2.3) Facteurs influençant les concentrations de cortisol pileire.....	79
2.2.3.1) Effet de l'élevage sur la concentration de cortisol pileire	79
2.2.3.2) Effet de l'âge par stade	87
2.2.3.3) Effet du poids sur les taux de cortisol pileire	94
2.2.3.4) Effet du gabarit	100
2.2.3.5) L'effet du sexe.....	101
2.2.3.6) Effet du mode de logement en maternité.....	104
2.2.3.7) Effet de la socialisation précoce	105
2.2.3.8) Effet du délai entre le jour de la visite et le sevrage.....	106
2.2.3.9) Effet du rang de portée des mères.....	107
2.2.3.10) Effet de l'absence de repousse.....	110
2.2.3.11) Effet de la transformation des données sur les résultats de l'analyse statistique.....	111
2.2.3.12) Effet de la prise en compte de l'effet élevage.....	111
2.2.4) Modèles de régression linéaire multiple.....	112
2.2.4.1) Maternité.....	112
2.2.4.2) Sevrage	113
2.2.5) Modèles de régression linéaire répétée	115
2.2.5.1) Effet de l'élevage.....	115
2.2.5.2) Effet du mode de logement en maternité.....	115
2.2.5.3) Effet de la socialisation précoce	116
3.1) Méthode de prélèvement et de stockage des soies.....	118
3.2) Facteurs influençant les taux de cortisol pileire.....	119
3.2.1) Effet de l'âge sur les taux de cortisol pileire	119
3.2.2) Effet de l'élevage.....	120
3.2.3) Effet du gabarit et du poids	121
3.2.4) Effet du sexe.....	121

3.2.5) Effet des modalités de logement en maternité.....	122
3.2.6) Effet de la socialisation précoce	123
3.2.7) Effet du délai entre le jour de la visite et le jour du sevrage	124
3.2.8) Effet du rang de portée des truies	124
3.3) Modèles de régression linéaire par stade	125
CONCLUSION	127
BIBLIOGRAPHIE	129
ANNEXES	141

Liste des annexes

Annexe 1: Support relevé d'information en élevage	141
Annexe 2: Suivi des pathologies et anomalies en élevage.....	147
Annexe 3: Feuille de suivi porcelets en maternité	148
Annexe 4: Feuille de suivi des porcs au sevrage et en engraissement.....	149
Annexe 5: Légende base de données des porcs	150
Annexe 6: Effectifs en maternité.....	151
Annexe 7: Effectifs au sevrage	151
Annexe 8: Effectifs en début d'engraissement	152
Annexe 9: Effectifs en fin d'engraissement.....	152

Liste des tableaux

Tableau I: Résumé des caractéristiques des élevages	51
Tableau II: Nombre de porcelets par élevage et par rang de portée de la mère	61
Tableau III : Effectifs des gabarit des porcelets dont les poils ont pu être dosés en maternité.....	63
Tableau IV: Signes cliniques et lésions observés lors du sevrage.....	68
Tableau V : Effectifs des gabarit des porcelets dont les poils ont pu être dosés au sevrage	68
Tableau VI: Signes cliniques et lésions observés en début d'engraissement	71
Tableau VII: Signes cliniques et lésions observés en fin d'engraissement.....	73
Tableau VIII: Concentration de cortisol pileire des porcs aux différents stades.....	74
Tableau IX: Tableau de significativité du stade (* = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; *** = p-value < 0,001 ; Mater = Maternité, Se = Sevrage, DEng = Début d'engraissement, FEng = Fin d'engraissement)	75
Tableau X: Résultats des dosages de cortisol pileire en maternité. Les valeurs de cortisol sont exprimées en pg/mg de soies	79
Tableau XI: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les élevages en maternité (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)	80
Tableau XII: Résultats des dosages de cortisol pileire au sevrage. Les valeurs de cortisol sont exprimées en pg/mg de soies.....	81
Tableau XIII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les élevages au sevrage (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)	82
Tableau XIV: Résultats des dosages de cortisol pileire en début d'engraissement. Les valeurs de cortisol sont exprimées en pg/mg de soies.....	83
Tableau XV: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les élevages en début d'engraissement (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)	84
Tableau XVI: Résultats des dosages de cortisol pileire en fin d'engraissement. Les valeurs de cortisol sont exprimées en pg/mg de soies.....	85
Tableau XVII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les élevages en fin d'engraissement (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001).....	86
Tableau XVIII: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par classes d'âge homogénéisées par effectifs en maternité	88
Tableau XIX: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire par classes d'âge homogénéisées par effectifs en maternité (*=p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)	89
Tableau XX Effectifs dosés et concentrations moyenne de cortisol pileire par classes d'âge au sevrage	90
Tableau XXI: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par classes d'âge en début d'engraissement	91
Tableau XXII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire par classes d'âge en début d'engraissement (*=p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)	92
Tableau XXIII: Effectifs dosés et moyenne de cortisol pileire par classes d'âge en fin d'engraissement	93
Tableau XXIV: Significativité des différences par classes d'âge en fin d'engraissement (*=p-value < 0,05 , ** = p-value < 0,01 , *** = p-value < 0,001)	94
Tableau XXV: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par classe de poids en maternité.....	96
Tableau XXVI: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les classes de poils en maternité (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001).....	97
Tableau XXVII: Effectifs dosés par classe de poids en post sevrage	98

Tableau XXVIII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les classes de poils au sevrage (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)	98
Tableau XXIX: Effectifs par classes de poids en début d'engraissement	99
Tableau XXX: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les classes de poils en début d'engraissement (* =p-value<0,05 ; *** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001).....	99
Tableau XXXI: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire en fonction du gabarit des porcelets en maternité	100
Tableau XXXII: Significativité du gabarit en maternité (* =p-value<0,05 ; *** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)	100
Tableau XXXIII: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire en fonction du gabarit des porcelets au sevrage	101
Tableau XXXIV: Significativité du gabarit au sevrage (* =p-value<0,05 ; *** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)	101
Tableau XXXV: Effectifs dosés en fonction du gabarit des porcs en début et fin d'engraissement.....	101
Tableau XXXVI: Effectifs dosés et concentrations moyennes de cortisol en fonction du sexe au sevrage	102
Tableau XXXVII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire en fonction du sexe au sevrage (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001 ; ME = Mâles entiers ; MC = Mâles castrés ; F = Femelles)	102
Tableau XXXVIII: Effectifs dosés et concentrations moyennes de cortisol en fonction du sexe en début d'engraissement	103
Tableau XXXIX: Effectifs dosés et concentrations moyennes de cortisol en fonction du sexe en fin d'engraissement	103
Tableau XL: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire en fonction du sexe en fin d'engraissement (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001 ; ME = Mâles entiers ; MC = Mâles castrés ; F = Femelles)	103
Tableau XLI: Concentration moyenne de cortisol pileire en fonction du mode de logement en maternité au différents stades et significativité (MPA = Maternité plein-air; MB = Maternité en bâtiment)	104
Tableau XLII: Concentration moyenne de cortisol pileire par stade avec et sans socialisation précoce et significativité.....	105
Tableau XLIII: Effectifs dosés et concentration moyenne par classe de jours de délai entre le jour de la visite et le sevrage	106
Tableau XLIV: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par rang de portée en maternité.....	107
Tableau XLV: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire en fonction du rang de portée de la mère en maternité (* =p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001).....	108
Tableau XLVI: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par rang de portée au sevrage	108
Tableau XLVII: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par rang de portée en début d'engraissement	109
Tableau XLVIII: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par rang de portée en fin d'engraissement	109
Tableau XLIX: Effectifs dosés en fonction de la repousse des poils en début d'engraissement.....	110
Tableau L: Significativité des effets en fonction de la mise de l'effet élevage en variable aléatoire ou non (NE = Non étudié ; Vert = Significatif ; Rouge = Non significatif ; Orange = Effet significatif mais pas de différence significative entre les groupes ; * = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; ***=p-value < 0,001)	112
Tableau LI: Valeur prédictive, significativité et groupe du modèle multivarié en maternité en fonctions des prédicteurs.....	113

Tableau LII: Eta ² en fonction des facteurs en maternité	113
Tableau LIII: Valeur prédictive et significativité du modèle multivarié au sevrage et groupe en fonction des prédicteurs.....	114
Tableau LIV: Eta ² en fonction des facteurs au sevrage	114
Tableau LV: Concentration moyenne en maternité en fonction de l'espèce, valeurs décroissantes de cortisol de gauche à droite	119
Tableau LVI: Valeurs de cortisol pileire observées par stade dans notre étude et par Heimbürge	120

Liste des figures

Figure 1 : Formule chimique développée de la corticostérone (National Institut of Health)	35
Figure 2 : Représentation 3D avec remplissage moléculaire des espaces du cortisol (National Institut of Health).....	35
Figure 3 : Formule chimique développée de la corticostérone (National Institut of Health)	35
Figure 4 : Représentation 3D avec remplissage moléculaire des espaces de la corticostérone (National Institut of Health).....	35
Figure 5: Schéma de l'axe hypothalamo-hypophysaire	36
Figure 6: Localisation et irrigation des glandes surrénales (Turquetil, Reznik 2019).....	37
Figure 7: Anatomie d'une glande surrénale (Turquetil, Reznik 2019)	37
Figure 8: Schéma général de synthèse du cortisol (Levallois et al., 2023 d'après Fulla et al. 2009)	37
Figure 9: Imprégnation et dégradation du cortisol dans les poils	41
Figure 10: Chronologie des visites au cours de la vie de l'animal	53
Figure 11: Zone de prélèvement des soies (zone P) et pose d'une boucle auriculaire identifiée par un numéro	54
Figure 12: Protocole d'extraction et de dosage du cortisol pileaire (d'après (Ghassemi Nejad et al. 2022))	56
Figure 13: Effectifs de porcelets inclus dans l'étude en fonction des élevages en maternité	60
Figure 14: Effectifs de porcelets par âge en maternité.....	62
Figure 15: Poids de tous les porc prélevés en maternité	62
Figure 16: Poids des porcs dont les échantillons ont été dosés en maternité.....	63
Figure 17: Répartition du poids des porcelets en fonction de leur âge en maternité	63
Figure 18: Poids en fonction du gabarit en maternité	64
Figure 19: Effectifs de porcelets inclus dans l'étude en fonction des élevages au sevrage	65
Figure 20: Effectifs de porcs dont le cortisol pileaire a été dosé par âge au sevrage	66
Figure 21: Nombre d'élevages en fonction du délai (en jours) entre la date de prélèvement et la date du sevrage	66
Figure 22: Poids de l'ensemble des porcs prélevés au sevrage	67
Figure 23: Poids des porcs dont le cortisol pileaire a été dosé au sevrage	67
Figure 24: Poids en fonction de l'âge au sevrage	68
Figure 25: Poids en fonction du gabarit au sevrage	69
Figure 26: Effectifs de porcs inclus dans l'étude en fonction des élevages en début d'engraissement ..	69
Figure 27: Effectifs de porcs dosés par âge en début d'engraissement	70
Figure 28: Effectifs de porcs en fonction du poids en début d'engraissement.....	70
Figure 29: Poids des porcs dont le cortisol pileaire a été dosé en début d'engraissement	71
Figure 30: Effectifs de porcs inclus dans l'étude en fonction des élevages en fin d'engraissement	72
Figure 31: Effectifs par âge en fin d'engraissement.....	73
Figure 32: Concentration de cortisol pileaire en fonction du stade	74
Figure 33: Distribution des concentrations de cortisol pileaire en maternité	75
Figure 34: Distribution des concentrations de cortisol pileaire au sevrage	76
Figure 35: Distribution des concentration de cortisol pileaire en début d'engraissement	76
Figure 36: Distribution des concentrations de cortisol pileaire en fin d'engraissement	77
Figure 37: Concentration de cortisol pileaire en fonction de l'âge des porcs	77
Figure 38: Concentration de cortisol pileaire en fonction du poids des porcs.....	78
Figure 39: Concentration de cortisol pileaire par élevage en maternité	80
Figure 40: Concentration de cortisol pileaire par élevage au sevrage	81
Figure 41: Concentration de cortisol pileaire par élevage en début d'engraissement	83

Figure 42: Concentration de cortisol pileire par élevage en fin d'engraissement.....	85
Figure 43: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jours en maternité	87
Figure 44: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jour en maternité	88
Figure 45: Concentration de cortisol pileire par classes d'âge homogénéisées par effectifs en maternité	88
Figure 46: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jours au sevrage	89
Figure 47: Concentration de cortisol pileire par classes d'âge au sevrage	90
Figure 48: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jours en début d'engraissement ...	91
Figure 49: Concentration de cortisol pileire par classes d'âge en début d'engraissement.....	92
Figure 50: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jours en fin d'engraissement.....	93
Figure 51: Concentration de cortisol pileire par classes d'âge en fin d'engraissement	94
Figure 52: Répartition de la concentration de cortisol pileire en fonction du poids en maternité	95
Figure 53: Répartition de la concentration de cortisol pileire en fonction du poids au sevrage.....	95
Figure 54: Répartition de la concentration de cortisol pileire en fonction du poids en début d'engraissement	96
Figure 55: Taux de cortisol pileire par classe de poids en maternité	97
Figure 56: Taux de cortisol pileire par classe de poids au sevrage	98
Figure 57: Taux de cortisol pileire par classe de poids en début d'engraissement.....	99
Figure 58: Concentration de cortisol pileire en fonction du gabarit par stade.....	100
Figure 59: Concentration de cortisol pileire en fonction du sexe par stade.....	102
Figure 60: Concentration de cortisol pileire en fonction du lieux de naissance par stade.....	104
Figure 61: Cortisol pileire en fonction de la socialisation précoce par stade	105
Figure 62: Taux de cortisol pileire en fonction du nombre de jours entre la visite et le sevrage.....	106
Figure 63: Concentration de cortisol en fonction du rang de porté de la mère en maternité	107
Figure 64: Concentration de cortisol pileire en fonction du rang de portée de la mère au sevrage.....	108
Figure 65: Concentration de cortisol en fonction du rang de portée de la mère en début d'engraissement	109
Figure 66: Concentration de cortisol en fonction du rang de portée de la mère en fin d'engraissement	110
Figure 67: Concentration de cortisol pileire en fonction de la repousse de poils en début d'engraissement	111
Figure 68: Evolution des concentrations de cortisol pileire en fonction de l'élevage (M = Maternité, S = Sevrage, EngD = Début d'engraissement, EngF = Fin d'engraissement)	115
Figure 69: Evolution des concentrations de cortisol pileire en fonction du mode de logement en maternité (M = Maternité, S = Sevrage, EngD = Début d'engraissement, EngF = Fin d'engraissement)	116
Figure 70: Evolution des concentrations de cortisol pileire en fonction de la mise e, place ou non d'une socialisation précoce (M = Maternité, S = Sevrage, EngD = Début d'engraissement, EngF = Fin d'engraissement)	116

Abréviation

3 β HSD : 3 β -hydroxy-stéroïde déshydrogénase

BSE : Bilan Sanitaire d'Élevage

CBG : Corticosteroid binding globulin

CE : Communauté européenne

CLU : Cortisol libre urinaire

DHEA: Déhydroépiandrostérone

ELISA : Dosage immuno-enzymatique (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)

GTE : Gestion technico-économique

GTTT : Gestion technique du troupeau de truies

LC-HRMS/MS : Spectrophotométrie de masse (Liquid Chromatography-High Resolution Mass Spectrometry/Mass Spectrometry)

INAO : Institut national de l'origine et de la qualité

RIA : Radioimmunoassay

UE : Union Européenne

INTRODUCTION

La demande sociétale concernant le bien-être animal se fait de plus en plus pressante. Les pratiques d'élevage porcin qualifiées de « conventionnelles » voire « industrielles » sont de plus en plus critiquées par la société. L'élevage biologique, instauré avec la création du label Agriculture Biologique en 1985, propose un modèle d'élevage qui répond davantage aux attentes sociétales relatives au bien-être animal ainsi qu'à la préservation des ressources naturelles et de l'environnement.

Dans le but de satisfaire cette exigence sociétale de bien-être animal en élevage, les chercheurs s'efforcent d'établir des indicateurs pertinents. Le cortisol pileire, c'est-à-dire le cortisol présent dans les poils, est un indicateur très étudié à l'heure actuelle. En effet, le cortisol, parfois désigné sous le terme « hormone du stress », est sécrété en grande quantité lors d'événements stressants. Le cortisol pileire semble refléter la concentration plasmatique de cortisol tout au long du cycle de croissance des poils, bien que les mécanismes d'inclusion restent peu décrits.

Ce manuscrit fait suite aux travaux de thèse réalisés par Alexandre BOURASSEAU en 2023, qui a analysé le cortisol pileire des porcs depuis leur naissance jusqu'au sevrage.

Les objectifs de cette thèse sont doubles. D'une part, il s'agit de créer une base de données sur les concentrations de cortisol pileire chez les porcs charcutiers élevés en agriculture biologique, allant de la naissance à l'abattage ; d'autre part, il convient de déterminer si les valeurs faibles observées dans une étude préliminaire dans deux élevages biologiques sont également retrouvées.

Dans une première partie, nous présenterons le cadre réglementaire et la diversité des élevages biologiques français. Puis, nous étudierons les mécanismes de synthèse du cortisol pileire et ses rôles. Enfin, nous présenterons les différentes matrices permettant le dosage du cortisol et nous ferons un focus sur le dosage conjoint du cortisol avec la DHEA que l'on retrouve dans un certain nombre de publications.

Dans la deuxième partie, nous présenterons l'étude de terrain dans 15 élevages de porcs charcutiers biologique de la naissance à l'abattage.

Enfin dans la troisième partie, nous discuterons les résultats de notre étude de terrain en les confrontant à la bibliographie.

Partie 1 : Bibliographie

Dans cette première partie, nous exposerons le cadre réglementaire ainsi que la diversité des élevages biologiques en France. Ensuite, nous analyserons les mécanismes de synthèse du cortisol capillaire et ses fonctions. Enfin, nous aborderons les différentes matrices utilisées pour le dosage du cortisol et mettrons l'accent sur le dosage concomitant du cortisol avec la DHEA, tel qu'il est mentionné dans plusieurs publications.

1.1) Réglementation et place de l'agriculture biologique en élevages porcins en France.

1.1.1) Définition

Le parlement et le conseil européens dans leur règlement (UE) 2018/848 du 30 mai 2018 définissent la production biologique comme : « Un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques en matière d'environnement et d'action pour le climat, un degré élevé de biodiversité, la préservation des ressources naturelles et l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et des normes de production élevées répondant à la demande exprimée par un nombre croissant de consommateurs désireux de se procurer des produits obtenus grâce à des substances et à des procédés naturels. »

Nous pouvons en extraire 3 points cardinaux :

- Le respect des ressources et la préservation de l'environnement.
- Le respect du bien-être animal
- La réponse à une demande sociétale cherchant des systèmes « plus naturels »

1.1.2) Cadre réglementaire

Le cadre réglementaire est défini depuis le 1^{er} janvier 2022 par le règlement européen (UE) 2018/848 abrogeant les anciens règlements (CE) n°834/2007, (CE) n°889/2008 et (CE) n°1235/2008 (*Règlement (UE) 2018/848 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques, et abrogeant le règlement (CE) no 834/2007 du Conseil 2018*). Le cadre européen étant défini par un règlement, il est directement applicables dans les Etats membres (Publications Office of the European Union 2022). Des règlements d'exécution ont également été proclamés par l'Union Européenne afin de préciser certains articles du règlement de 2018. À l'échelle française, l'INAO (Institut National de l'Origine et de la Qualité) définit un cahier des charges national lorsqu'il n'existe pas de règles spécifiques à l'échelle de l'Union Européenne. Il propose, par filière, différents documents, comme un guide de lecture des textes réglementaires (INAO 2024). Ces documents doivent servir de référence pour l'interprétation des textes par tout intervenant de la filière.

Le contrôle et la vérification de la bonne application des règles et normes est réalisé par les organismes certificateurs (OC), agréés par l'INAO.

1.1.3) Cahier des charges en élevage biologique porcin

Les informations du cadre juridique sont issues du règlement européen (UE) 2018/848 du 30 mai 2018, sauf indication contraire. Nous vous présentons ici un résumé des points les plus importants.

1.1.3.1) Principes généraux

L'élevage hors sol est interdit (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.1). Les porcs doivent être inclus dans la filière dès leur naissance pour pouvoir être intégrés dans la charte lors de l'engraissement. Il est cependant possible d'introduire, à des fins de reproduction uniquement, des porcs non inclus dans la charte si aucun n'est disponible dans la filière biologique, sous réserve du respect de certaines conditions (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.3.4.4).

1.1.3.2) Alimentation

Au moins 30 % de l'alimentation doit provenir de l'exploitation (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.9.3.1.a). Des dérogations sont possibles en cas de contextes particuliers (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.9.3.1.c). Des fourrages grossiers, frais, séchés ou ensilés sont ajoutés à la ration journalière (sans pourcentage minimum préconisé par le règlement) (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.9.3.1.b). Les oligo-éléments tels que le fer, l'iode, le cobalt, le cuivre, le manganèse, le zinc, le molybdène et le sélénium, sous certaines formes, ainsi que les vitamines de synthèse identiques à celles provenant du monde agricole, sont autorisés en appellation biologique. Les formes injectables ne sont pas autorisées (Règlement d'exécution 2021/1165, Annexe II, Paragraphe 3.a,b) (*Règlement d'exécution (UE) 2021/1165 de la Commission du 15 juillet 2021 autorisant l'utilisation de certains produits et substances dans la production biologique et établissant la liste de ces produits et substances (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) 2021*). Les acides aminés de synthèse sont autorisés uniquement comme traitement allopathique et doivent être accompagnés d'une ordonnance du vétérinaire (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.4.1.f).

1.1.3.3) Soins et sevrage du porcelet

Les porcelets doivent être sevrés au plus tôt à 40 jours de vie (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.4.1.g ; Règlement d'exécution 2020/464, Chapitre II, Partie 3, Article 9). La coupe des dents et des queues des porcelets est interdite, comme en élevage conventionnel (*Directive 91/630/CEE du Conseil, du 19 novembre 1991, établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs 1991*). De même, comme en élevage conventionnel, la castration doit être réalisée sous anesthésie locale et/ou analgésie si le porcelet a moins de 7 jours. Elle doit être réalisée sous anesthésie générale si le porcelet a plus de 7 jours, uniquement dans un cadre dérogatoire (Annexe II, Partie II, Paragraphes 1.7.9 et 1.7.10). L'immuno-castration est interdite. La pose de boucle nasale en élevage porcin ne peut être utilisée que dans les ateliers porc plein-air intégral et avec justification (INAO 2024).

1.1.3.4) Prophylaxie et soins vétérinaires.

Aucun médicament allopathique chimique de synthèse (y compris les bolus de molécules allopathiques chimiques) ne peut être utilisé à des fins préventives, hormis les vaccins (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.5.1.3). Les traitements « doux » efficaces (phytothérapie, homéopathie...) doivent être privilégiés par rapport aux traitements allopathiques chimiques de synthèse (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.5.2.2). Les traitements « conventionnels » peuvent être utilisés en élevage porcin dans la limite de trois traitements par an, ou d'un traitement si la période productive est de moins d'un an. Les vaccins et antiparasitaires, dûment justifiés par une ordonnance vétérinaire, ne sont pas comptabilisés (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.5.2.4). Les délais d'attente doivent être doublés ; dans le cas où le délai d'attente est de 0, un délai forfaitaire de 48 heures est appliqué (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.5.2.4).

1.1.3.5) Logement et hygiène des locaux

Les porcs doivent avoir un accès à l'extérieur, au minimum en courette, à tous les stades. La courette doit être découverte à hauteur de 5 % minimum pour les anciens bâtiments et de 50 % minimum pour les bâtiments neufs (INAO 2024). Les bâtiments d'élevage doivent offrir une bonne qualité d'aération et un éclairage naturel abondant (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.6.1). De plus, au moins la moitié de la surface intérieure et extérieure doit être bétonnée (Règlement d'exécution 2020/464, Chapitre II, Partie 3, Article 11). Les truies doivent vivre en groupe, sauf en fin de gestation et pendant l'allaitement (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.9.3.2.d). Les produits de nettoyage autorisés sont énumérés dans une liste positive (Annexe II, Partie II, Paragraphe 1.5.1.6).

1.1.4) Place de l'élevage biologique porc en France

L'élevage de porcs biologiques en France reste très marginal. En 2020, seulement 5,5 % des élevages de porcs, représentant 1,7 % du cheptel porcin français, possédaient un atelier porc biologique (Arnett et al. 2016; Roguet 2023).

Bien que ce cheptel soit faible, l'élevage de porcs biologiques se distingue par sa grande diversité : maternité en bâtiment ou en plein air, parcours extérieurs ou courettes, castration des mâles ou non, etc. Comme nous le verrons dans notre partie expérimentale, cette diversité est bien représentée dans les élevages étudiés.

Cependant, depuis 2020, la filière du porc biologique connaît une crise de surproduction. Cette situation est la conséquence des crises économiques et de la baisse relative de la consommation de produits biologiques en comparaison avec la période de crise de la COVID-19. Durant la pandémie, la consommation de produit biologique avait largement augmenté (Moullot 2023; Jourdain 2023). Le nombre de truies reproductrices en élevage biologique a baissé de 12 % entre 2022 et 2023, alors qu'il avait connu une croissance à deux chiffres entre 2009 et 2020 (Agence Bio 2024) . De plus, selon l'Agence Bio, rapportée par produire-bio.fr, en 2023, 36 % des porcs élevés selon la charte biologique ont été déclassés lors de l'abattage. C'est à dire vendu après abattage comme porcs conventionnel (FEDERATION NATIONALE D'AGRICULTURE BIOLOGIQUE 2024).

1.2) Le cortisol

1.2.1) Rappel physiologique : Synthèse et rôle des glucocorticoïdes

1.2.1.1) Structure moléculaire des principaux gluco-corticoïdes

Le dihydroxy-17-(2-hydroxyacetyl)-10,13-diméthyl-2,6,7,8,9,11,12,14,15,16-décahydro-1H-cyclopenta[a]phénanthrène-3-one plus communément appelé cortisol ou hydrocortisone est une molécule de masse molaire $M=362$ g/mol dont la formule brute est : $C_{21}H_{30}O_5$.

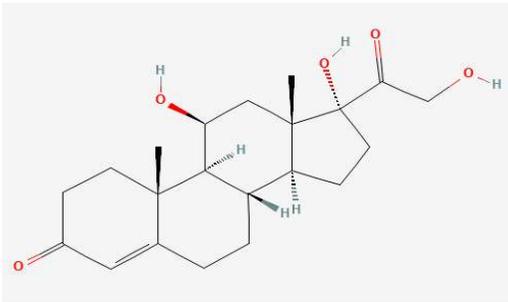


Figure 1 : Formule chimique développée de la corticostérone (National Institut of Health)

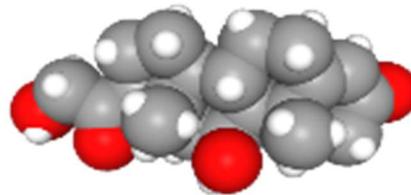


Figure 2 : Représentation 3D avec remplissage moléculaire des espaces du cortisol (National Institut of Health)

Chez les oiseaux, le principal glucocorticoïde est le (11 β)-11,21-dihydroxypregn-4-ène-3,20-dione plus communément appelé corticostérone de masse moléculaire $M=346$ g/mol et de formule brute $C_{21}H_{30}O_4$.

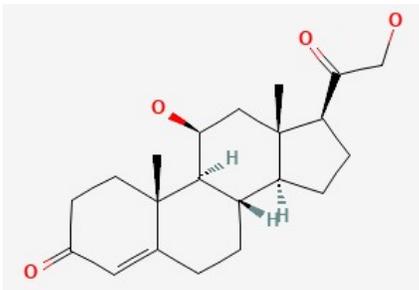


Figure 3 : Formule chimique développée de la corticostérone (National Institut of Health)

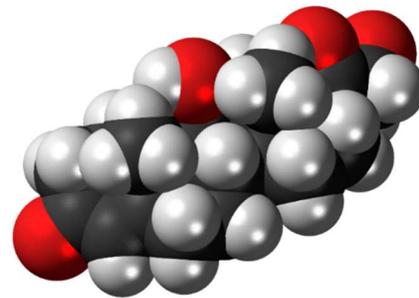


Figure 4 : Représentation 3D avec remplissage moléculaire des espaces de la corticostérone (National Institut of Health)

1.2.1.2) Axe hypothalamo-hypophysaire

L'axe hypothalamo-hypophysaire peut être décomposé en trois sections : l'hypothalamus, l'hypophyse et la corticosurrénale (Arnett et al. 2016) . Le cortisol est l'hormone principale de cet axe chez les bovins, les ovins, les porcs et les poissons, tandis que chez les oiseaux, l'hormone principale est la corticostérone (Mormède et al. 2007). La cascade débute dans l'hypothalamus, où les noyaux paraventriculaires libèrent dans les veines portes hypothalamo-hypophysaires deux hormones : la CRF (*corticotropin-releasing factor* ou *corticotropin-releasing hormone* (CRH)) et la vasopressine. Ces dernières stimulent la partie antérieure de l'hypophyse (ou glande pituitaire, *pituitary gland*), qui produit et sécrète dans le flux sanguin l'ACTH (*adrenocorticotopic hormone*). Cette hormone agit sur la partie corticale des surrénales (ou *adrenal gland*) pour permettre la synthèse des glucocorticoïdes. Le cortisol exerce un rétrocontrôle négatif sur l'axe. (Stephens, Wand 2012; Fulla et al. 2009) (Figure 5). La production du cortisol suit un rythme circadien, avec un pic de production vers 6 heure le matin (Mohd Azmi et al. 2021).

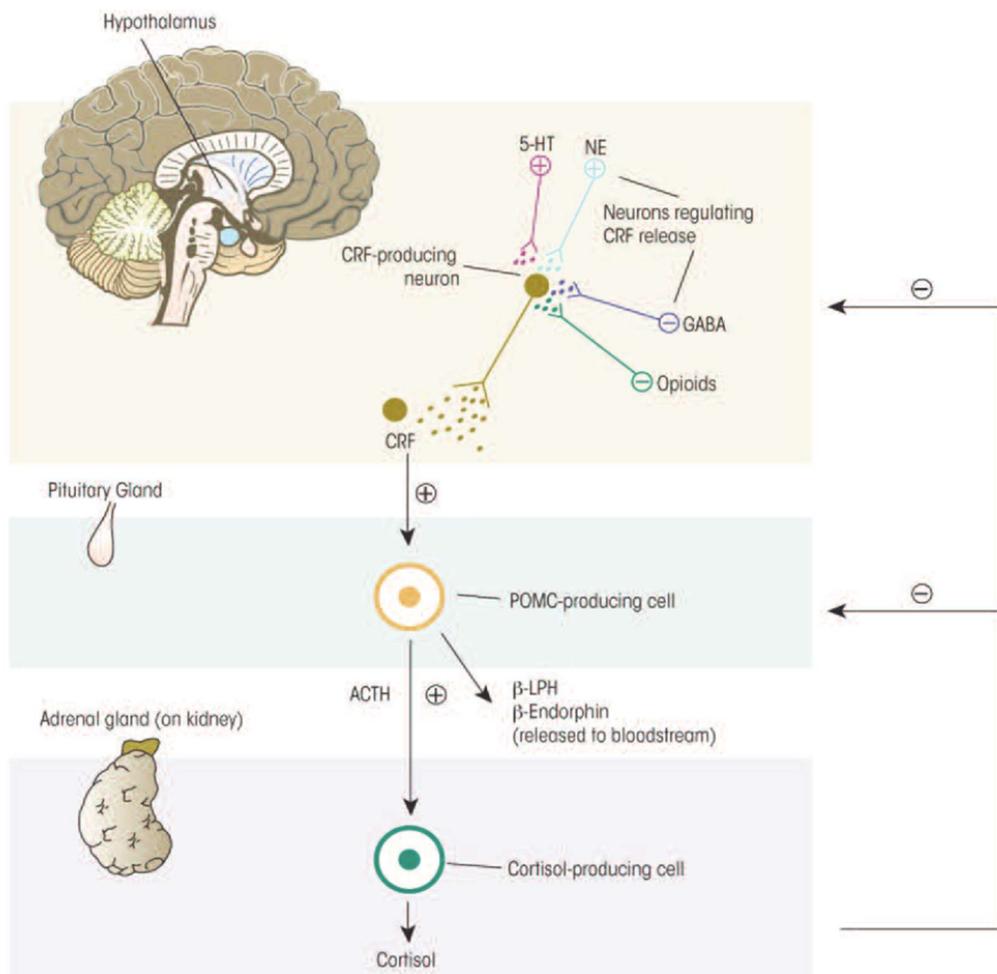


Figure 5: Schéma de l'axe hypothalamo-hypophysaire

1.2.1.3) Synthèse des glucocorticoïdes

La production de cortisol se déroule dans la zone fasciculée du cortex surrénalien (Figure 7, Figure 6).

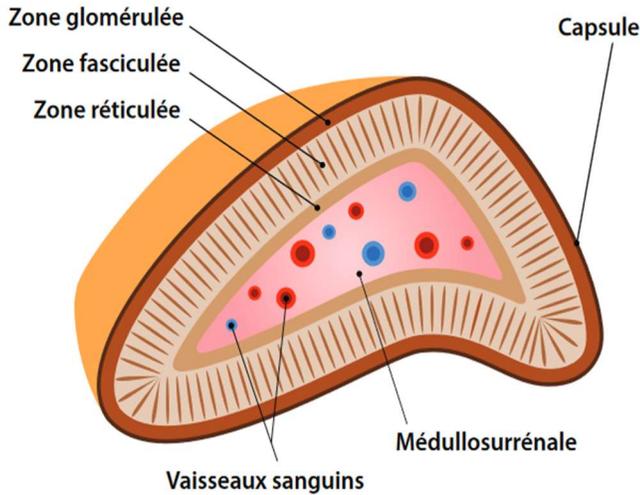


Figure 7: Anatomie d'une glande surrénale (Turquetil, Reznik 2019)

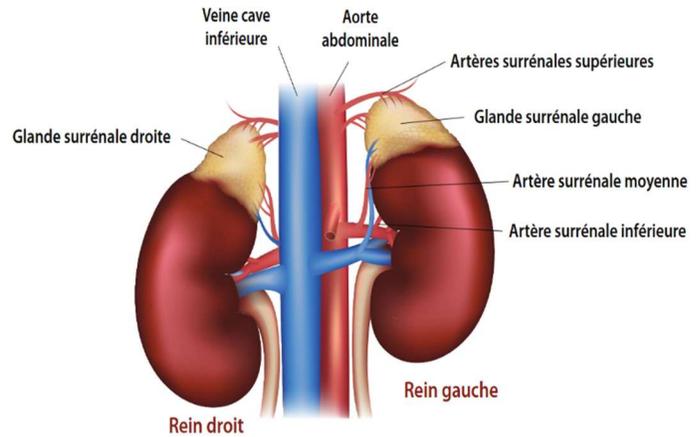


Figure 6: Localisation et irrigation des glandes surrénales (Turquetil, Reznik 2019)

Le cortisol est produit grâce aux enzymes de la famille des cytochromes P450 (17 α -, 11 β -, 21-hydroxylases) et à la 3 β -hydroxy-stéroïde déshydrogénase (3 β HSD). Elles déclenchent une cascade de réactions à partir du cholestérol. Le cortisol, issu de la voie des glucocorticoïdes, est synthétisé à partir de 11-désoxycortisol par l'action de la 11 β -hydroxylase (Figure 8). L'aldostérone, issue de la voie des minéralocorticoïdes, est synthétisée à partir de 11-désoxycorticostérone (Fulla et al. 2009). Le cortisol, étant hydrophobe, circule dans le sang lié à 90 %, principalement à la transcortine, également appelée cortisol-binding protein (CBG), une protéine de transport spécifique et dans une moindre mesure, à l'albumine (Turquetil, Reznik 2019)

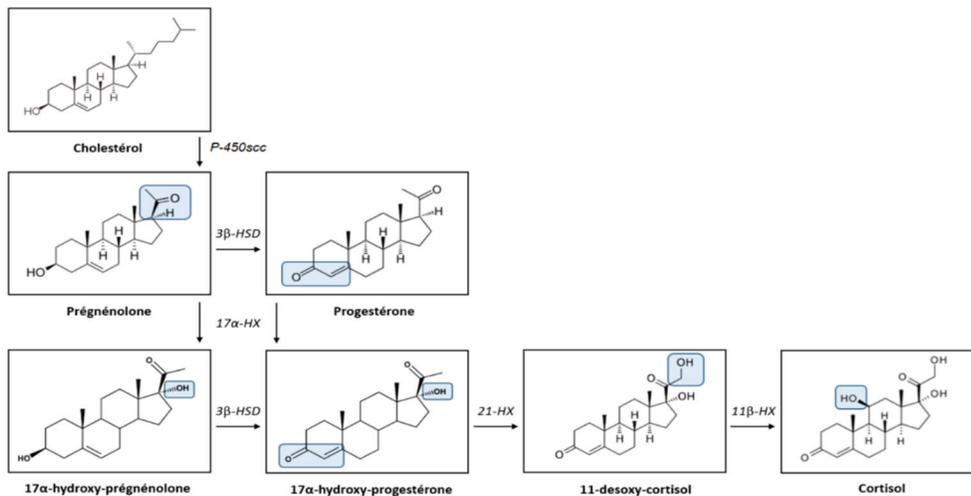


Figure 8: Schéma général de synthèse du cortisol (Levallois et al., 2023 d'après Fulla et al. 2009)

1.2.1.4) Rôles du cortisol

Cette partie est rédigé à partir de la publication de A. Szymanowicz (Szymanowicz 2011)

Le cortisol est une hormone qui agit principalement via des récepteurs intracellulaires (cytoplasmiques ou nucléaires), modulant la transcription de l'ADN et influençant ainsi de nombreux processus biologiques. Il joue un rôle central dans le maintien de l'homéostasie corporelle, en particulier dans les situations de stress, telles que les infections, les interventions chirurgicales ou les infarctus.

- Sur le **métabolisme glucidique**, le cortisol augmente les niveaux de glucose dans le sang en stimulant la néoglucogenèse et en réduisant la captation du glucose par les cellules, permettant ainsi une libération d'énergie à partir des réserves hépatiques. Il a également une action anabolisante à dose physiologique, mais peut stimuler la lipolyse dans différents tissus.
- Sur le **système cardiovasculaire**, le cortisol augmente la sensibilité des vaisseaux sanguins aux agents hypertenseurs et favorise la synthèse des catécholamines (adrénaline et noradrénaline), tout en inhibant leur dégradation. Cela contribue à l'augmentation de la pression artérielle, en particulier en cas d'hypercortisolisme. De plus, il réduit l'efficacité des agents vasodilatateurs sur l'endothélium.
- Au niveau du **système immunitaire**, il a un fort effet anti-inflammatoire. Il favorise la migration des lymphocytes et des éosinophiles vers les organes lymphatiques, inhibe la production de cytokines et d'interleukines, et diminue la réponse inflammatoire. Il favorise également l'apoptose des lymphocytes T et B, ce qui réduit l'activité immunitaire.
- Sur le **squelette**, le cortisol a un effet catabolisant à haute dose, inhibant l'absorption du calcium et ralentissant la croissance osseuse chez les enfants. Chez les adultes, un excès de cortisol peut entraîner une ostéoporose.
- Au niveau de la **peau**, une exposition chronique au cortisol dégrade le derme en augmentant la synthèse d'enzymes qui dégradent la matrice extracellulaire et en inhibant la production de collagène. Cela entraîne une diminution des propriétés mécaniques de la peau et un retard de la cicatrisation des plaies.

1.2.1.5) Particularité de la synthèse de glucocorticoïdes chez les oiseaux

La synthèse des glucocorticoïdes chez les oiseaux est très similaire à celle des mammifères, mais présente plusieurs différences. Le principal glucocorticoïde chez les oiseaux est la corticostérone, avec un rapport de 20:1 entre la corticostérone et le cortisol (Mormède et al. 2007; Etches 1979; Simensen et al. 1978).

L'axe hypothalamo-hypophysaire a une importance moindre chez les oiseaux que chez les mammifères. Par exemple, une hypophysectomie chez les cailles est associée à une faible diminution de la hypocorticostéronémie. Chez les dindes, l'hypophysectomie n'entraîne pas de modification significative des niveaux de corticostérone (Mormède et al. 2007). De plus, une augmentation de la libération d'ACTH dans la circulation sanguine est généralement associée à une prolongation de la durée du pic de corticostérone, plutôt qu'à une augmentation de son intensité (Hazard et al. 2005).

Contrairement aux mammifères, les glandes surrénales des oiseaux ne présentent pas de cortex et de médulla distincts. Elles sont organisées en zones, avec deux types cellulaires sécréteurs distincts sur

le plan histologique et fonctionnel, similaires à ceux des mammifères (Kober, Aoyama, Sugita 2012). La glande surrénale gauche est souvent intégrée dans le pédicule ovarien (Biswal 1954).

Un rythme circadien de la corticostérone a été observé chez de nombreuses espèces d'oiseaux, comme les pigeons (Westerhof et al. 1994), les dindes (el-Halawani et al. 1973), les canards (Wilson, Cunningham, Morris 1982) et les poules pondeuses (Beuving, Vonder 1977). Cependant, les résultats sont controversés. Les pics de corticostérone ont lieu à différents moments de la journée selon les études chez les poules (de Jong et al. 2001; Etches 1979; Wilson, Cunningham, Morris 1982). Les variations observées pourraient être influencées par d'autres facteurs tels que la maturité sexuelle, la durée de la période de ponte ou la saison (Mormède et al. 2007).

1.3) Le poil matrice du dosage du stress chronique

1.3.1) Matrices de dosage du cortisol

Les 6 matrices les plus utilisées pour le dosage du cortisol sont: le sang, la salive, les selles, l'urine, le lait et les phanères.

1.3.1.1) Les matrices de la cortisolémie de quelques minutes à quelques heures : sang, salive et lait.

La méthode la plus commune pour le dosage du cortisol est le dosage du cortisol sanguin. En fonction des auteurs et études, le cortisol total ou libre, est dosé sur plasma ou sérum (Mormède et al. 2007). Chez les porcs, le prélèvement de sang peut-être réalisé sur buvards en pratiquant une incision de l'oreille ou de la face ventrale de la queue ou sur tube sec en pratiquant une prise de sang à la veine jugulaire. Ce prélèvement, en plus d'être relativement invasif, nécessite une contention importante générant du stress. Suite à un stress aiguë, les taux de cortisol plasmatique atteignent le pic en 20 à 40 minutes (Dickerson, Kemeny 2004; Colson et al. 2012). Le cortisol plasmatique a une demi-vie d'environ une heure chez l'homme (McKay, Cidlowski 2003). Le cortisol sanguin revient à son niveau basal après 2 à 3 heures chez les porcs (Hari, Pliska 2005).

Le dosage du cortisol salivaire est une méthode beaucoup moins invasive. Seul le cortisol libre salivaire est dosé (Mormède et al. 2007). Elle consiste à faire mâchonner un tampon à un porc pendant 60 secondes. Ce tampon est ensuite placé dans un tube à essai (Mormède et al. 2007). Cette méthode reflète de manière précise les variations de cortisolémie plasmatique (Hellhammer, Wüst, Kudielka 2009; Kirschbaum, Hellhammer 1989). Ainsi, le cortisol salivaire est utile pour évaluer les réponses au stress aigu.

Le dosage du cortisol dans le lait est une méthode moins courante. Elle est utilisée chez les ruminants uniquement. Il semble qu'il n'y ait pas d'accumulation significative de cortisol dans le lait. La concentration de cortisol dans le lait est équivalente à environ 4 à 10 % du cortisol plasmatique (rapporté par (Mormède et al. 2007)).

Ces méthodes de mesure doivent-être réalisées aux mêmes moment de la journée afin de limiter les effets du cycle circadien.

1.3.1.2) Les matrices d'élimination, reflet de la production journalière : urine et fèces.

Le cortisol libre urinaire (CLU), mesuré sur l'ensemble des urines collectées pendant 24 heures, est un excellent reflet de la production de cortisol. Cette méthode permet une meilleure évaluation de la cortisolémie basale en permettant de limiter l'influence du cycle circadien et les interactions protéiques (Mormède et al. 2007). Après l'administration de cortisol marqué au carbone 14 (14C-cortisol), les éléments radioactifs sont détectés dans l'urine quelques heures à 12 heures après l'administration selon les espèces (Palme et al. 1996). Cette méthode est difficile à mettre en œuvre en pratique dans les élevages. Elle est envisageable en laboratoire avec une cathétérisation urinaire (Hay et al. 2000).

Le dosage du cortisol dans les selles nécessite également de mesurer ses nombreux métabolites (Möstl et al. 2002). Comme le cortisol libre urinaire, le dosage du cortisol et de ses métabolites fécaux reflètent la production de cortisol. Le temps pour atteindre le pic de sécrétion varie selon les espèces : 10 à 12 heures chez les bovins (Möstl, Palme 2002), environ 16 heures chez les moutons, 1 à 1.5 jours chez les chevaux et 2 jours chez les porcs (Palme et al. 1996). Les prélèvements effectués lors de la production prolongée de glucocorticoïdes ne requièrent pas un protocole de prélèvement extrêmement strict. Cependant, en cas de stress aigu, comme un transport de deux heures chez les bovins, la modalité d'échantillonnage doit être stricte afin de ne pas rater le pic de sécrétion (Palme et al. 2000). La collecte des fèces spontanément émises est compliquée en élevage, notamment pour éviter la contamination par d'autres éléments tels que l'urine ou la litière ou lors de la présence de caillebotis.

Chez les porcs, environ 93 % du cortisol marqué au carbone 14 est éliminé par les urines, tandis que les 7 % restants sont excrétés par les selles. Ainsi, l'urine apparaît comme la meilleure matrice pour mesurer le cortisol chez les porcs (Palme et al. 1996).

1.3.1.3) Les matrices marqueurs du stress chronique : les phanères

1.3.1.3.1) Les poils

Cette méthode est non invasive et réduit la nécessité de contention.

Le principe d'incorporation du cortisol dans les poils repose sur l'observation et les mécanismes décrits par Henderson en 1993 (Henderson 1993). Bien que le mécanisme précis ne soit pas aujourd'hui connu, 5 voies d'incorporation du cortisol aux poils sont proposées (Figure 9) (Meyer, Novak 2012; Ghassemi Nejad et al. 2022; Pollock et al. 2021) :

- Incorporation par le sang à l'aide du follicule pileux en croissance
- Diffusion passive par les sécrétions des glandes sudoripares et sébacées.
- Incorporation par la production locale du follicule pileux (Ito et al. 2005)
- Diffusion passive locale des tissus environnant au poil. (Otten et al. 2022)
- Contamination par des éléments externes (urines, selles...)

Les poils reflètent la cortisolémie plasmatique pendant toute leur croissance. En effet, l'incorporation du cortisol dans la matrice pilaire se fait principalement lors de la formation du poil. Ainsi, les poils sont un indicateur des facteurs de stress chroniques. Cependant, une partie du cortisol peut-être perdu par lessivage, notamment en cas d'utilisation de produits cosmétiques, et à cause des UV. Ce phénomène s'intensifie avec la dégradation du poil (Meyer, Novak 2012; Otten et al. 2021). La section des poils permet l'étude rétrospectives des stress vécu par l'animal durant la pousse du poil. Par exemple, dans leur étude de 2020, Gardela et ses collègues ont suggéré une méthode de mesure du cortisol dans les crains des chevaux en subdivisant les 24 premiers centimètres du poil en segments de 6 centimètres. Cette approche repose sur des constatations antérieures indiquant une croissance régulière d'environ 2 centimètres par mois (Schlupp et al. 2004). Ainsi, chaque segment de 6 centimètres est considéré comme représentant une saison (Gardela et al. 2020). Cette méthode est peu adapté pour nos porcs qui ont des poil trop courts.

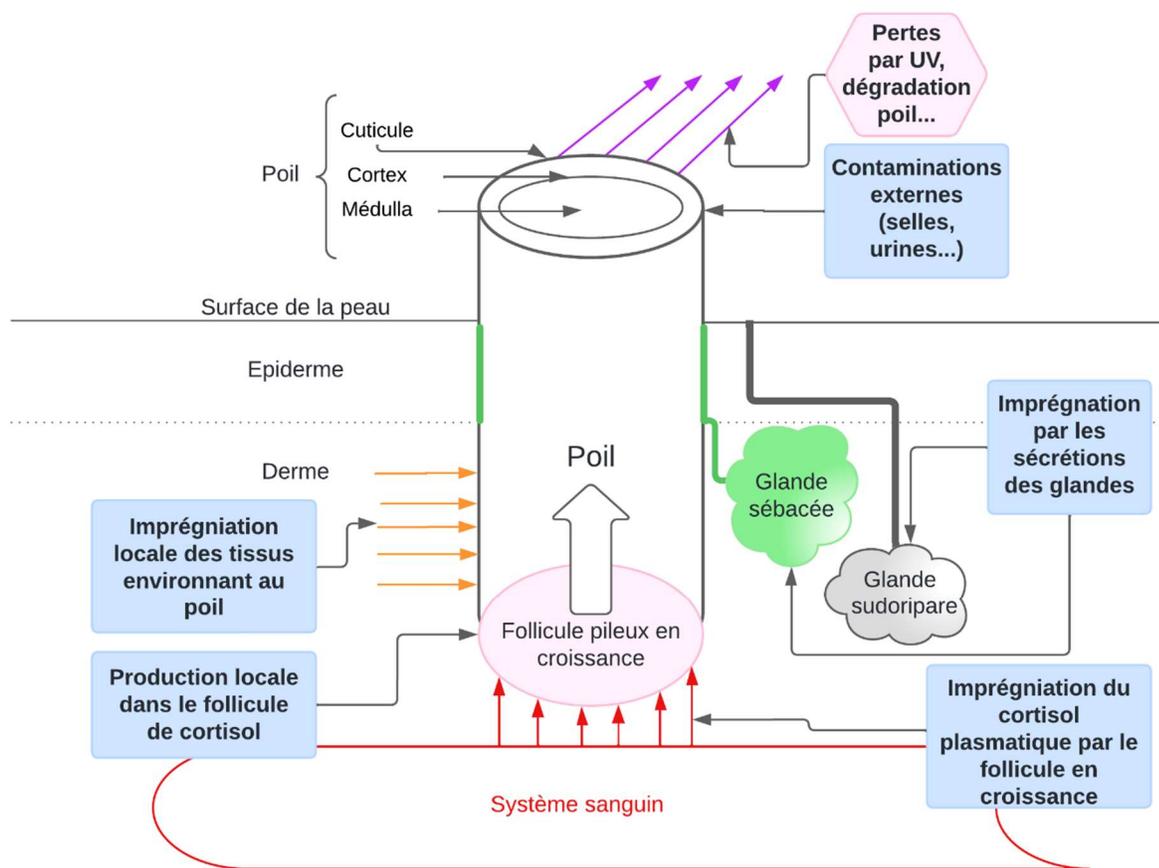


Figure 9: Imprégnation et dégradation du cortisol dans les poils

1.3.1.3.2) Les plumes

Le cortisol plumeux est un reflet de la corticostérone circulante (Weimer et al. 2018). Bortolotti et son équipe ont été les premiers à réaliser le dosage du cortisol contenu dans les plumes en 2008. Les méthodes sont très similaires à celles pour les poils. Cependant, les valeurs ne sont pas exprimées en pg de cortisol par mg de plume (pg/mg) mais en pg de cortisol par mm de plume (pg/mm). Le choix de cette unité est basé sur une étude qui consiste à placer des perdrix dans un environnement où les facteurs de stress varient le moins possible. Cette étude montre que lorsqu'on prend des sections de plumes de tailles égales, les concentrations de cortisol pilaire sont constantes sur toute la longueur des plumes. Par contre, pour une même unité de poids, les concentrations de cortisol pilaire ne sont pas égales entre deux sections de la plume. En effet, le cortisol est inclus dans la plume lors de sa formation. De plus la plume n'est pas de même forme entre sa base et son apex. Enfin, la pousse de la plume est constante. Tout cela, explique pourquoi les concentrations de cortisol pilaire ne varient pas le long de la plumes (Bortolotti et al. 2008). Comme pour les poils, les plumes peuvent être sectionnées pour réaliser une étude rétrospective des concentrations de cortisol pilaire sur la longueur de la plume (Bortolotti et al. 2009). Les concentrations de corticostérone sont différentes entre les vanes et le rachis des plumes (Häffelin et al. 2020).

1.3.2) Facteurs influençant les taux de cortisol des phanères

De nombreux paramètres peuvent influencer les concentrations de cortisol des phanères chez es animaux nous allons ici faire un tour des paramètre mis en évidence chez différentes espèces (porc, chevaux et oiseaux).

1.3.2.1) Variabilité intra- et inter-individuelle

La variabilité intra- et inter-individuelle a été mise en évidence chez les perdrix rouges (Bortolotti et al. 2008; 2009), ainsi que chez les porcs (Levallois et al. 2024).

1.3.2.2) Gestation et premières semaines de vie

La gestation est associé dans de nombreuses espèces à une augmentation des glucocorticoïdes libres. Soit en augmentant la production de glucocorticoïdes (comme chez les femmes, les souris ou les lapins domestiques), soit en diminuant la quantité de transcortine circulante (comme chez les macaques, les babouins, les rats de laboratoire et les chevaux). Cependant, quelques rares exeptions existent. En effet, chez les vaches et les truies, les concentrations de glucocorticoïdes libre ne connaissent pas d'augmentation au cours de la gestation. Dans ces espèces les fœtus produisent leurs glucocorticoïdes dans la dernière partie de la gestation. Les cortisolémie fœtale est alors supérieure à la cortisolémie de la mère (Edwards, Boonstra 2018). Chez les truies, une augmentation significative des concentrations de cortisol pilaire est observée en fin gestation et au cour de la lactation (Bacci et al. 2014). Chez les dindes reproductrices, les concentrations de cortisol plumeux sont significativement plus élevées après le début de la période de ponte (Leishman et al. 2021).

Des concentrations élevées de cortisol pileire sont également retrouvés chez les mammifères à la naissances, comme chez les macaques (Grant et al. 2017), les porcs, les bovins (Heimbürge et al. 2020) et les équins (Comin et al. 2012; Montillo et al. 2014). Cela peut s'expliquer par une augmentation de la concentration de cortisol dans les eaux fœtales en fin de gestation (Kanitz et al. 2012), une forte concentration fœtale de cortisol (Edwards, Boonstra 2018) et une faible quantité de transcortine circulante chez la progéniture augmentant la part de cortisol libre et favorisant son accumulation dans les poils (Grant et al. 2017). Dans diminutions rapides des concentrations de cortisol pileire sont observées durant les premières de vie des individus (Grant et al. 2017; Heimbürge et al. 2020; Comin et al. 2012; Montillo et al. 2014).

1.3.2.3) Age

Il est observé chez les jeunes primates des concentrations de cortisol pileire plus élevés que chez les adultes (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019). Des résultats similaires n'ont pas été retrouvé à notre connaissance dans d'autres espèces. Cela pourrait s'expliquer par le fait que chez les humains a été montré une plus faible concentration en transcortine chez les enfants par rapport aux adultes. Cela augmente la part de cortisol libre et favorise l'imprégnation dans les poils (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019). Chez les porcs, les concentrations de cortisol pileire augmentent chez les individus âgés de 27 et plus de 71 semaines en comparaison à des individus âgés de 10 semaines.

Chez les poules pondeuses, les concentrations de cortisol plumeux était plus faible à 28 semaines de vie qu'à 16 semaines de vie (Nordquist et al. 2020)

1.3.2.4) Puberté

La puberté est associée à une augmentation du la concentration de cortisol pileire notamment chez les chevaux (Medill, Janz, McLoughlin 2023a; 2023a; Mazzola et al. 2021) et les porcs (Bergamin et al. 2019). La maturité sexuelle augmente l'activité de l'axe hypothalamo-hypophysaire et de la cortisolémie plasmatique. Cela provoque une augmentation du cortisol pileire.

1.3.2.5) La région du corps

Selon la zone de prélèvement, les concentrations de cortisol des phanères observées peuvent présenter des variations significatives aussi bien chez les mammifères (Comin et al. 2012; Banse et al. 2020; Sauveroche et al. 2020; Lelláková et al. 2022; Bacci et al. 2014; Heimbürge et al. 2020; Casal, Manteca, Peña L, et al. 2017) que chez les oiseaux (Häffelin et al. 2020). Il est essentiel de sélectionner avec soin la région du corps pour le prélèvement des poils et de s'y maintenir. En effet certains effets peuvent s'avérer significatifs ou non selon la zone de prélèvement. (Sauveroche et al. 2020). Une explication avancée par certains auteurs est la différence de vitesse de pousse et un rapport poils entre poils en phase anagène, catagène et télogène qui est différent en fonction des zones (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019). Cela a été mis en évidence notamment chez le porc (Bacci et al. 2014). Nous y reviendrons dans la partie suivante, les poils peuvent également être plus ou moins contaminés par des éléments externes en fonction de la zone du corps.

1.3.2.7) La contamination par des éléments externes

Les principales contaminations objectivées *in vitro* sur les échantillons sont les contaminations urinaires et fécales (Otten et al. 2020; 2022; Pollock et al. 2021). Pour l'urine, son effet est plus significatif sur les extrémités des poils. Les poils dégradés sont plus influencés par les contamination externes. Ainsi, l'extrémité des poils, plus dégradée, est plus sensible aux contaminations externes (Otten et al. 2022). La contamination *in vitro* par les fientes a également été mis en évidence chez les poules (Bartels et al. 2021). A notre connaissance, il n'existe à ce jour aucune étude *in vivo*.

1.3.2.6) Saisons

L'effet des saisons est discuté entre les études. Il a montré un effet significatif chez les chevaux en automne (Banse et al. 2020; Gardela et al. 2020; Mazzola et al. 2021; Olvera-Maneu et al. 2021). Cependant chez les porcs en élevages conventionnels, les résultats divergent en fonction des auteurs, ainsi Bacci et collaborateurs en 2014 ont observé une différence significative des concentrations de cortisol pileire en fonction des saison alors que Heimbürge et collaborateurs en 2020 n'ont observé aucune différence significative. La littérature propose que ce soit plutôt les modifications environnementales comme la température, la durée du jour, l'accès à la nourriture ou le cycle de reproduction chez les porcs. (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019; Bacci et al. 2014). L'influence des saisons sur les porcs en élevage conventionnel est probablement limitée, en raison de l'hébergement des animaux dans des bâtiments.

1.3.2.8) Sexe

Le sexe peut être associé à des concentrations de cortisol pileire significativement plus élevée chez les mâles, chez les femelles, ou ne pas avoir d'effet significatif, selon les espèces. (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019; Bortolotti et al. 2008; 2009). Notons que Heimbürge et collaborateurs a en 2020 montré aucun effet significatif entre des bovins nouveaux nés et entre porcs mâles castrés et femelle à 2, 10, 27 et plus de 71 semaines de vie. Cependant, à l'âge de 3 ans les porcs femelles présentent des concentrations de cortisol pileire que les porcs mâles castrés du même âge (Bergamin et al. 2019).

1.3.2.9) Races et génétique

L'effet des races et de la génétique sur les concentrations de cortisol pileire est mis en évidence. Chez les équins, les concentrations de cortisol pileire sont significativement différent entre des chevaux islandais, des poneys shetland et des trotteurs (Sauveroche et al. 2020). En 2020, Leishman et ses collaborateur ont montré des concentrations de corticostérone différents entre différents lignées génétiques commerciales (Leishman et al. 2021; 2023).

1.3.2.10) Effets des maladies

L'effet des maladies sur les concentrations de cortisol pileire est mis en évidence :

- Un dysfonctionnement de la Pars Intermedia chez les équins est associé à des concentrations de cortisol pileire plus élevées (Banse et al. 2020).
- Les ulcères gastriques chez les équins sont inversement proportionnels aux valeurs de cortisol pileire (Prinsloo et al. 2019)
- Les pathologies chroniques chez les bovins sont associés à des concentrations de cortisol pileire plus élevées (Braun et al. 2017)
- Chez les porcs, le parasitisme à *Taenia solium* est associé à des concentrations de cortisol pileires plus faibles (Trevisan et al. 2017).
- Les infections virales telles que Newcastle, l'Influenza Aviaire et la bronchite infectieuse chez les poules sont associées à des concentrations de corticostérone plumeux plus élevés (Davidson et al. 2020).

Les auteurs s'accordent sur une modification de l'activité de l'AHH lors de maladie. En conséquence, la cortisolémie s'en retrouve modifiée tout comme les concentrations de cortisol pileire (Heimbürge, Kanitz, Otten 2019).

1.3.2.11) Conditions de vie : logement, lien sociaux.

Les conditions de logement et de vie (box, paddock, parcours « naturel » ...) est associé à des différences significatives des concentrations de cortisol pileire chez les chevaux (Placci et al. 2020; Cerasoli et al. 2022; Mazzola et al. 2021; Gardela et al. 2020). Chez les porcs charcutiers mâles de 10 semaines, l'enrichissement du milieu avec de la sciure de bois ou des cordes de chanvre, réduisent les concentrations de cortisol pileire. Cet effet est renforcé par l'ajout d'une complémentation contenant des composés végétaux à base de valérianne (*Valeriana officinalis*) et de maypop (*Passiflora incarnata*) (Casal, Manteca, Escribano, et al. 2017). Cependant, les truies en case liberté (permettant à la mère de se tourner) ou en case conventionnelle (ne permettant à la mère que de se lever et se coucher) ne présentent pas de concentrations de cortisol pileires différentes (Wiechers et al. 2021). Peric et ses collaborateurs ont placé les truies dans 4 modèles de cases maternité différentes, censé offrir plus ou moins de confort au truies. Aucune différence significative des concentrations de cortisol pileire n'est observée (Peric et al. 2023).

Une densité élevée chez les poulets de chair est associée à des concentrations de corticostérone plumeux plus élevés (Yu et al. 2021). De même, chez les poules pondeuses, une augmentation à court terme de la densité est associée à une augmentation significative de la corticostérone plumeux (Eugen et al. 2019). Enfin, une augmentation de la température et de la densité sont associées à une augmentation de la corticostérone plumeux chez des poules pondeuses de 27 semaines. De plus, une augmentation de la durée d'élevage est associé avec une augmentation des concentrations de la corticostérone plumeux (Lee, Kim, Kil 2022).

1.3.3) Techniques de laboratoire pour le dosage du cortisol pileire

Les techniques d'extraction du cortisol dans les poils diffèrent assez peu entre les auteurs. Cependant, trois méthodes de dosage du cortisol pileire existent :

- Méthode RIA : Radioimmunoassay
- Méthode ELISA compétitive (adapté d'un kit salivaire)
- Méthode LC-HRMS/MS : Spectrophotométrie de masse

Saluti et collaborateur en 2022 ont réalisé un comparatif des 3 techniques de dosage du cortisol pileire utilisés chez les équins :

- De très grandes variations de cortisol pileire sont observées lors de l'usage de RIA, ce qui pourrait être lié d'après les auteurs aux limites de la technique et aux possibles interférences.
- Le technique ELISA est moins spécifique (réactions croisées) et répliquable que la technique LC-HRMS/MS.
- La spectrophotométrie de masse a un cout initial nettement plus conséquent que les autres techniques mais un cout de fonctionnement plus faible.

Ainsi, dans le cas ou un laboratoire est déjà équipé ou souhaite réaliser à grande échelle le dosage de cortisol pileire, le LC-HRMS/MS est la meilleure technique connue à ce jour.

1.3.4) DHEA : hormones dosée avec le cortisol dans les poils.

La déhydroépiandrostérone, souvent nommée DHEA, est une hormone stéroïdienne. Les connaissances en médecine humaine sont beaucoup plus avancées que dans le monde animal. Nous allons ici réaliser un tour d'horizon des notions liées à la DHEA et les raisons pour lesquelles on la retrouve parfois dosée dans les phanères avec le cortisol, comme chez les chevaux (Placci et al. 2020; Arena et al. 2021; Olvera-Maneu et al. 2021) ou chez les porcs (Bergamin et al. 2019).

1.3.4.1) Synthèse de la DHEA

La DHEA est l'un des produits de l'axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien (AHH). La DHEA est produite dans la zone réticulée des glandes surréaliennes (pour rappel : le cortisol est produit dans la zone fasciculée). Chez l'homme, il est estimé que 80 % de la DHEA est produite dans les glandes surrénales. Les 20 % restants sont produits par d'autres organes comme les testicules (de Peretti, Forest 1978), les ovaires ou le cerveaux.

Tout comme le cortisol, la DHEA présente un rythme circadien avec un pic au réveil de l'individu, soit le matin chez l'être humain (Hucklebridge et al. 2005) et peut-être dérégulé lors de conditions prolongées de stress (Egeland, Zunszain, Pariante 2015; McEwen 2003).

A notre connaissance, les primates sont les seuls mammifères produisant en très grande quantité la DHEA grâce à leurs glandes surrénales. Chez l'humain, la DHEA circulante est sous forme de sulfate de déhydroépiandrostérone ou DHEA-S à 99% et de DHEA libre à 1% (Baulieu 1996). Les taux de DHEA varient au cours de la vie de l'individus. Les taux circulants connaissent une augmentation de la jeunesse

de l'individu jusqu'à ses 25-30 ans, puis diminue en vieillissant (Rotter et al. 1985; Labrie et al. 2006; Fang et al. 2014). Il a été montré une part d'hérédité dans les taux de DHEA circulant (Rotter et al. 1985).

1.3.4.2) Interactions DHEA et cortisol

La DHEA est un antagoniste des effets du cortisol (Buoso et al. 2011; Karishma, Herbert 2002; Pinto et al. 2015). Citons comme exemple l'effet neurotoxique des glucocorticoïdes lors de stress répétés et prolongés (Holmes, Wellman 2009; Sebastian et al. 2013). La DHEA a montré des effets anti-toxique contre les actions des glucocorticoïdes. Le rapport cortisol/DHEA est un indicateur important de l'activité nette des glucocorticoïdes et de l'axe hypothalamo-hypophysaire (Chen et al. 2015).

1.3.4.3) DHEA et cortisol dans les poils

Les ratios Cortisol/DHEA dans les poils ne peuvent pas être interpréter de la même manière que dans le sang. Les mécanisme d'inclusion dans le poils sont encore moins bien connu que pour le cortisol et repose bien souvent sur des extrapolations. De plus, la DHEA se retrouve dans les solvants de lavage en très grande majorité (Pollock et al. 2021). Il a tout de même été montré que le DHEA pilaire tout comme la DHEA circulant diminuait avec l'âge (Schury et al. 2017). Très étudié chez l'homme, elle est toutefois décrite dans quelques études chez les porcs :

- Des maladies chroniques comme une infections à *Taenia solium* modifient les taux de DHEA et le rapport cortisol/DHEA pilaire chez les porcs domestiques. Après guérison, les porcs présentent des valeurs de DHEA et rapport cortisol/DHEA pilaires qui se rapproche des animaux jamais infestés (Trevisan et al. 2017)
- Les femelles entières de 36 mois ont des concentrations de DHEA pilaire significativement plus bas et un ratio cortisol/DHEA pilaire significativement plus élevé que des porcs mâle castré. (Bergamin et al. 2019)
- Chez les porcs, 4 modèles de maternité (case conventionnel, case avec nid en dessous du niveau de la mère, case avec ascenseur et case liberté) ont été comparés. Les taux de cortisol pilaire, de DHEA pilaire et le rapport cortisol/DHEA pilaire avant la mise bas et 90 jours après la mise bas, ne montre aucune différence significative entre les 4 modèles d'élevage chez les mères. Cependant, les concentrations de DHEA, cortisol et le rapport cortisol/DHEA pilaires sont significativement différents avant et après mise-bas et en fonction du mois de mise-bas. (Peric et al. 2023)

Partie 2 : Etude expérimentale

Dans cette deuxième partie, les matériels et méthodes utilisés et les résultats obtenus sont présentés.

2.1) Matériels et méthodes

Les animaux de cette étude sont utilisés en accord avec la directive européenne 2010/63/UE relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques. Le projet a par ailleurs été approuvé par le comité d'éthique en recherche clinique et épidémiologique vétérinaire d'Oniris (CERVO-2023-6-V).

2.1.1) Critères de sélection et de recrutement

2.1.1.1) Critères de sélection des élevages

Les élevages de l'étude ont été sélectionnés au sein de la clientèle d'EPIDALIS (Selas EPIDALIS, Vétérinaires Conseil, Production Porcine, 13 boulevard Denis Papin, 35500 VITRÉ).

Plusieurs conditions pour l'inclusion à l'étude ont été imposées :

- i) Les élevages doivent être, de préférence, naisseurs engraisseurs. Dans le cas d'un élevage uniquement naisseur, le suivi des porcelets doit pouvoir être réalisé chez l'engraisseeur.
- ii) Les élevages doivent suivre la charte agriculture biologique définie par les règlements européens.
- iii) Les éleveurs doivent être disponibles pour compléter un questionnaire et pour 4 séances de 2 heures à des âges précis pour nous permettre la réalisation des prélèvements.

Suivant ces critères, 16 élevages nous ont été proposés. A la suite d'un désistement, 15 élevages ont participé à l'étude. Afin de préserver l'anonymat, chaque élevage a été associé à une lettre comprise entre A et O. Nous utiliserons donc la lettre pour désigner les élevages dans la suite de ce manuscrit.

2.1.1.2) Répartition et description des élevages

2.1.1.2.1) Répartition géographique

Les élevages sont répartis dans le grand-ouest : 35 – Ille-et-Vilaine (2 élevages), 44 – Loire Atlantique (1 élevage), 50 – Manche (1 élevage), 53 – Mayenne (3 élevages), 56 – Morbihan (1 élevage), 72 – Sarthe (1 élevage), 79 – Deux-Sèvres (5 élevages) et 86 – Vienne (1 élevage).

2.1.1.2.2) Description des élevages

La majorité des élevages (13 sur 15) sont de type Naisseur-Engraisseeur, tandis que deux élevages (I et K) sont de type Naisseur. Le nombre de truies est très variable en fonction de l'élevage. Souvent

compris entre 50 et 80, il s'élève à 400 et 650 pour les élevages uniquement naisseurs. La conduite en 4 bandes est majoritaire (10 élevages). Toutefois deux d'entre eux (élevages H et N) en comptent trois et trois d'entre eux (élevages D, I, K) en comptent sept.

Les naisseurs-engraisseurs ont entre 100 et 250 porcelets par lots et les naisseurs ont entre 600 et 800 porcelets par lots. L'âge au sevrage est de 42 jours pour 11 élevages, et de 49 jours pour 4 élevages (élevages C, G, J, O).

La maternité est en bâtiment pour 10 des 15 élevages et en plein air pour 5 élevages (élevages B, C, I, K, O).

Les informations sont présentées par le Tableau I.

Elevage	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Type d'élevage (N : Naisseur ; NE: Naisseur-Engraisseur)	NE	N	NE	N	N	N	N	N							
Nombre de truies	80	110	65	70	80	50	50	70	650	48	400	55	50	45	40
Nombre de bandes	4	4	4	7	4	4	4	3	7	4	7	4	4	3	4
Nombre de porcs par lots	210	250	110	70	200	120	120	240	800	130	600	135	140	120	100
Age au sevrage (en jours)	42	42	49	42	42	42	49	42	42	49	42	42	42	42	49
Mode de logement en maternité (B = Bâtiment ; PA = Plein air)	B	PA	PA	B	B	B	B	B	PA	B	PA	B	B	B	PA
Socialisation précoce	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Mâles (E=Entiers ; C= Castrés)	E	C	C	C	C	C	C	C	C	E	C	C	C	C	C

Tableau I: Résumé des caractéristiques des élevages

2.1.1.3) Sélection des truies et des porcelets

Dans chaque élevage la bande en maternité le jour de la visite est incluse dans l'étude. Le choix des truies et des porcelets respecte les critères ci-dessous :

- i) Cinq truies ont été sélectionnées dans chaque élevage. Le rang de parité des truies doit refléter au mieux la démographie des élevages français, ainsi on choisit de préférence:
 - 1 truie de premier rang de portée,
 - 3 truies avec un rang de portée entre 2 et 4,
 - 1 truie avec un rang de portée supérieur ou égal à 5.
- ii) Sept porcelets par truie sont sélectionnés, ils doivent être viables et représentatifs de la répartition des gabarits de la bande, ils sont choisis dans l'objectif d'obtenir autant de mâles que de femelles
- iii) Dans le cas où seulement 4 truies ont mis bas (souvent associé à une bande de faible taille), un plus grand nombre de porcelets par truies est sélectionné.

Ainsi, dans tous les élevages nous comptons 7 porcelets par truie pour 5 truies, soient 35 porcelets par élevage, hormis:

- L'élevage J avec 8 porcelets par truie pour 4 truies (n = 32)
- L'élevage K avec 8 porcelets par truie pour 4 truies et 7 porcelets pour une truie (n = 39)
- Les élevages M et O avec 9 porcelets par truie pour 3 truies et 8 porcelets pour une truie (n = 35).

Cela nous a permis *in fine* d'obtenir quasiment autant de mâles (n= 276) que de femelles (n=250). De plus, les rangs de portée des mères sont le reflet la démographie observée dans les élevages de l'étude.

2.1.2) Collecte des données descriptives des élevages

Lors de notre première visite, un questionnaire (Annexe 1) est complété en collaboration avec l'éleveur. Le questionnaire est pré rempli avec les informations du Bilan sanitaire d'élevage (BSE), fourni par le vétérinaire. Ce questionnaire nous permet de récolter des informations sur :

- La présentation générale de l'élevage
- La gestion de la biosécurité interne et externe
- La situation sanitaire et prophylaxie
- L'organisation en maternité
- La conduite du sevrage
- L'organisation en engraissement
- Les performances GTTT et GTE (avec copie des documents)

De plus, un document de suivi est laissé à l'éleveur pour lui permettre de noter toute anomalie observée sur les truies ou les porcelets tout au long de leur croissance (Annexe 2).

Enfin, à chaque visite, nous remplissons (sur les documents présentés en Annexe 3 en maternité et Annexe 4 au sevrage et en engraissement), les éléments suivants :

- L'identifiant de l'élevage : Nom, stade et date.
- Le numéro du porcelet : son identification
- Le numéro de la mère et son rang de porté
- Le jour de mise bas
- Le sexe
- Le poids (principalement en maternité et au sevrage)
- Gabarit du porcelet par rapport à la portée
- Soins réalisés et leurs dates
- Remarques éventuelles

Les informations sont ensuite enregistrées dans une base de données pour analyse ultérieure.

2.1.3) Prélèvement et stockage des soies

2.1.3.1) Prélèvement des soies

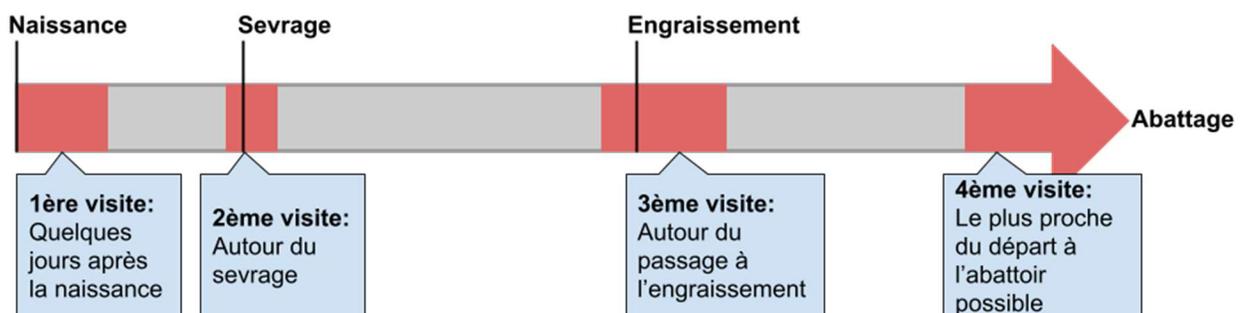
Les soies sont prélevées à 4 stades de la croissance du porc (Figure 10):

-Quelques jours après la naissance : stade maternité

-Autour du sevrage : stade sevrage

- Autour du passage à l'engraissement : stade début d'engraissement

-Le plus tard possible avant le départ à l'abattoir des premiers porcs charcutiers : stade fin d'engraissement



Visite 1: Visite de réalisation du questionnaire

Visite 1 à 4: Moment de prélèvement sur 35 animaux (tonte des soies sur la nuque) - 2 heures par visite

Figure 10: Chronologie des visites au cours de la vie de l'animal

2.1.3.1.1) Stade maternité

Ce stade correspond à la visite réalisée quelques jours après la mise-bas. Dans notre étude, en fonction de nos disponibilités et de celles de l'éleveur, le délai entre la mise bas et la première visite varie de 2 à 16 jours. Lors de cette première visite les truies et les porcelets sont sélectionnés en respectant les critères définis dans la partie 2.1.1.3) Sélection des truies et des porcelets.

Lors de cette visite est complété avec l'éleveur le questionnaire de présentation de l'élevage introduit en partie 2.1.2) Collecte des données descriptives des élevages (disponible en Annexe 1).

La feuille de suivi est complétée en notant toutes les informations (truies, rang de portée, sexe, soins, poids, gabarit, couleur du poil et anomalies).

Les prélèvements des soies sont réalisés avec les porcelets portés dans le bras. Les poils sont tondu à la base du cou en face dorsale à l'aide d'une tondeuse Isis GT421 (AESCULAP®) (Figure 11) et sont déposés directement dans une enveloppe papier 110x120 mm (LYRECO®).

Suite à la tonte, les porcelets sont placés dans un seau et pesés avec un peson HDB 5K5N (KERN®). Enfin ils sont identifiés à l'aide d'une boucle auriculaire posée grâce à d'une pince TOTAL TAGGER (ALLFLEX®) avec un numéro unique (Figure 1). Finalement, ils sont reposés dans la cases avec la mère et les autres porcelets.

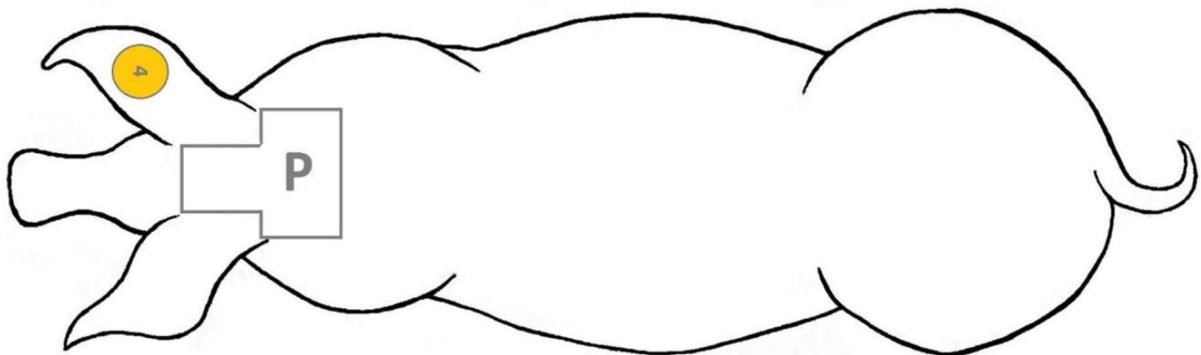


Figure 11: Zone de prélèvement des soies (zone P) et pose d'une boucle auriculaire identifié par un numéro

2.1.3.1.2) Stade sevrage

Les porcelets identifiés lors de la première visite sont repris et pesés de la même manière qu'en maternité. Puis, ils sont portés dans les bras afin de tondre les soies sur la même zone qu'en maternité. À tous les stades, les poils sont systématiquement rasés dans la même zone, une méthode couramment désignée par l'expression « *Shave and reshave* ». Par conséquent, lors d'une récolte, les poils reflètent les niveaux de cortisol circulants durant la période séparant deux visites successives. Sur la feuille de suivi le poids et le gabarit des porcelets sont notés. Il est aussi demandé à l'éleveur si les porcs non revus ce jour sont morts.

2.1.3.1.3) Stade début d'engraissement

A la différence des stades précédents la méthode de contention des porcelets est variable en fonction des circonstances : portés dans les bras, bloqués à l'aide d'un panneau, placés dans un plus petit enclos, pris au lasso ou pour certains sans contention. Le reste du protocole pour le prélèvement des poils est réalisé comme précédemment. Dans certains élevages, une pesée est effectuée lors du transfert entre le post-sevrage et l'engraissement. Toutes ces données sont notées dans la feuille de suivi (Annexe 3).

2.1.3.1.4) Stade fin d'engraissement

La dernière visite se déroule comme les précédentes. En général, la contention des porcs est réalisée en les regroupant dans un couloir ou une case.

2.1.3.2) Stockage des soies

Les soies sont déposées après la tonte dans des enveloppes papier de 110X120 mm (LYRECO®), conservées dans des enveloppes taille A4 par élevages et par stade à l'abri de la lumière.

2.1.4) Analyse de laboratoire : extraction et dosage du cortisol pileaire

Le protocole d'extraction et de dosage du cortisol pileaire est adapté du protocole proposé par Ghassemie Nejad et al 2022 :

- i) **Lavage** : Après avoir été sorties des enveloppes et placées dans des flacons en plastique de 15 mL, les soies subissent trois lavages. Chaque lavage est réalisé sous hotte aspirante et sur roue avec 5 mL d'isopropanol HPLC (Sigma Aldrich, St-Quentin-Fallavier, France) pendant 3 minutes. Le liquide est retiré entre chaque lavage successif à l'aide d'une pipette de 10 mL.
- ii) **Séchage** : Tout de suite après le lavage, les soies sont déposées dans des boîtes de Pétri contenant du papier filtre. Les échantillons sèchent pendant 48 heures à l'abri de la lumière, à température ambiante.
- iii) **Pesée** : Les soies sont coupées dans la boîte de Pétri en sections de quelques millimètres, puis pesées dans des tubes à fond rond de 2 mL. L'objectif est d'obtenir des échantillons entre 30 et 35 mg, avec une limite haute de 45 mg. Les échantillons de moins de 10 mg sont exclus afin de limiter les résultats non reproductibles, selon une étude interne.
- iv) **Broyage** : Quatre billes de broyage en acier inoxydable de 3 mm de diamètre (Fisher Scientific) sont placées dans les tubes. Les tubes sont immergés pendant 30 secondes dans l'azote liquide, puis directement placés dans un broyeur à billes Retsch (MM 400, Verder Scientific, Eragny-sur-Oise, France). Les échantillons subissent deux broyages successifs de dix minutes à 30 Hz.
- v) **Extraction** : À la fin du broyage, les tubes sont centrifugés, et 1,5 mL de méthanol HPLC (Sigma Aldrich) est ajouté sous hotte aspirante. Les échantillons sont placés sur un agitateur de plaque à température ambiante et à l'abri de la lumière, à 800 rpm pendant 24 heures.
- vi) **Concentration** : À la fin de l'étape d'extraction, les tubes sont centrifugés à 1500 g ($1g = 9,81 \text{ m/s}^2$) pendant 5 minutes à température ambiante. Un volume de 750 μL de surnageant

par tube est prélevé à l'aide d'une pipette de 1000 μL et placé dans un tube de 1,5 mL. Le tube est ensuite placé dans un concentrateur sous vide SpeedVac (Eppendorf, Montesson, France) à 45°C jusqu'à évaporation totale (entre 60 et 90 minutes). Enfin, les échantillons sont congelés à -20°C s'ils sont traités dans le mois, sinon ils sont placés à -80°C.

- vii) **Remise en suspension et dosage** : Les échantillons sortis du congélateur sont remis en suspension dans 140 μL de PBS froid (sorti du réfrigérateur juste avant). Le cortisol est ensuite dosé par ELISA compétitif à l'aide d'un kit de dosage du cortisol salivaire libre (Demeditec Diagnostics GmbH, Kiel, Allemagne) dont la validité a été démontrée pour le cortisol pileire. Les résultats sont exprimés en pg de cortisol/mg de soies.

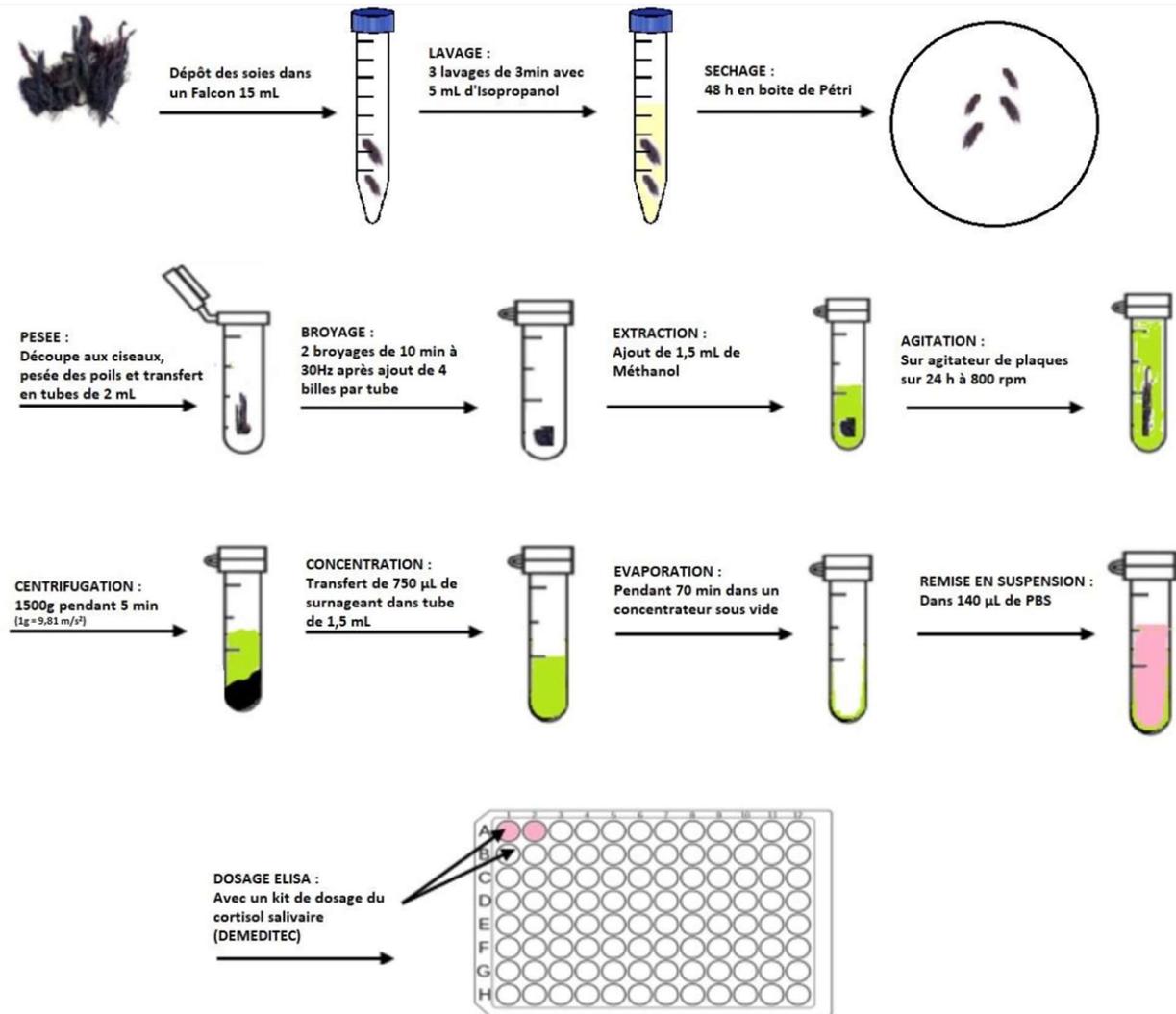


Figure 12: Protocole d'extraction et de dosage du cortisol pileire (d'après (Ghassemi Nejad et al. 2022))

2.1.5) Traitement des données

2.1.5.1) *Création des bases de données*

Deux bases de données ont été créées sur Excel:

- La première compile les informations de conduite d'élevage. Cette base de données est complétée à l'aide du BSE et d'un questionnaire réalisé avec l'éleveur.
- La seconde compile toutes les informations sur les porcelets (statut sanitaire, sexe, mère, rang de portée de la mère, quantité de poils dosés, quantité de cortisol pileire dosé par mg de soies. L'Annexe 5 présente l'ensemble des données de la BDD. Une ligne est créée pour chaque stade du porcelet, soit 4 lignes par porcelets (maternité, sevrage, début d'engraissement, fin d'engraissement). Des lignes sont ajoutées pour les porcs sans boucles.

2.1.5.2) *Etude de la significativité des paramètres étudiés*

Les valeurs de cortisol pileire sont transformées par un logarithme 10 pour l'analyse statistique. L'étude statistique est réalisée sur le logiciel Rstudio utilisant le langage de programmation R.

2.1.5.2.1) *Modèles linéaires univariés*

Pour la comparaison d'une variable qualitative avec une variable quantitative, un modèle de régression linéaire est créé en prenant la concentration de cortisol pileire comme variable à expliquer et la variable qualitative comme variable explicative. La fonction `lm()` est ici utilisée. Un test ANOVA (analyse de la variance) est réalisé sur le modèle de régression linéaire.

Pour analyser la relation entre une variable explicative quantitative et la variable à expliquer quantitative : concentration de cortisol pileire (Cm), une représentation graphique sous forme de nuage de points est d'abord réalisée afin d'évaluer visuellement l'existence d'une relation linéaire entre les deux variables. Ensuite, pour tester cette relation linéaire, le coefficient de corrélation de Pearson est calculé. Plus ce coefficient est proche de 1 (pour une corrélation positive) ou de -1 (pour une corrélation négative), plus la relation linéaire entre les deux variables est forte. Un test de significativité du coefficient de corrélation de Pearson est alors effectué. Si la p-value associée est inférieure à 0,05, on peut conclure que le coefficient de corrélation est significativement différent de 0, indiquant une relation linéaire significative entre les deux variables. Cependant, si la relation entre les deux variables ne semble pas linéaire, nous séparons l'effectifs en plusieurs classes pour utilisons la méthode de comparaison entre une variable qualitative et quantitative.

2.1.5.2.2) Création des régressions linéaires multiples (RLM)

La régression linéaire multiple (RLM) est une extension de la régression linéaire simple, permettant de modéliser la relation entre une variable dépendante (continue et numérique) et plusieurs variables indépendantes, qui peuvent être continues ou catégorielles. Le modèle est construit sous forme de combinaisons linéaires des variables explicatives.

Voici les étapes pour mener à bien une analyse de régression linéaire multiple :

Étape Préliminaire - Préparation des Données :

Cette étape consiste à organiser la base de données et à créer les variables nécessaires à l'analyse.

Étape 1 - Modèles Univariés :

Des régressions logistiques univariées sont réalisées pour chaque variable explicative. Chaque variable est testée indépendamment, et seules celles ayant une p-value $\leq 0,20$ sont retenues pour l'analyse multivariée. (Voir partie 2.1.5.2.1) Modèles linéaires univariés)

Étape 2 - Vérification de la Linéarité des Variables Quantitatives :

S'assurer que chaque variable quantitative présente une relation linéaire avec la variable dépendante. Si la linéarité n'est pas observée, les variables quantitatives doivent être transformées en variables qualitatives (par catégorisation) ou mathématiquement ajustées (logarithme, puissance, etc.) pour obtenir cette linéarité.

Étape 3 - Test de la Colinéarité :

L'association entre les variables explicatives est analysée en calculant les VIF (Variance Inflation Factor). Des variables présentant une forte colinéarité ($VIF > 5$) ne peuvent pas être incluses ensemble dans le modèle. Les variables avec un VIF élevé doivent être exclues pour éviter la redondance.

Sur le langage de programmation R la fonction **check_collinearity** du package (*performance*) est utilisée.

Étape 4 - Analyse Multivariée :

La régression multivariée est réalisée en incluant les variables conservées à la fin de l'étape 3. La relation entre chaque variable explicative et la variable à expliquer est ajustée pour tenir compte des autres variables (c'est le principe du « toutes choses égales par ailleurs » = si toutes les autres variables étaient identiques pour tous les individus). À cette étape, une nouvelle sélection des variables est effectuée : seules les variables avec une p-value $< 0,05$ sont conservées.

La sélection des variables est réalisée par une méthode pas à pas descendante, où la variable la moins significative (avec la p-value la plus élevée) ou celle qui augmente le plus l'AIC (Akaike Information Criterion) est supprimée. Le processus se poursuit jusqu'à obtenir un modèle optimal, avec les variables ayant toutes une p-value $< 0,05$ ou le plus faible AIC.

Étape 5 - Validation du Modèle :

La validité du modèle est vérifiée en examinant la distribution des résidus pour s'assurer que les hypothèses du modèle sont respectées.

Étape 6 - Visualisation des Effets du Modèle :

Enfin, nous produisons des graphiques pour illustrer les effets des variables explicatives sur la variable à expliquer dans le modèle final.

Un coefficient de détermination et des Eta^2 partiels sont calculés pour chaque modèles:

- Le coefficient de détermination (où R^2) mesure la proportion de la variance des concentrations de cortisol pileaire expliquée par l'ensemble du modèle. Il permet donc d'évaluer dans quelle mesure le modèle dans sa totalité explique la variabilité observée.
- Les Eta^2 partiels, quant à eux, sont calculés pour chaque facteur individuel. Ils indiquent la part de la variance des concentrations de cortisol pileaire expliquée par un facteur spécifique, en neutralisant l'influence des autres facteurs. Autrement dit, l' Eta^2 partiel montre l'effet d'un facteur particulier sur la variabilité des concentrations de cortisol pileaire, indépendamment des autres facteurs du modèle.

Cela permet d'évaluer à la fois l'influence globale du modèle et l'impact individuel de chaque facteur.

2.1.5.2.3) Création des modèles de régression linéaire répétés

Un modèle de régression linéaire répétée constitue une méthode analytique pertinente lorsque les données sont recueillies de manière itérative sur les mêmes sujets ou unités au cours du temps. On désigne souvent ces données comme des données longitudinales ou des mesures répétées. Cette approche de régression est employée pour examiner les relations entre une variable à expliquer, telle que les concentrations de cortisol pileaire dans le cadre de notre étude, et une ou plusieurs variables explicatives, tout en prenant en compte la corrélation potentielle entre les mesures répétées effectuées sur un même sujet.

Nous utilisons comme variable à expliquer les concentrations de cortisol pileaire récoltées à chaque stade. Chaque modèle est formé à l'aide de la fonction *lme()* du package *lme*. La validité du modèle est vérifiée à l'aide d'un code réalisé en interne. Enfin, un test ANOVA est appliqué aux modèles valides.

2.2) Résultats

2.2.1) Description des animaux de l'étude

2.2.1.1) Animaux prélevés en maternité

En maternité, seuls 73,4% des échantillons prélevés ont été dosés. Pour beaucoup d'échantillons la quantité de soies était trop faible (limite basse: 10 mg de poils). En effet, un certain nombre de porcelets étaient glabres lors de notre visite. Ce phénomène était plus prononcé dans certains élevages comme le A et le B (Figure 13 ; Annexe 6).

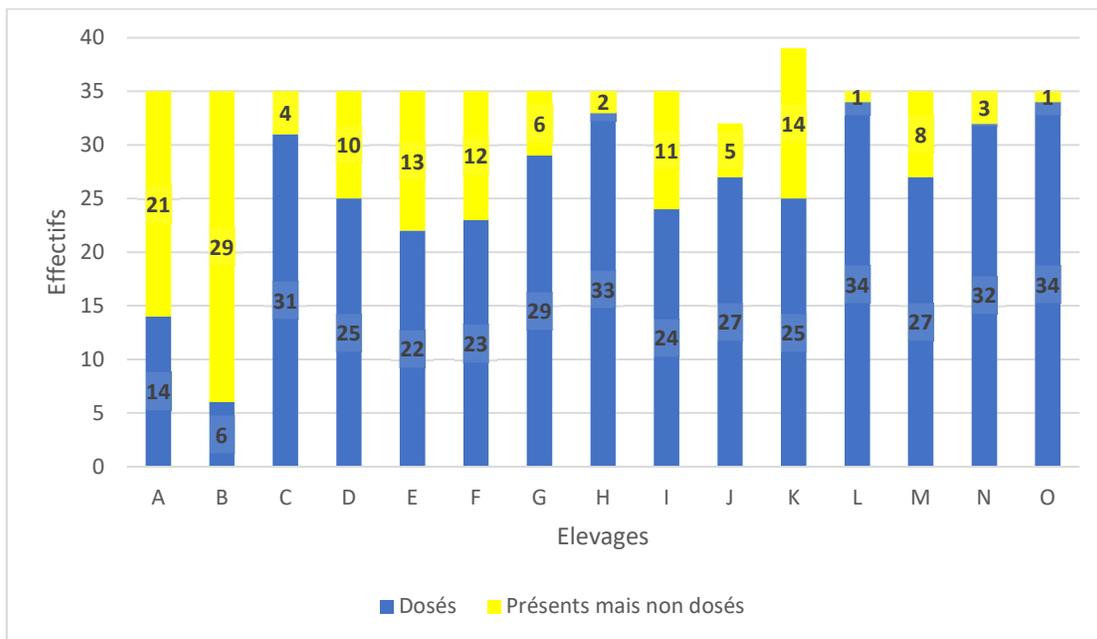


Figure 13: Effectifs de porcelets inclus dans l'étude en fonction des élevages en maternité

Sur les 526 animaux sélectionnés pour l'étude, on dénombre :

- 276 mâles (52% de l'effectif)
- 250 femelles (48% de l'effectif)

Sur les 276 mâles, 232 sont castrés (84% des mâles). Les porcs mâles de deux élevages ne sont pas castrés (élevages A et J). Quelques porcelets mâles n'ont pas été castrés dans certains élevages par oubli, pour des raisons de santé (hernie) ou parce qu'ils sont destinés à devenir des verrats souffleurs (élevages E, G, H, I et M).

Parmi les porcs pour lesquels le dosage du cortisol pileire a pu être réalisé :

- 204 sont des mâles (53% de l'effectif)
- 182 sont des femelles (47% de l'effectif)

Les porcs castrés ne l'avaient pas toujours été lors de notre première visite lorsqu'elle avait lieu durant les 7 premiers jours de vie des porcelets.

Les porcelets sont issus de portées de truies ayant des rangs de portée variant de 1 à 7. La plupart des porcelets sont issus de truies de rang de portée 1 à 4 (83,6 % de l'effectif). Le détail du nombre de porcelets par rang de portée de la mère par élevage sont présentés dans le Tableau II.

Rang de portée de la mère	1	2	3	4	5	6	7
A			7	14		7	
B	7	7	7	14			
C	14		7	7		7	
D	7	14	7			7	
E		7	14	14			
F	7	7	7	14			
G							
H	7		7	14		7	
I	7	7	14		7		
J							
K	8	8	7	8	8		
L	7	14		7		7	
M	18				8	9	
N		21	7				7
O		8	18	9			
Total	82	93	102	101	23	44	7
Pourcentage	18,1%	20,6%	22,6%	22,3%	5,2%	9,7%	1,5%

Tableau II: Nombre de porcelets par élevage et par rang de portée de la mère

L'âge moyen des porcelets prélevés est de 7,84 jours (médiane 7 jours). Parmi les porcs dont les échantillons ont été dosés, l'âge moyen est de 8,35 jours (médiane 7 jours). Les âges varient de 2 à 16 jours pour les 2 catégories (Figure 14).

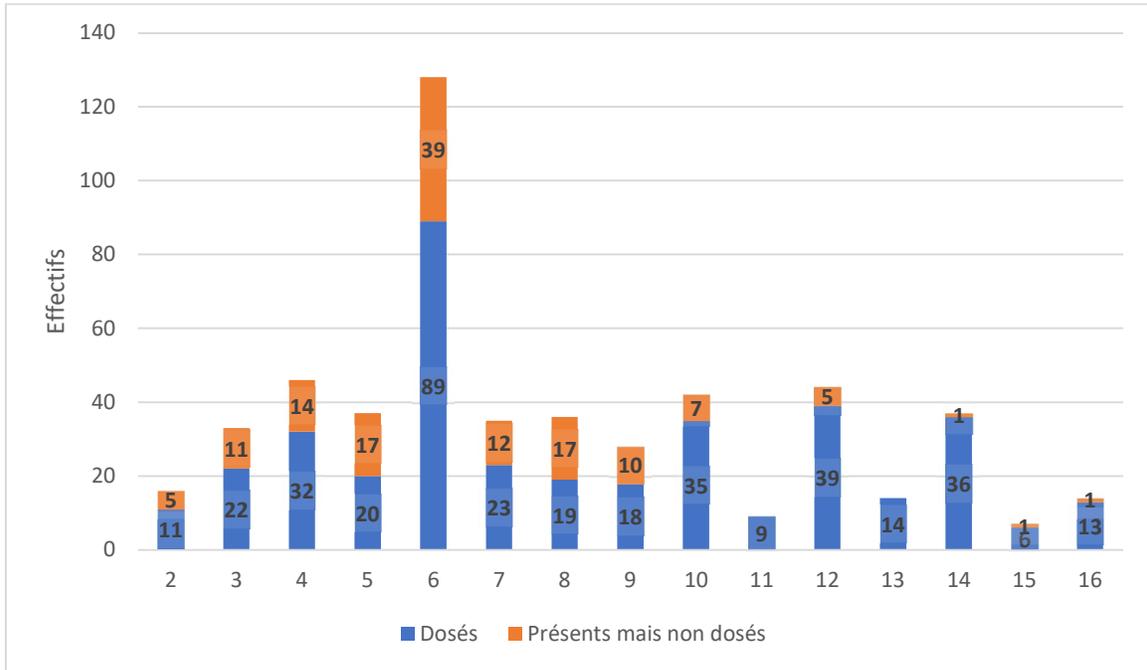


Figure 14: Effectifs de porcelets par âge en maternité

Sur l'ensemble des porcs prélevés, 486 poids sont renseignés (données manquante pour l'élevage J et pour une portée de l'élevage O). Le poids moyen est de 2,74 kg (médiane : 2,54 kg). Les poids varient de 1 à 6,28 kg (Figure 15).

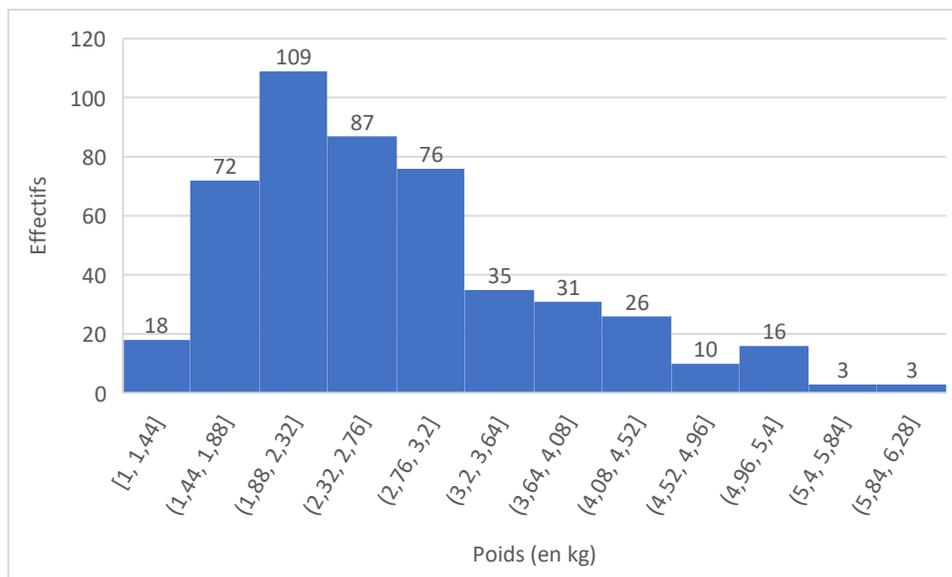


Figure 15: Poids de tous les porc prélevés en maternité

Pour les porcs dont les poils ont été dosés, 351 poids sont renseignés. Le poids moyen est de 2,91 kg (médiane : 2,74 kg). Les poids varient de 1 à 6,2 kg (Figure 16).

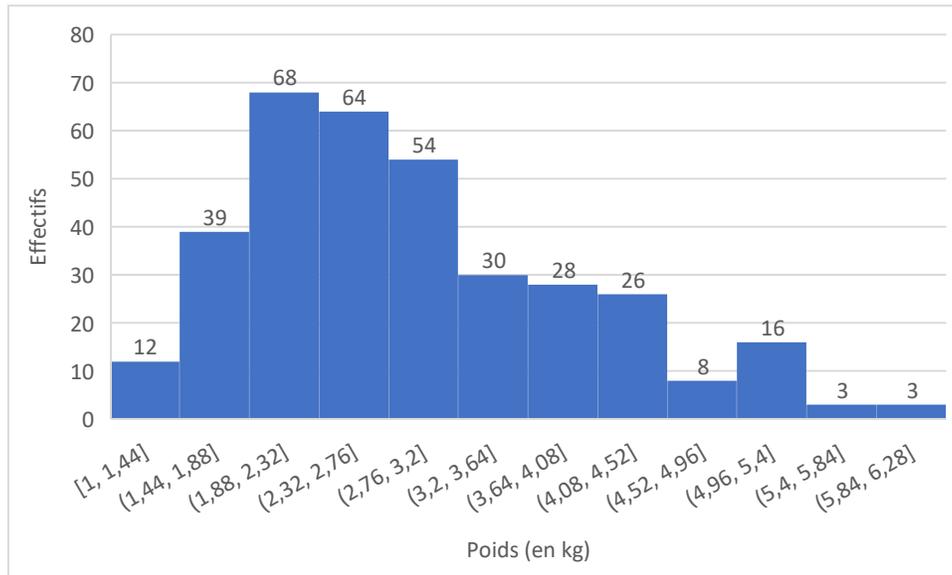


Figure 16: Poids des porcs dont les échantillons ont été dosés en maternité

Les porcelets ont des poids qui varient beaucoup au même âge (Figure 17).

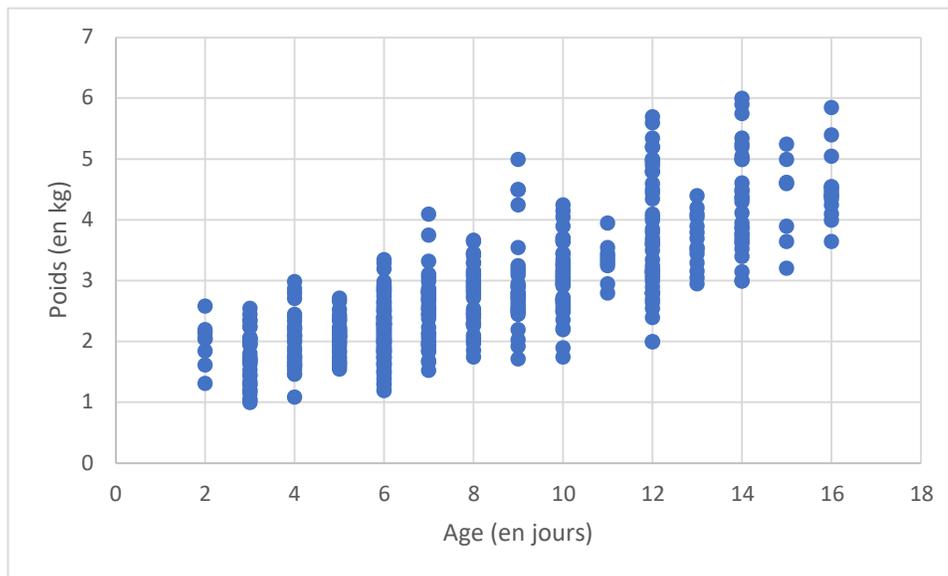


Figure 17: Répartition du poids des porcelets en fonction de leur âge en maternité

Les gabarits sont très liés aux poids en maternité bien que la variabilité de poids pour chaque gabarit soit important (Tableau III, Figure 18).

Petit	Moyen	Gros
48	228	83

Tableau III : Effectifs des gabarit des porcelets dont les poids ont pu être dosés en maternité

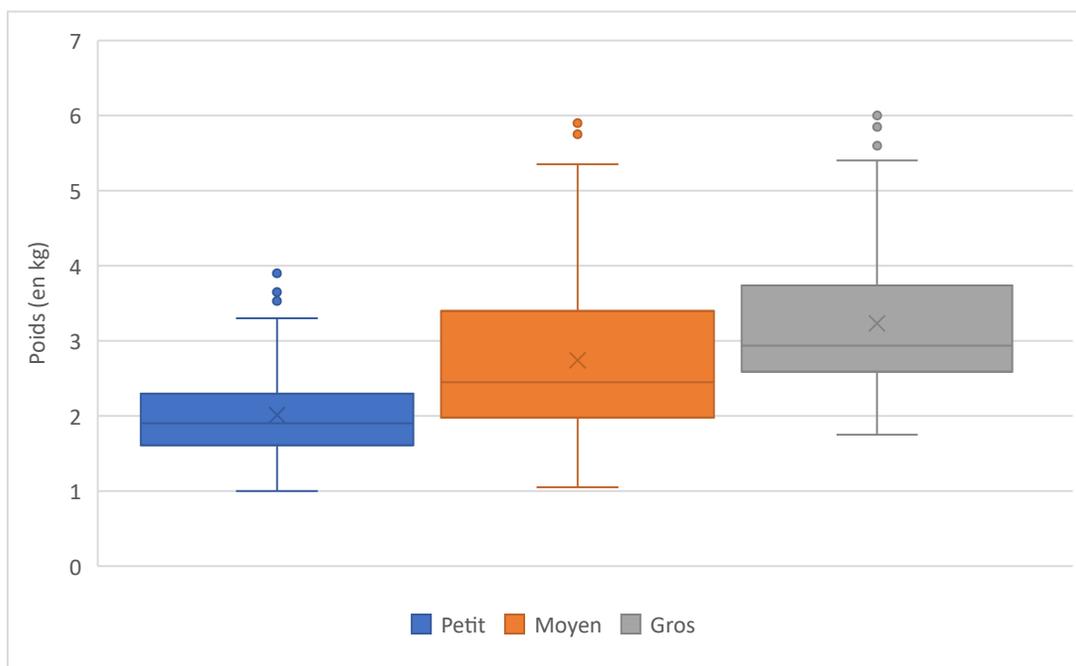


Figure 18: Poids en fonction du gabarit en maternité

2.2.1.2) Animaux prélevés en période sevrage

Les échantillons de 465 porcs ont été dosés, soit 88% des porcs initialement inclus dans l'étude. A la différence de la maternité la cause de non dosage est différente. En effet, les porcs ne sont plus glabres. Cependant, les causes les plus fréquentes de perte d'échantillons sont les individus morts et perdus (porcs qui ne sont plus retrouvés dans l'élevage sans que l'éleveur ne puisse l'expliquer: mort non enregistré, perte de boucles...). La moitié des porcelets de l'élevage I ont été perdus et 10 porcelets de l'élevages O sont morts (Figure 19, Annexe 7).

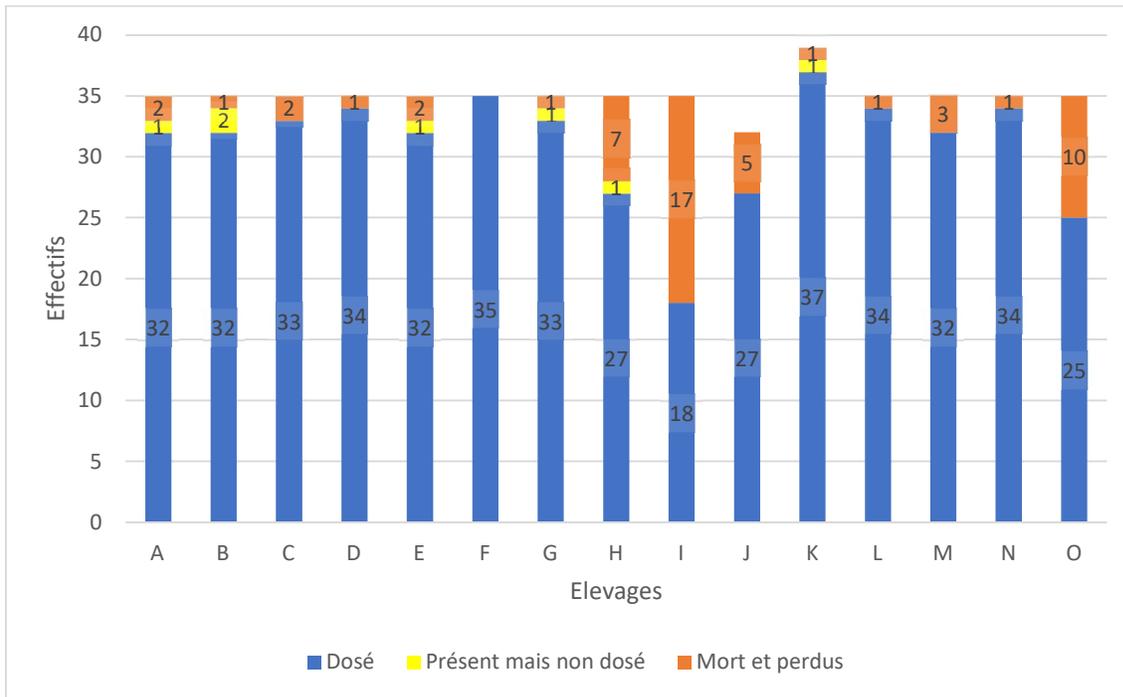


Figure 19: Effectifs de porcelets inclus dans l'étude en fonction des élevages au sevrage

Parmi les porcs dont le dosage du cortisol pileaire a pu être réalisé :

- 239 sont des mâles (51,4% de la population)
 - 35 mâles entiers (7,5% de la population)
 - 204 mâles castrés (43,8% de la population)
- 226 sont des femelles (48,6 % de la population)

Parmi les porcs dont les échantillons ont été dosés, l'âge moyen est de 46,5 jours (médiane 44 jours). Les âges varient de 39 à 59 jours (Figure 20).

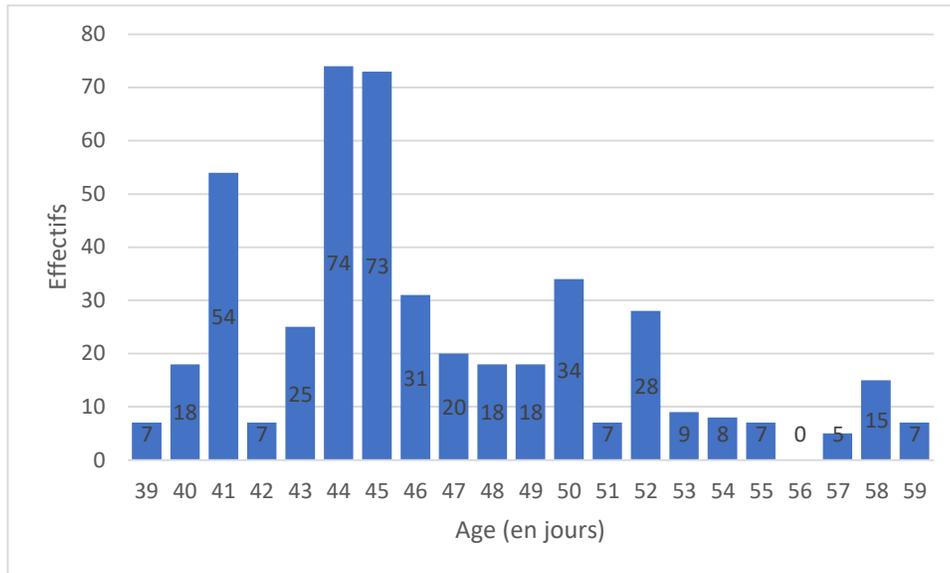


Figure 20: Effectifs de porcs dont le cortisol pileire a été dosé par âge au sevrage

L'intervalle entre le jour du sevrage et le jour de la visite varie de la veille du sevrage (-1) à 7 jours après le sevrage (Figure 21).

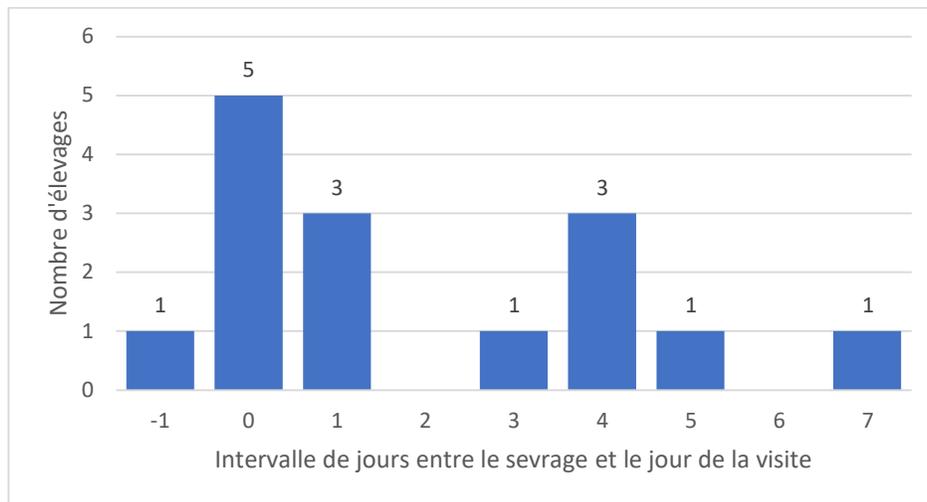


Figure 21: Nombre d'élevages en fonction du délai (en jours) entre la date de prélèvement et la date du sevrage

Pour l'ensemble des porcs prélevés au sevrage, 471 poids sont renseignés, aucune donnée n'est manquante. Le poids moyen est de 13,23 kg (médiane 12,7 kg). Les poids varient de 3,865 à 25,965 kg (Figure 22).

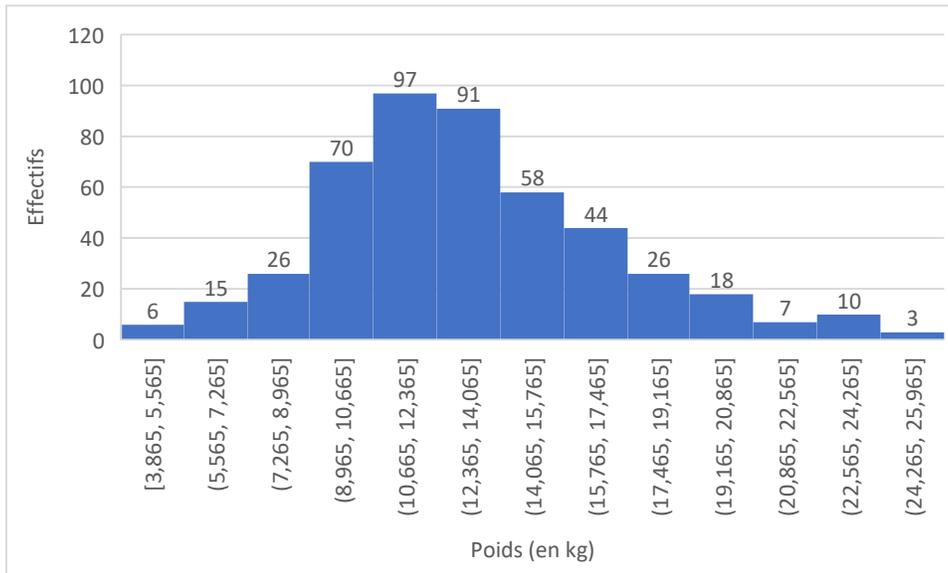


Figure 22: Poids de l'ensemble des porcs prélevés au sevrage

Pour les porcs dont le dosage a pu être réalisé, 464 poids sont renseignés, la donnée est manquante pour un porc de l'élevage K. Le poids moyen est de 13,23 kg (médiane 12,725 kg). Les poids varient de 3,865 à 25,965 kg (Figure 23).

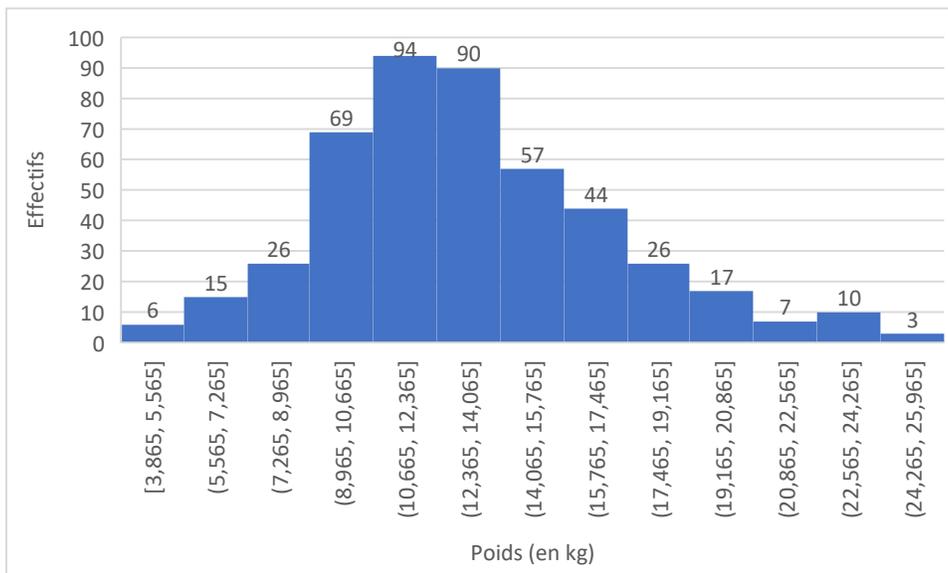


Figure 23: Poids des porcs dont le cortisol pileaire a été dosé au sevrage

Les porcelets ont des poids qui varient beaucoup au même âge. Nous observons également que les porcelets les plus âgés sont plus lourds (Figure 24).

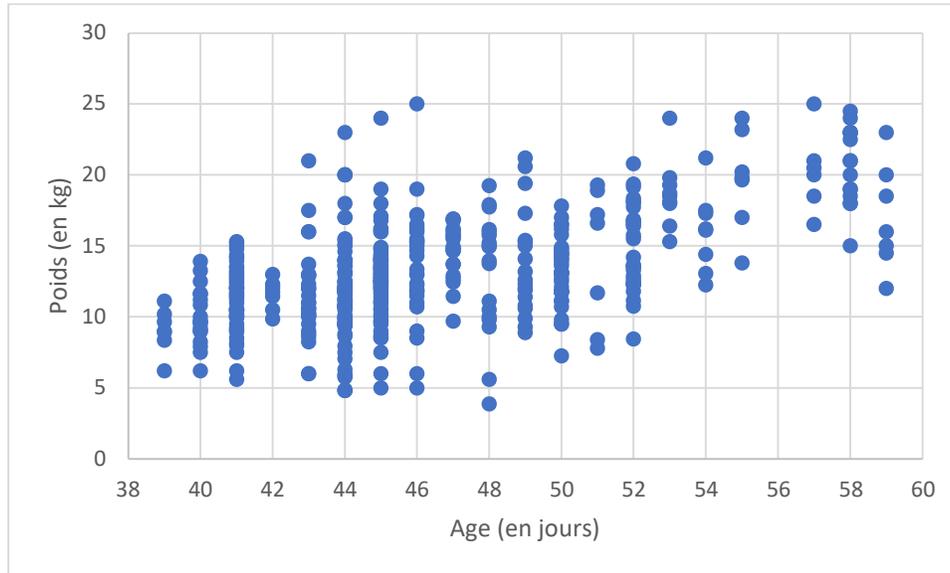


Figure 24: Poids en fonction de l'âge au sevrage

Pour l'ensemble des lésions, il n'y a pas suffisamment d'individus pour lesquels la concentration de cortisol pileire est dosée pour permettre une étude statistique. Il en est de même pour la variable qui décrit la couleur du poil car trop peu d'animaux ont des poils sombres ou colorés ($n < 30$). Les lésions cutanées correspondent à des lésions communément observées lors du sevrage (Tableau IV).

Observations	Nombre d'individus	% de l'effectifs
Diarrhée	3	0,6 %
Lésions cutanées	50	10,6 %
Hernie	3	0,6 %
Autres signes cliniques (boiterie, toux...)	11	2%

Tableau IV: Signes cliniques et lésions observés lors du sevrage

Nous observons que les gabarits sont très liés aux poids au sevrage bien que la distribution du poids pour chaque gabarit soit important (Tableau V, Figure 25).

Petit	Moyen	Gros
33	370	61

Tableau V : Effectifs des gabarit des porcelets dont les poils ont pu être dosés au sevrage

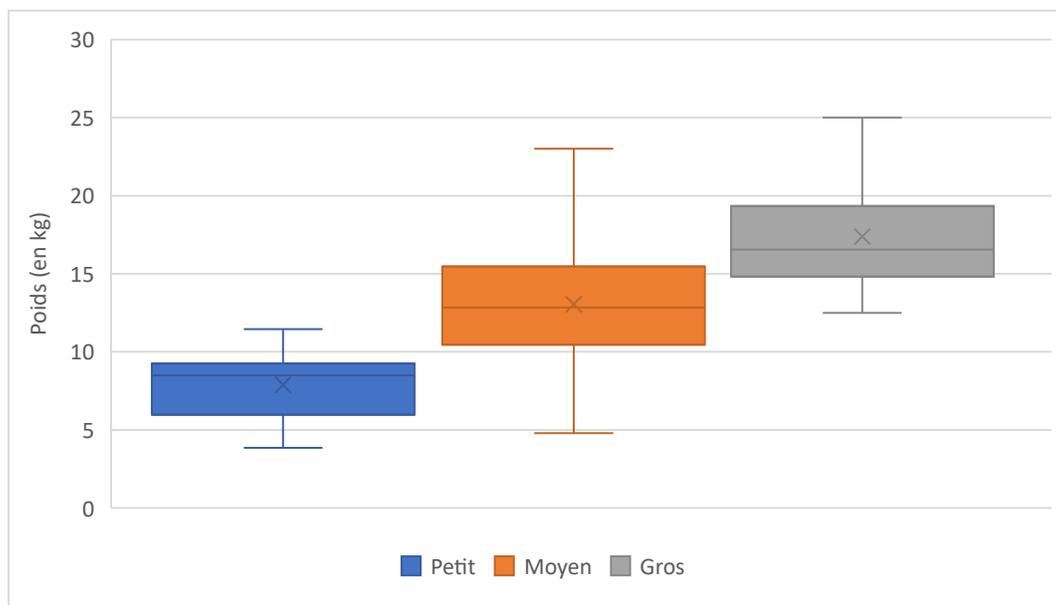


Figure 25: Poids en fonction du gabarit au sevrage

2.2.1.3) Animaux prélevés en début d'engraissement

72,6% des porcs initialement inclus dans l'étude ont pu être dosés (« dosés avec boucles »). Un porc de l'élevage C a été dosé sans boucle, il a perdu son identification et ne peut plus être identifié individuellement (« dosés sans boucles »). Cet individu est conservé pour calculer la moyenne de l'élevage C et pour les modèles univariés et le modèle multivarié en début d'engraissement. Cependant, il est exclu pour les suivis individuels. La mort des individus (8,2%) et les individus perdus (10,5%) sont les principales causes de pertes d'échantillons en début d'engraissement. La perte des individus dans l'élevage I s'accroît (74% de l'effectif perdu) (Figure 26, Annexe 8).

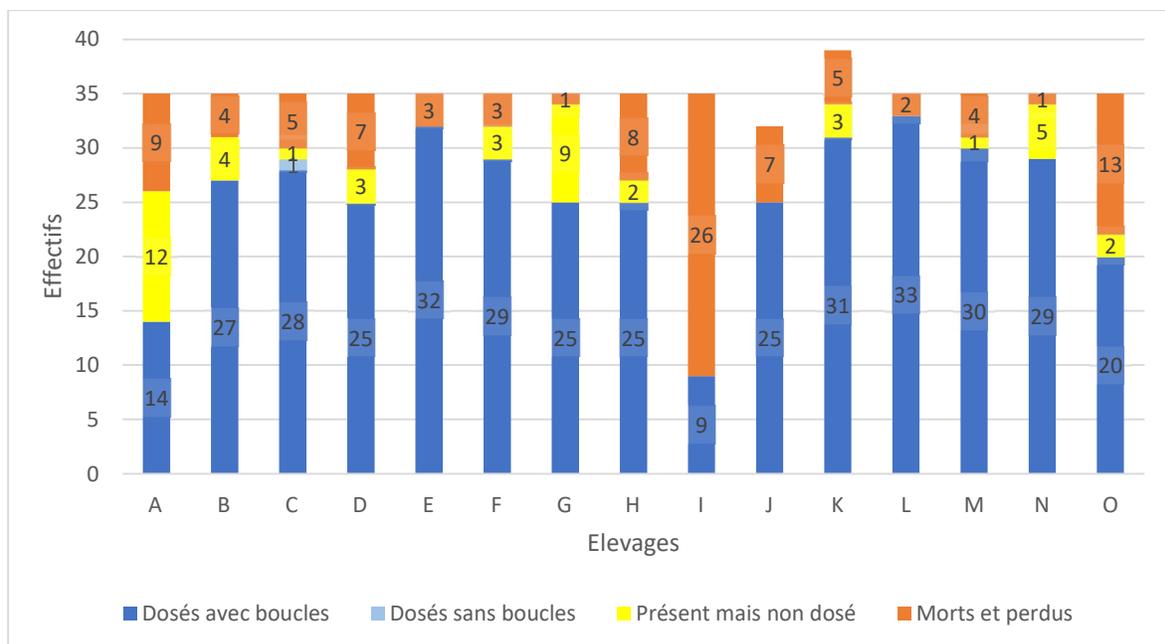


Figure 26: Effectifs de porcs inclus dans l'étude en fonction des élevages en début d'engraissement

Parmi les porcs dont le cortisol pilaire a été mesuré :

- 206 sont des mâles (53,8 % de la population)
 - 25 mâles entiers (6,5 % de la population)
 - 181 mâles castrés (47,3 % de la population)
- 177 sont des femelles (46,2 % de la population)

L'âge moyen est de 90,33 jours (médiane 89 jours). L'âge varie de 76 à 104 jours. (Figure 27).

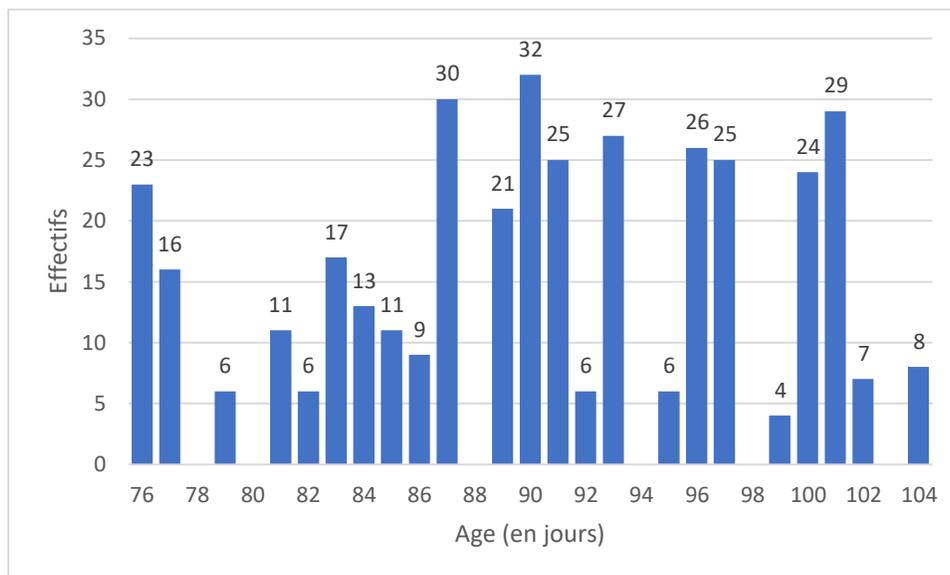


Figure 27: Effectifs de porcs dosés par âge en début d'engraissement

Pour l'ensemble des porcs prélevés en début d'engraissement, 271 poids sont renseignés, les données sont manquantes pour 6 élevages (E, I, J, L, N et O). Le poids moyen est de 36,44 kg (médiane 33,8 kg). Les poids varient de 11 à 63 kg. Ils ne sont pas toujours obtenus le jour de la visite mais peuvent dater de quelques jours auparavant lors du passage du sevrage à l'engraissement (Figure 28).

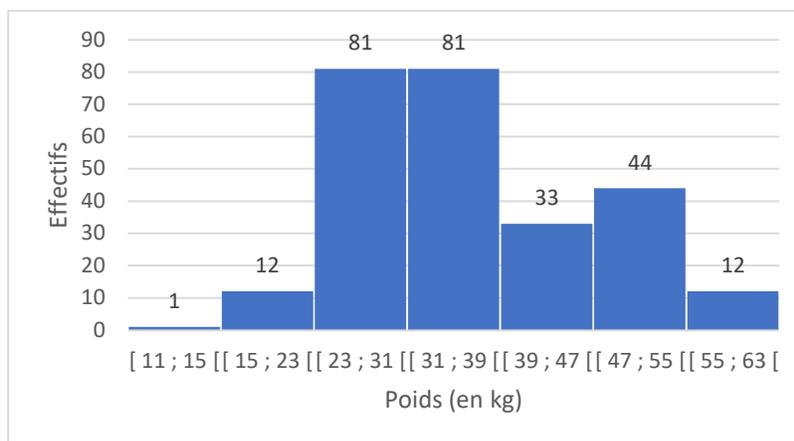


Figure 28: Effectifs de porcs en fonction du poids en début d'engraissement

Pour les porcs dont le dosage a pu être réalisé, 219 poids sont renseignés. Le poids moyen est de 36,87 kg (médiane 34 kg). Les poids varient de 17 à 63 kg (Figure 29).

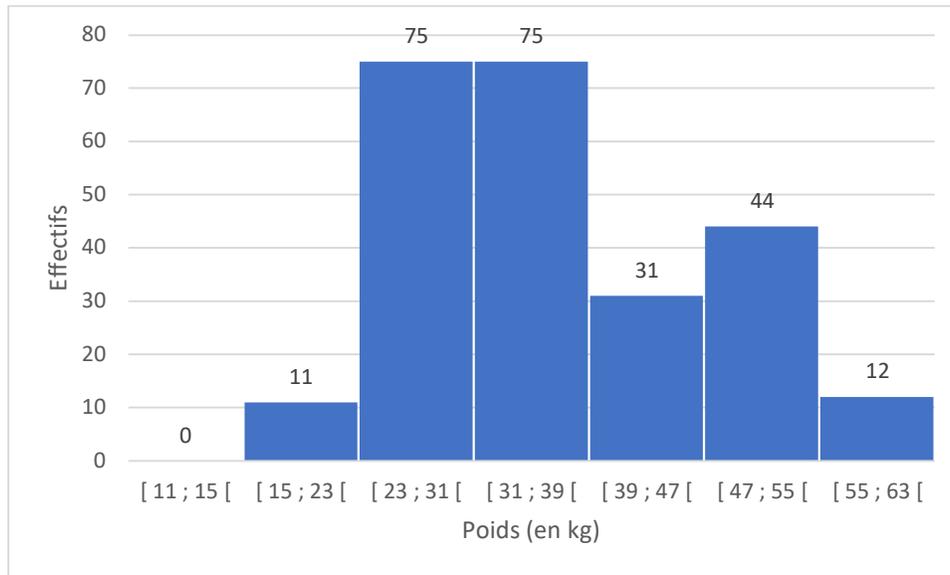


Figure 29: Poids des porcs dont le cortisol pileire a été dosé en début d'engraissement

Certains porcs présentaient une repousse faible en début d'engraissement, dans ce cas nous avons tondu les porcs autour de la zone décrite dans le protocole. L'effet du changement de zone de tonte suite à une repousse pileire faible en début d'engraissement (N=61, effectif suffisant) sur les concentrations de cortisol pileire sera étudié dans la suite de ce manuscrit. Pour les autres paramètres, il n'y a pas suffisamment d'individus pour lesquels la concentration de cortisol pileire est dosée. Les analyses statistiques concernant ces variables ne sont donc pas présentées (Tableau VI).

Observations	Nombre d'individus	% de l'effectifs dosé
Diarrhée	9	2 %
Lésions cutanées	29	6,8 %
Hernie	5	1,1 %
Autres signes cliniques (boiterie, toux...)	8	1,8 %
Repousse pileire faible	61	14,3 %

Tableau VI: Signes cliniques et lésions observés en début d'engraissement

2.2.1.4) Animaux prélevés en fin d'engraissement

Le cortisol pilaire a pu être dosé pour 74,6% des porcs initialement inclus dans l'étude :

- 68.6% étaient toujours bouclés et permettaient de poursuivre le suivi individuel (« dosés avec boucles »)
- 5,9% avaient perdu leur boucle et ne pouvaient plus être inclus dans le suivi individuel mais pouvaient intégrer le suivi global (« dosés sans boucles »)

Les plus grandes causes de pertes d'échantillons reste la mort et la perte des individus (Figure 30, Annexe 9).

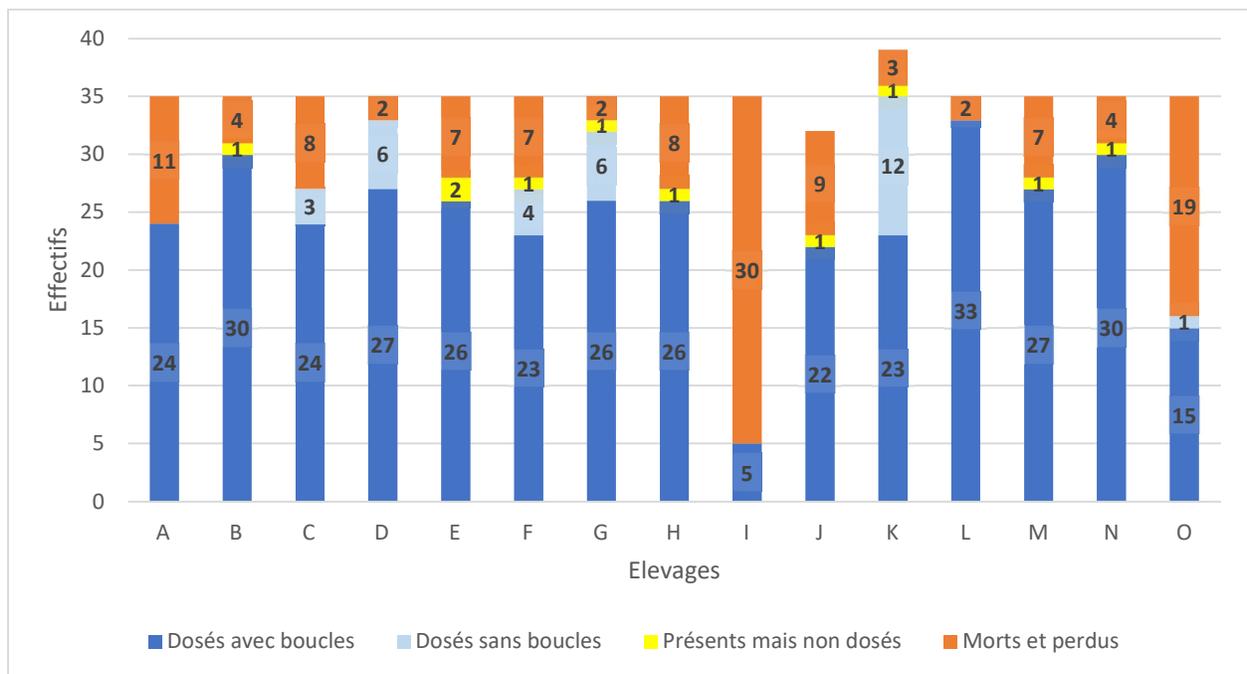


Figure 30: Effectifs de porcs inclus dans l'étude en fonction des élevages en fin d'engraissement

Parmi les porcs dont le cortisol pilaire a été mesuré :

- 187 sont des mâles (49,6 % de la population)
 - 27 mâles entiers (7,2 % de la population)
 - 160 mâles castrés (42,4 % de la population)
- 190 sont des femelles (50,4 % de la population)

Le sexe de 14 porcs sans boucle est inconnu.

L'âge moyen des porcs dosés est de 168,9 jours (médiane : 163 jours). L'âge varie de 148 à 197 jours (Figure 31).

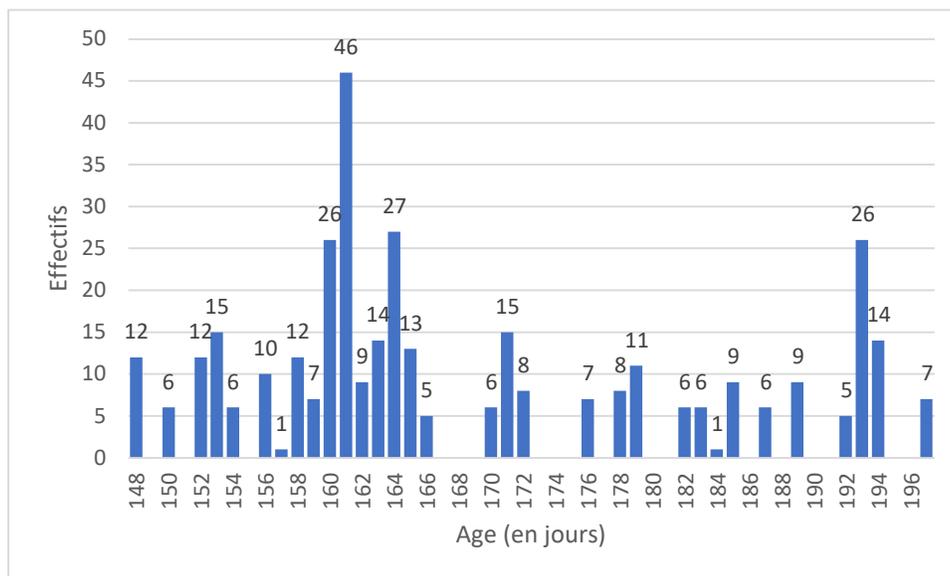


Figure 31: Effectifs par âge en fin d'engraissement

Seul le poids de 20 porcs sont connus, provenant uniquement de l'élevage J. Nous n'étudierons pas ce facteur en fin d'engraissement dans ce manuscrit. Il n'y a pas suffisamment d'individus pour lesquels la concentration de cortisol pileire est dosée pour étudier l'effet des signes cliniques et des lésions (Tableau VII).

Observations	Nombre d'individus	% de l'effectifs
Diarrhée	2	0,5 %
Lésions cutanées	11	2,7 %
Hernie	1	0,3 %
Autres signes cliniques (boiterie, toux...)	1	0,3 %
Repousse pileire faible	2	0,5 %

Tableau VII: Signes cliniques et lésions observés en fin d'engraissement

2.2.2) Concentration de cortisol pilaire au cours de la vie des individus

Les représentations graphiques sont réalisées avec les données brutes afin de permettre au lecteur une meilleure compréhension. Cependant, les analyses statistiques sont réalisées sur les données transformées à l'aide de la fonction logarithme décimal.

Le Tableau VIII résume les concentrations de cortisol pilaire obtenues par stade. **Le stade a une influence sur la concentration de cortisol pilaire** (p -value < 0,001). Les concentrations de cortisol pilaire diminuent de la maternité au début d'engraissement (p -value < 0,001). Les concentrations de cortisol pilaire ne sont pas significativement différentes entre le début et la fin de l'engraissement (p -value > 0,05) (Tableau IX).

Stade	Nombre d'individus	Moyenne (en pg/mg de soies)	Médiane	Ecart-type
Maternité	386	185,3	178,2	99,3
Sevrage	465	52,8	43,7	37
Début d'engraissement	383	31,3	25,8	22,9
Fin d'engraissement	392	29,5	20,6	25,4

Tableau VIII: Concentration de cortisol pilaire des porcs aux différents stades

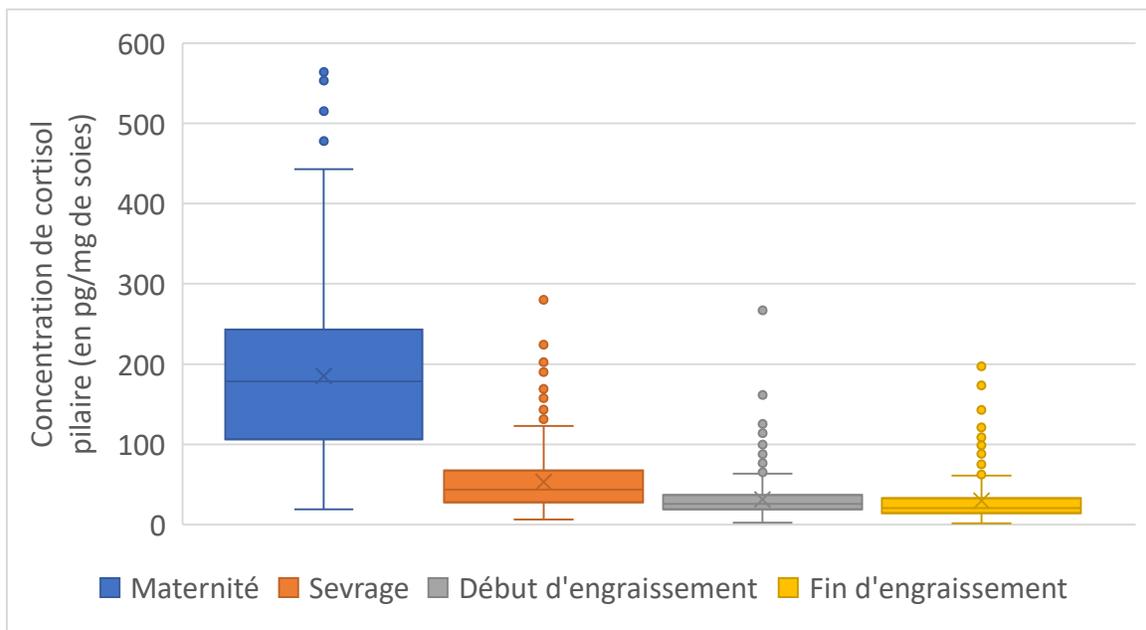


Figure 32: Concentration de cortisol pilaire en fonction du stade

	Maternité	Sevrage	Début d'engraissement	Fin d'engraissement
Maternité		*** Se < Mater	*** DEng < Mater	*** FEng < Mater
Sevrage			*** DEng < Se	*** FEng < Se
Début d'engraissement				
Fin d'engraissement				

Tableau IX: Tableau de significativité du stade (* = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; *** = p-value < 0,001 ; Mater = Maternité, Se = Sevrage, DEng = Début d'engraissement, FEng = Fin d'engraissement)

33). En maternité, la concentration de cortisol pilaire varie de 18,81 à 564,2 pg/mg de soies (Figure 33).

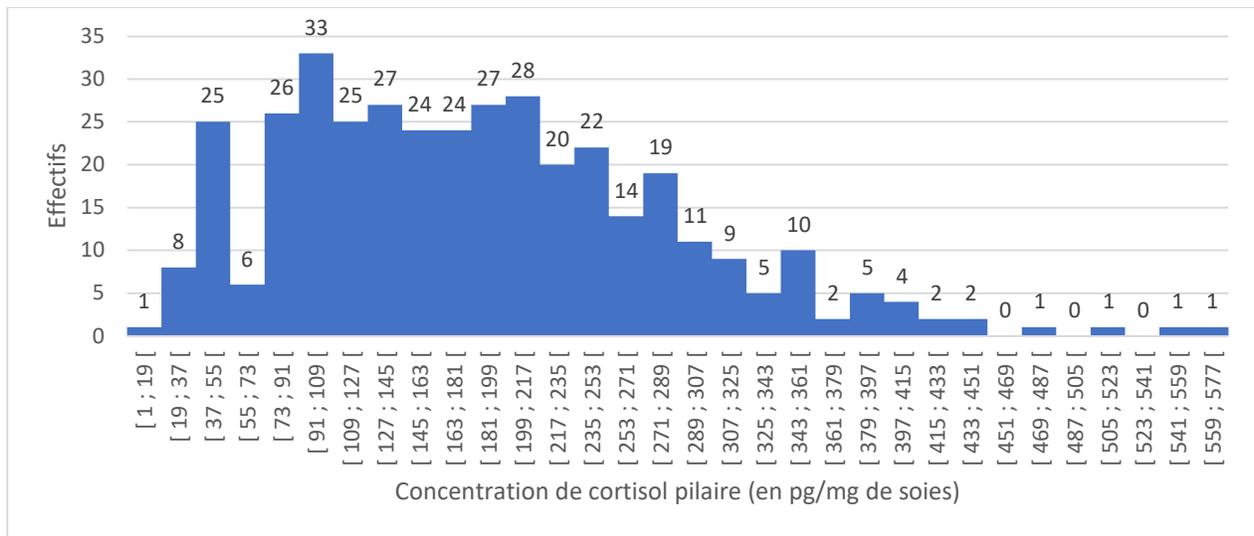


Figure 33: Distribution des concentrations de cortisol pilaire en maternité

Au sevrage, la concentration de cortisol pilaire varie de 6,08 à 280,13 pg/mg de soies (Figure 34).

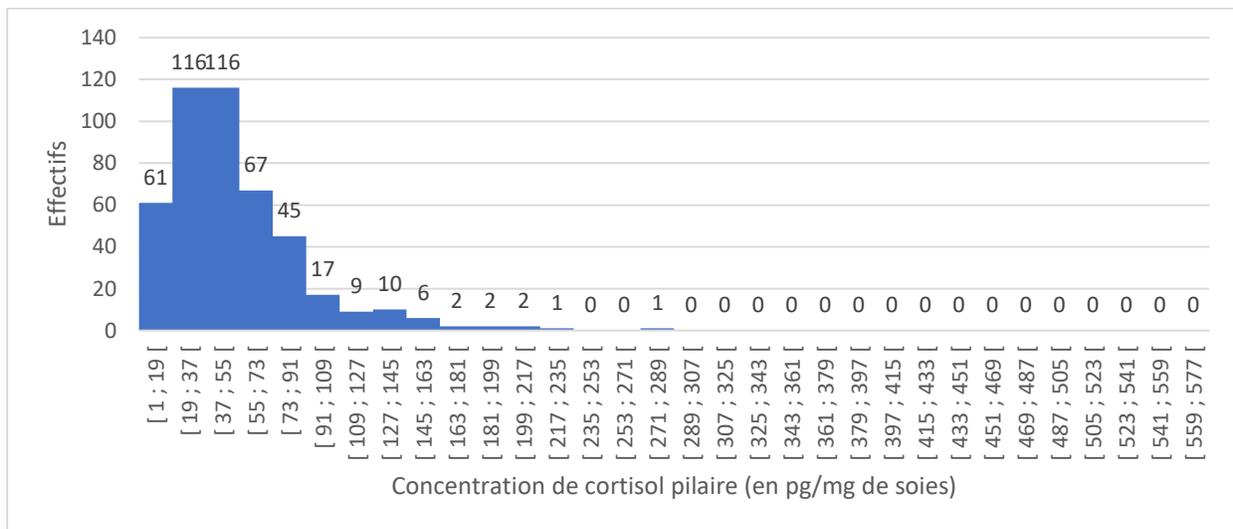


Figure 34: Distribution des concentrations de cortisol pilaire au sevrage

En début d'engraissement, la concentration de cortisol pilaire varie de 2,25 à 267,15 pg/mg de soies (Figure 35).

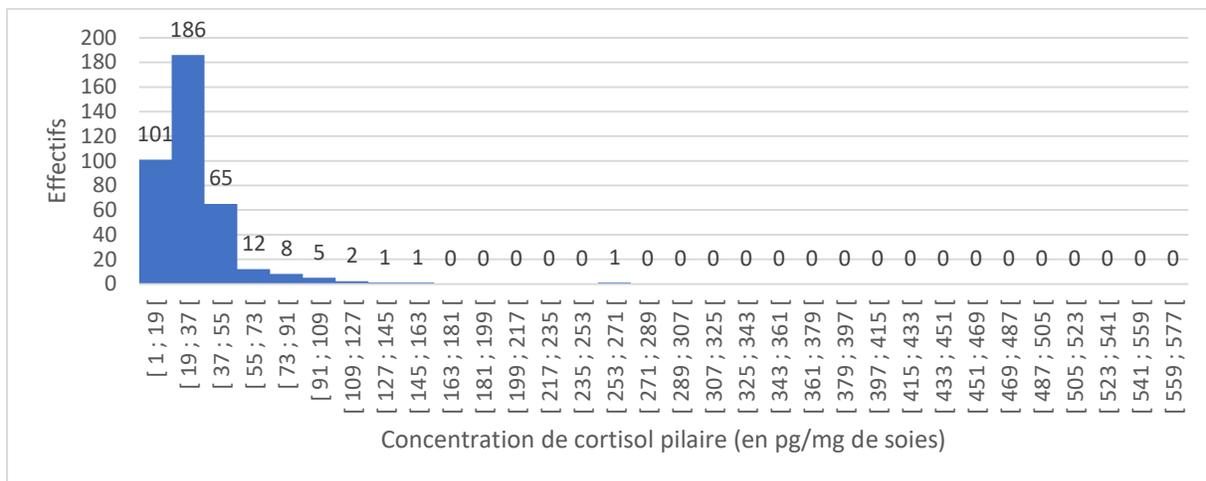


Figure 35: Distribution des concentration de cortisol pilaire en début d'engraissement

En fin d'engraissement, la concentration de cortisol pileire varie de 1,40 à 197,18 pg/mg de soies (Figure 36).

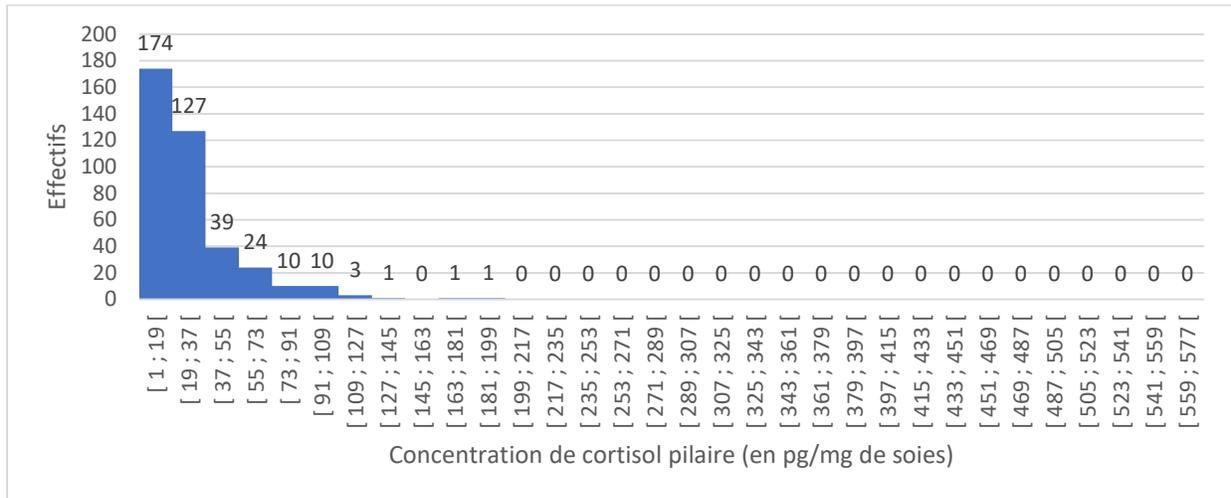


Figure 36: Distribution des concentrations de cortisol pileire en fin d'engraissement

Etant donné la diversité des âges et des poids pour un stade physiologique donné, nous avons également présenté les concentrations de cortisol pileire en fonction de l'âge (Figure 37) et du poids des porcs (Figure 38).

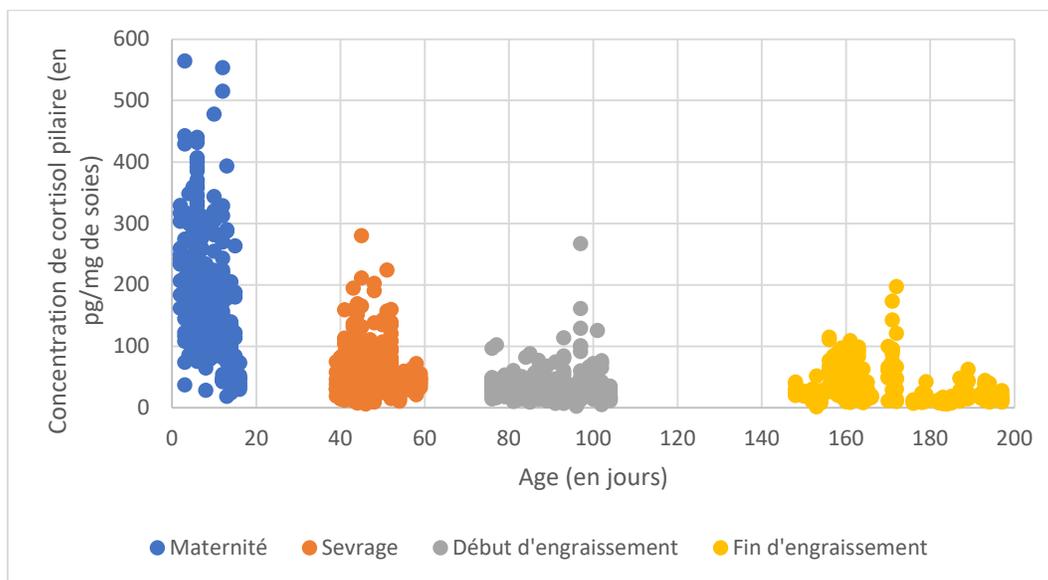


Figure 37: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge des porcs

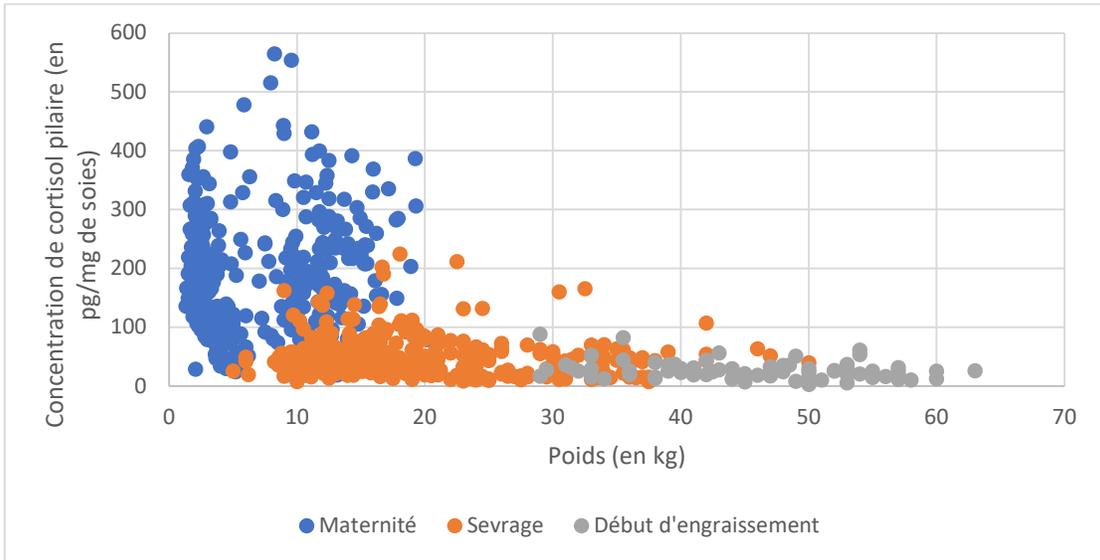


Figure 38: Concentration de cortisol pileire en fonction du poids des porcs

2.2.3) Facteurs influençant les concentrations de cortisol pileire

Les représentations graphiques sont réalisées avec les données brutes afin de permettre au lecteur une meilleure compréhension. Cependant les analyses statistiques sont réalisées sur les données transformées à l'aide d'un logarithme décimal.

2.2.3.1) Effet de l'élevage sur la concentration de cortisol pileire

L'élevage influe sur la concentration de cortisol pileire à tous les stades (p-value < 0,001).

En maternité, les concentrations moyennes de cortisol pileire varient de 56,3 pg/mg de soies (élevage C) à 267,6 log(pg/mg de soies) (élevage N) (Tableau X, Figure 39).

Elevage	A	B	C	D	E	F	G	H
Nombre d'analyses	14	6	31	25	22	23	29	33
[Min ; Max]	[94,5 ; 224,5]	[28,4 ; 243,1]	[24,3 ; 215,6]	[84,1 ; 407,1]	[117,5 ; 440,4]	[102 ; 385,6]	[156,4 ; 355,4]	[53,9 ; 263,7]
Concentration moyenne de cortisol pileire	156	179,7	56,3	204,2	242,9	200,4	238,4	117,4
Médiane	148,1	193,5	47,7	176,8	231	187,3	231,3	110,1
Ecart-type	42,5	78	33,6	97	73,3	73,7	61,6	44,2
Elevage	I	J	K	L	M	N	O	
Nombre d'analyses	24	27	25	34	27	32	34	
[Min ; Max]	[79,3 ; 343,6]	[133 ; 348,4]	[37,3 ; 318,2]	[84,7 ; 431,8]	[91,6 ; 564,2]	[18,8 ; 553,5]	[30,5 ; 219,3]	
Concentration moyenne de cortisol pileire	135,4	220,3	172,8	264,7	221,9	267,6	105,3	
Médiane	105,7	206,6	162,2	266,7	192,1	269,9	87,1	
Ecart-type	66,2	63,2	72,4	85,9	115,6	113,9	53,8	

Tableau X: Résultats des dosages de cortisol pileire en maternité. Les valeurs de cortisol sont exprimées en pg/mg de soies

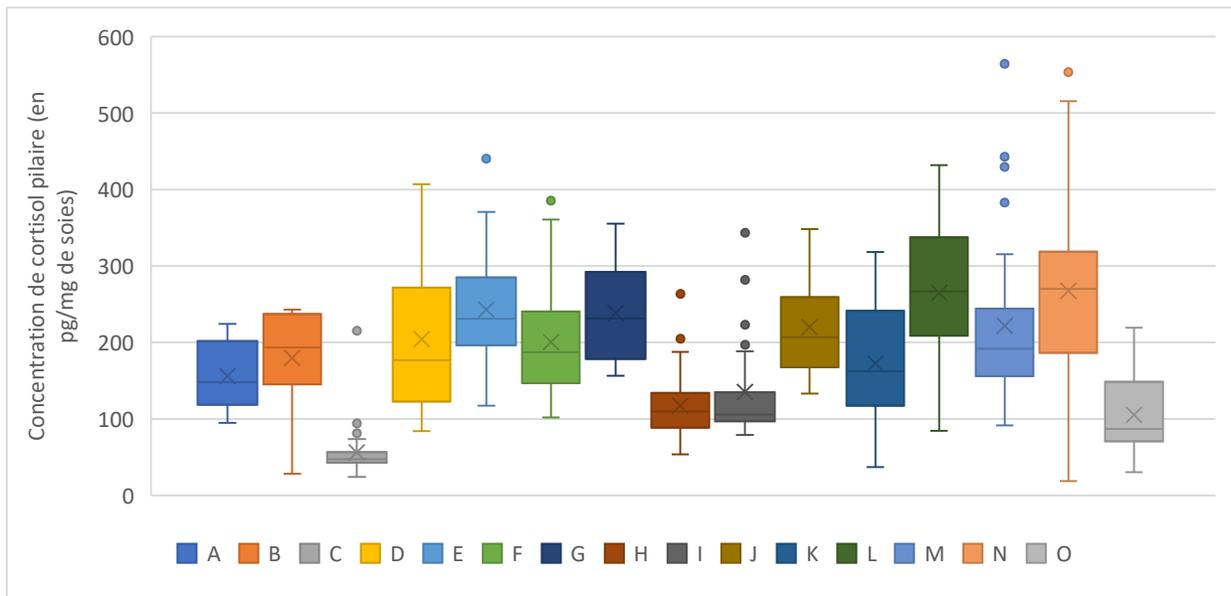


Figure 39: Concentration de cortisol pileire par élevage en maternité

Les animaux de l'élevage C présentent des concentrations de cortisol pileire significativement plus faibles que ceux des autres élevages (p -value < 0,001) (Tableau XI).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A			*** C<A									* A<L			* O<A
B			*** C<A												
C				*** C<D	*** C<E	*** C<F	*** C<G	*** C<H	*** C<I	*** C<J	*** C<K	*** C<L	*** C<M	*** C<N	*** C<O
D							*** H<D								*** O<D
E							*** H<E	*** I<E							*** O<E
F							*** H<F								*** O<F
G							*** H<G	*** I<G							*** O<G
H										*** H<J		*** H<L	*** H<M	*** H<N	
I										** I<J		*** I<L	** I<M	*** I<N	
J															*** O<J
K												** K<L		* K<N	*** O<K
L															*** O<L
M															*** O<M
N															*** O<N
O															

Tableau XI: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les élevages en maternité (* = p -value < 0,05 ; ** = p -value < 0,01 ; *** = p -value < 0,001)

Au sevrage, les concentrations moyennes de cortisol pileire varient de 17,5 pg/mg de soies (élevage K) à 104,6 pg/mg de soies (élevage N) (Figure 40 ; Tableau XII).

Elevage	A	B	C	D	E	F	G	H
Nombre d'analyses	32	31	33	34	32	35	33	27
[Min ; Max]	[39,9 ; 224,2]	[12,2 ; 211,1]	[6,1 ; 143,1]	[15,7 ; 169,2]	[25,1 ; 162,1]	[18,1 ; 113,5]	[32,7 ; 139,2]	[21,1 ; 71,7]
Concentration moyenne de cortisol pileire	90,6	59,5	38,3	50,1	55,2	53,9	66,4	40,8
Médiane	77,6	46,8	30,4	43,3	44,0	48,3	60,3	38,3
Ecart-type	45,3	45,8	28,8	29,5	31,7	24,5	28,5	13,5
Elevage	I	J	K	L	M	N	O	
Nombre d'analyses	18	27	37	34	32	34	25	
[Min ; Max]	[12,9 ; 48,8]	[41,9 ; 135]	[7,4 ; 45,2]	[20,3 ; 70,5]	[21,1 ; 55,6]	[49,6 ; 280,1]	[10,8 ; 159,9]	
Concentration moyenne de cortisol pileire	25,3	65,2	17,5	48,7	33,3	104,6	23,4	
Médiane	24,6	58,9	15,3	48,9	34,5	93,9	17,7	
Ecart-type	8,8	22,4	8,2	11	7,2	46,5	28,8	

Tableau XII: Résultats des dosages de cortisol pileire au sevrage. Les valeurs de cortisol sont exprimées en pg/mg de soies

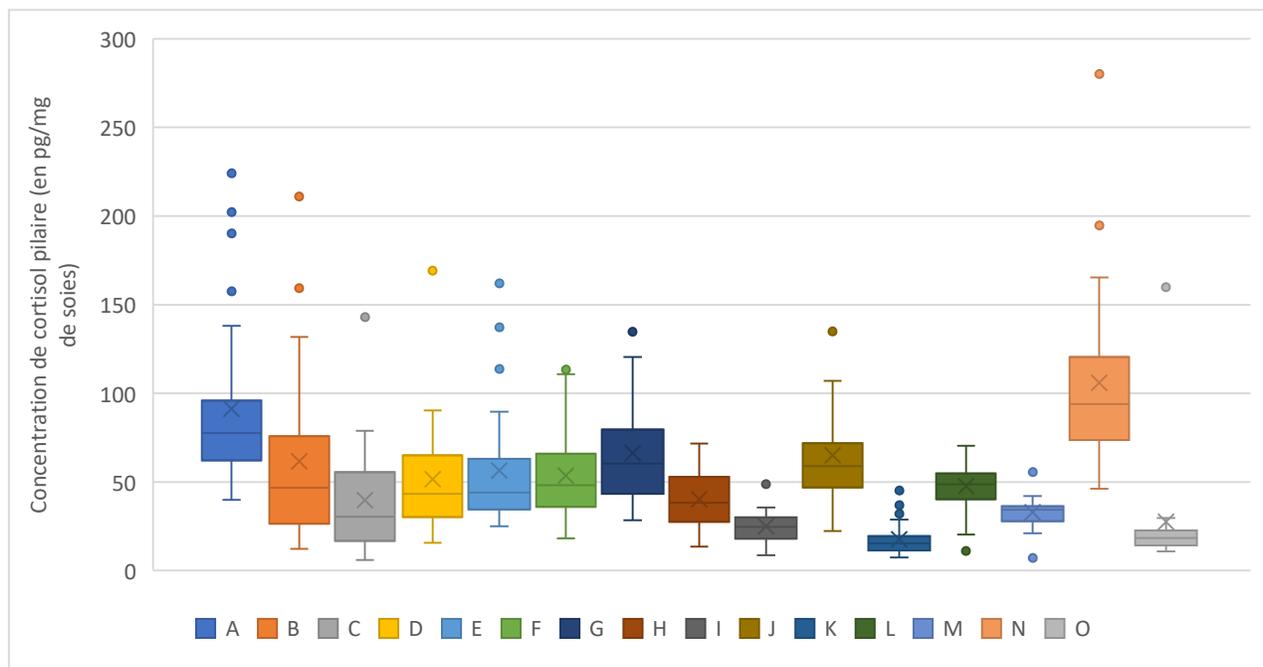


Figure 40: Concentration de cortisol pileire par élevage au sevrage

Les animaux des élevages O, K, C et I présentent des concentrations de cortisol pileire plus faibles que ceux des autres élevages. *A contrario*, les porcelets de l'élevage N présentent des concentrations de cortisol pileire plus élevées que dans les autres élevages (hormis l'élevage A) (Tableau XIII).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A		*** B<A	*** C<A	*** D<A	*** E<A	*** F<A		*** H<A	*** I<A		*** K<A	*** L<A	*** M<A		*** O<A
B			** C<B						*** I<B		*** K<B			*** B<N	*** O<B
C				* C<D	*** C<E	*** C<F	*** C<G			*** C<J	*** K<C	*** C<L		*** C<N	* O<C
D									*** I<D		*** K<D			*** D<N	*** O<D
E									*** I<E		*** K<E		* M<E	*** E<N	*** O<E
F									*** I<F		*** K<F		* M<F	*** F<N	*** O<F
G								*** H<G	*** I<G		*** K<G		*** M<G	** G<N	*** O<G
H									* I<H		*** K<H			*** H<N	*** O<H
I										*** I<J		*** K<I		*** I<N	
J											*** K<J		*** M<J	* J<N	*** O<J
K												*** K<L	*** K<M	*** K<N	
L														*** L<N	*** O<L
M														*** M<N	*** O<M
N															*** O<N
O															

Tableau XIII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les élevages au sevrage (* = p -value < 0,05 ; ** = p -value < 0,01 ; *** = p -value < 0,001)

En début d'engraissement, les concentrations moyennes de cortisol pileire varient de 15 pg/mg de soies (élevage O) à 63,1 pg/mg de soies (élevage C). Les porcs de l'élevage C sont les seuls dont les valeurs ont augmenté entre le sevrage et le début d'engraissement (38,3 pg/mg au sevrage vs. 63,1 en début d'engraissement) (Figure 41; Tableau XIV).

Elevage	A	B	C	D	E	F	G	H
Nombre d'analyses	14	27	29	25	32	29	25	25
[Min ; Max]	[15,4 ; 87,9]	[10,1 ; 102,7]	[11,7 ; 267,2]	[5,1 ; 46,5]	[11,2 ; 33]	[14,5 ; 96,7]	[2,3 ; 52,3]	[17,1 ; 71,9]
Concentration moyenne de cortisol pileire	39,5	32,8	63,1	24,6	22	35,5	19,3	31,1
Médiane	33	28,8	44,5	24	22,3	34,6	18,5	26,9
Ecart-type	21,8	18	55,3	9,4	5,9	15,4	10,2	13,1
Elevage	I	J	K	L	M	N	O	
Nombre d'analyses	9	25	31	33	30	29	20	
[Min ; Max]	[13,1 ; 31,9]	[15,3 ; 74,7]	[13 ; 43,4]	[17,5 ; 77,1]	[8,9 ; 38,7]	[15,1 ; 125,6]	[7,3 ; 50,6]	
Concentration moyenne de cortisol pileire	23,7	31,4	23,4	34,3	21,5	44,9	15	
Médiane	25,9	28,5	21,2	30,3	21,2	38,2	12,4	
Ecart-type	6,6	13,4	7,9	14,3	8,2	21,1	9,1	

Tableau XIV: Résultats des dosages de cortisol pileire en début d'engraissement. Les valeurs de cortisol sont exprimées en pg/mg de soies.

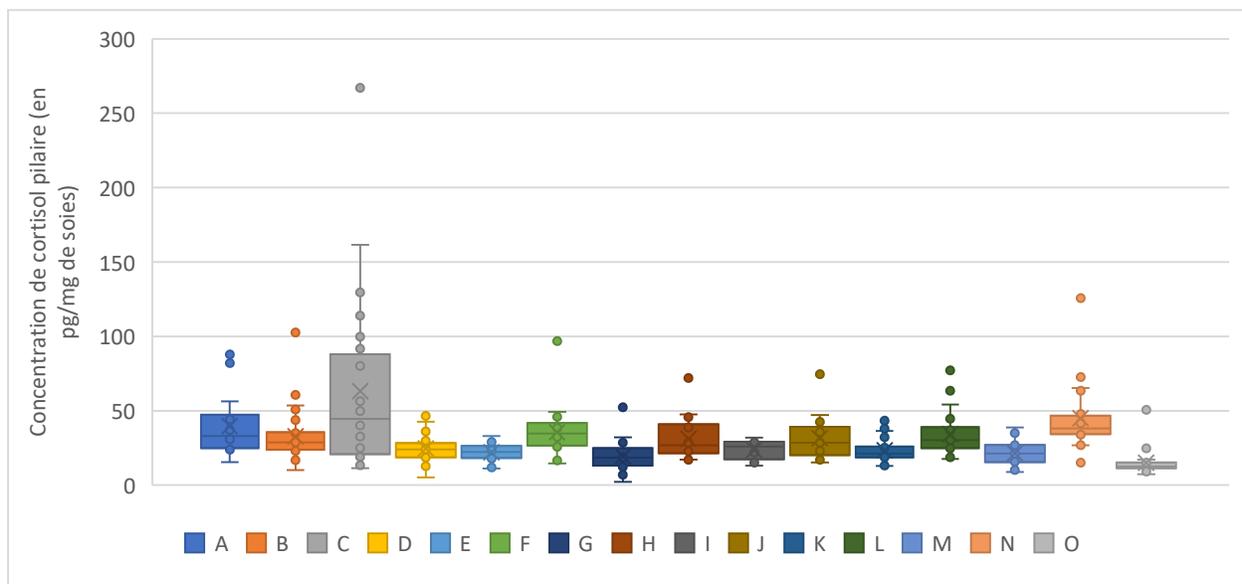


Figure 41: Concentration de cortisol pileire par élevage en début d'engraissement

Les animaux de l'élevage O présentent des concentrations de cortisol pileire significativement plus faibles que dans les autres élevages (hormis les élevages G, I et M). Cependant, les porcs de l'élevage C présentent des valeurs de cortisol pileire plus élevées que dans les autres élevages (hormis A, F, L et N) (Tableau XV).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A					*		***						*		***
					E<A		G<A						M<A		O<A
B			*				***								***
			B<C				G<B								O<B
C				***	***		***	*	**	*	***		***		***
				D<C	E<C		G<C	H<C	I<C	J<C	K<C		M<C		O<C
D														***	*
														D<N	O<D
E						*						*		***	*
						E<F						E<L		E<N	O<E
F							***						**		***
							G<F						M<F		O<F
G								**		**		***		***	
								G<H		G<J		G<L		G<N	
H															***
															O<H
I														*	
														I<N	
J															***
															O<J
K														***	*
														K<N	O<K
L													**		***
													M<L		O<L
M														***	
														M<N	
N															***
															O<N
O															

Tableau XV: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les élevages en début d'engraissement (* = p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)

En fin d'engraissement, les concentrations moyennes de cortisol pileire varient de 11,1 pg/mg de soies (élevage O) à 80,7 pg/mg de soies (élevage H). Les porcs des élevages H, I, J et L se démarquent des autres par une augmentation des concentrations de cortisol pileire entre le début et la fin de l'engraissement (par exemple pour l'élevage H : 31,1 pg/mg en début d'engraissement vs. 80,7 pg/mg en fin d'engraissement) (Figure 42; Tableau XVI).

Elevage	A	B	C	D	E	F	G	H
Nombre d'analyses	24	30	27	31	26	27	32	26
[Min ; Max]	[16,8 ; 83,9]	[9,6 ; 41,9]	[7,9 ; 62,9]	[6 ; 42,4]	[11,3 ; 44,3]	[9,6 ; 30,4]	[6,5 ; 39,8]	[29,2 ; 197,2]
Concentration moyenne de cortisol pileire	34	22,8	20,7	13,6	23,6	18,7	18,5	80,7
Médiane	30,1	22,4	15,6	11,9	20,8	17,4	16,8	70,7
Ecart-type	16,3	6,8	13,5	6,7	9,1	6,2	8,4	40,9
Elevage	I	J	K	L	M	N	O	
Nombre d'analyses	5	22	35	33	27	30	16	
[Min ; Max]	[32,1 ; 84,3]	[20,6 ; 115,1]	[9 ; 35,9]	[21 ; 109]	[1,4 ; 51,5]	[8,2 ; 63,1]	[7,4 ; 16,1]	
Concentration moyenne de cortisol pileire	61,4	58,2	19,4	51,9	14,1	22,8	11,1	
Médiane	60	56,1	18,1	46,1	12	19	10,8	
Ecart-type	20,6	28,3	5,6	24,5	9,5	12,8	2,2	

Tableau XVI: Résultats des dosages de cortisol pileire en fin d'engraissement. Les valeurs de cortisol sont exprimées en pg/mg de soies.

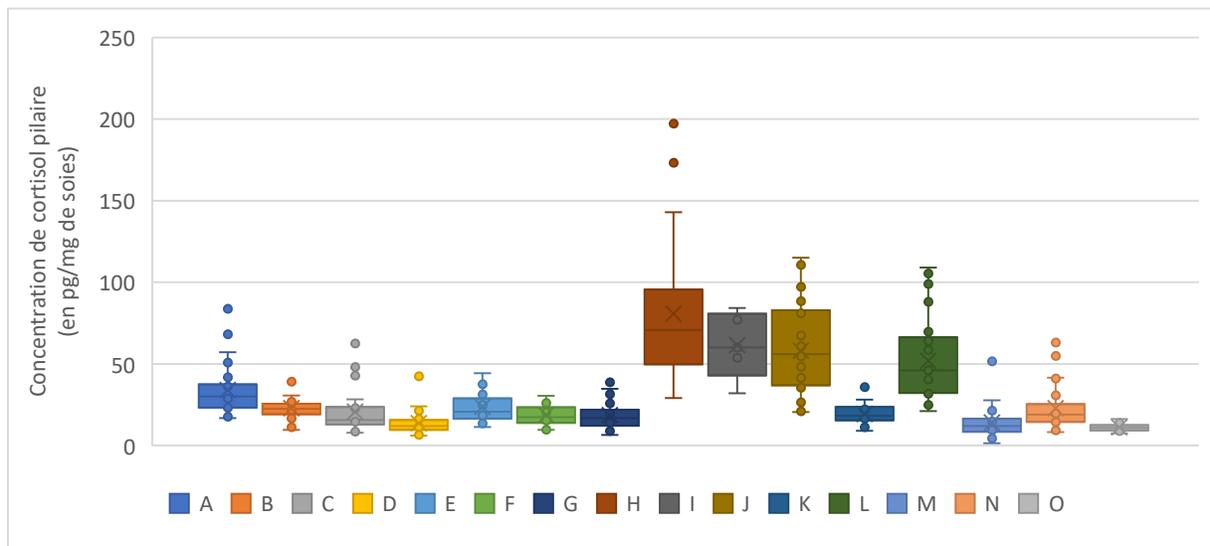


Figure 42: Concentration de cortisol pileire par élevage en fin d'engraissement

Nous pouvons établir 4 grands ensembles d'élevages (Tableau XVII):

- Les élevages à hautes valeurs de cortisol : H, I, J et L
- L'élevage A intermédiaire entre les élevages à hautes valeurs et à valeurs moyennes de cortisol
- Les élevages à moyennes valeurs de cortisol : B, C, D, E, F, G, K et N
- Les élevages à faibles valeurs de cortisol : M et O

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A			*** C<A	*** D<A		*** F<A	*** G<A	*** A<H		** A<J	*** K<A	* A<L	*** M<A	* N<A	*** O<A
B				*** D<B				*** B<H	*** B<I	*** B<J		*** B<L	*** M<B		*** O<B
C								*** C<H	*** C<I	*** C<J		*** C<L	* M<C		* O<C
D					*** D<E			*** D<H	*** D<I	*** D<J	* D<K	*** D<L		** D<N	
E								*** E<H	*** E<I	*** E<J		*** E<L	*** M<E		*** O<E
F								*** F<H	*** F<I	*** F<J		*** F<L	* M<F		* O<F
G								*** G<H	*** G<I	*** G<J		*** G<L			
H											*** K<H	* L<H	*** M<H	*** N<H	*** O<H
I											*** K<I		*** M<I	*** N<I	*** O<I
J											*** K<J		*** M<J	*** N<J	*** O<J
K												*** K<L	** M<K		** O<K
L													*** M<L	*** N<L	*** O<L
M														*** M<N	
N															*** O<N
O															

Tableau XVII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les élevages en fin d'engraissement (* = p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001)

2.2.3.2) Effet de l'âge par stade

Nous avons commencé par étudier l'effet de l'âge en maternité. Une représentation graphique à l'aide d'un nuage de points des concentrations de cortisol pileire en fonction de l'âge en maternité a d'abord été réalisée. Nous avons une possible régression linéaire en maternité que nous avons tracée. Cependant, le coefficient de corrélation obtenu étant trop faible ($R^2=0,2067$), nous avons transformé l'effectif en classes (Figure 43).

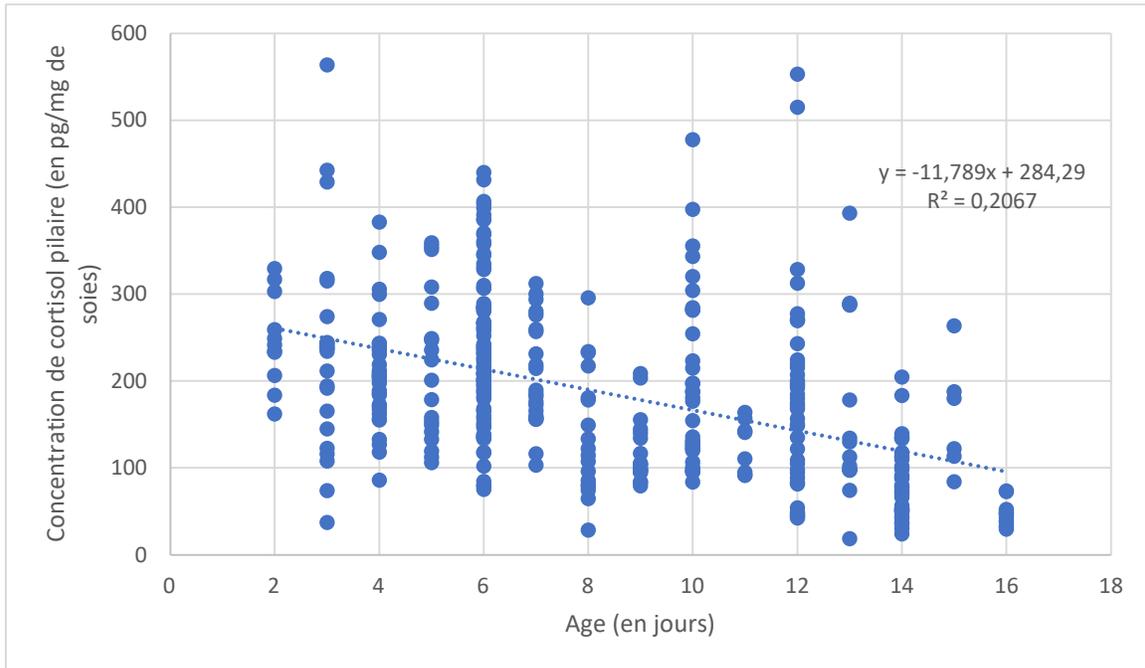


Figure 43: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jours en maternité

En maternité, nous avons formé 4 classes homogénéisées par effectifs : [2-5] ; [6 - 7] ; [8 - 11] et [12 - 16] dont les effectifs sont présentés dans le Tableau XVIII. **L'âge en maternité influe sur les concentrations de cortisol pileire.** L'âge en maternité est associé à une diminution des concentrations de cortisol pileire ($p\text{-value} < 0,001$), sauf entre les classes d'âge [2-5] et [6 - 7] ($p\text{-value} > 0,05$) (Figure 45).

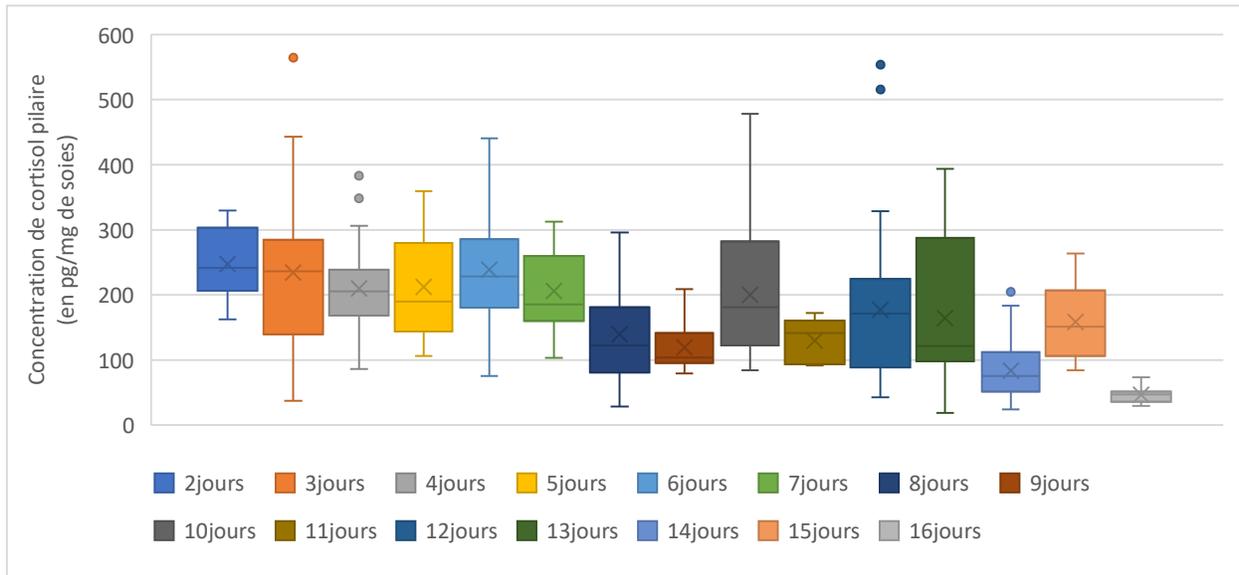


Figure 44: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jour en maternité

Classes d'âge (jours)	[2-5]	[6-7]	[8-11]	[12-16]
Effectifs	85	112	81	108
Concentration moyenne de cortisol pileire	221,5 ± 87,0 pg/mg	231,9 ± 83,7 pg/mg	160,1 ± 83,9 pg/mg	127,5 ± 98,2 pg/mg

Tableau XVIII: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par classes d'âge homogénéisées par effectifs en maternité

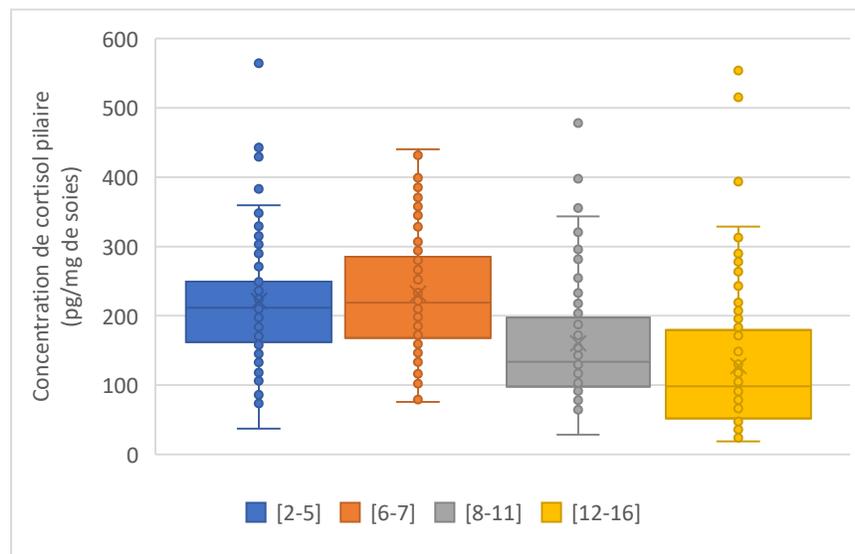


Figure 45: Concentration de cortisol pileire par classes d'âge homogénéisées par effectifs en maternité

	[2-5]	[6-7]	[8-11]	[12-16]
[2-5]		---	*** [8-11]<[2-5]	*** [12-16]<[2-5]
[6-7]			*** [8-11]<[6-7]	*** [12-16]<[6-7]
[8-11]				*** [12-16]<[8-11]
[12-16]				

Tableau XIX: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire par classes d'âge homogénéisées par effectifs en maternité (*= p -value<0,05 ; ** = p -value<0,01 ; *** = p -value<0,001)

Pour étudier l'effet de l'âge au sevrage, une représentation graphique à l'aide d'un nuage de point des concentrations de cortisol pileire en fonction de l'âge au sevrage a d'abord été réalisée.. Nous n'avons pas vu de possible régression linéaire et avons transformé l'effectif en classe d'âge.

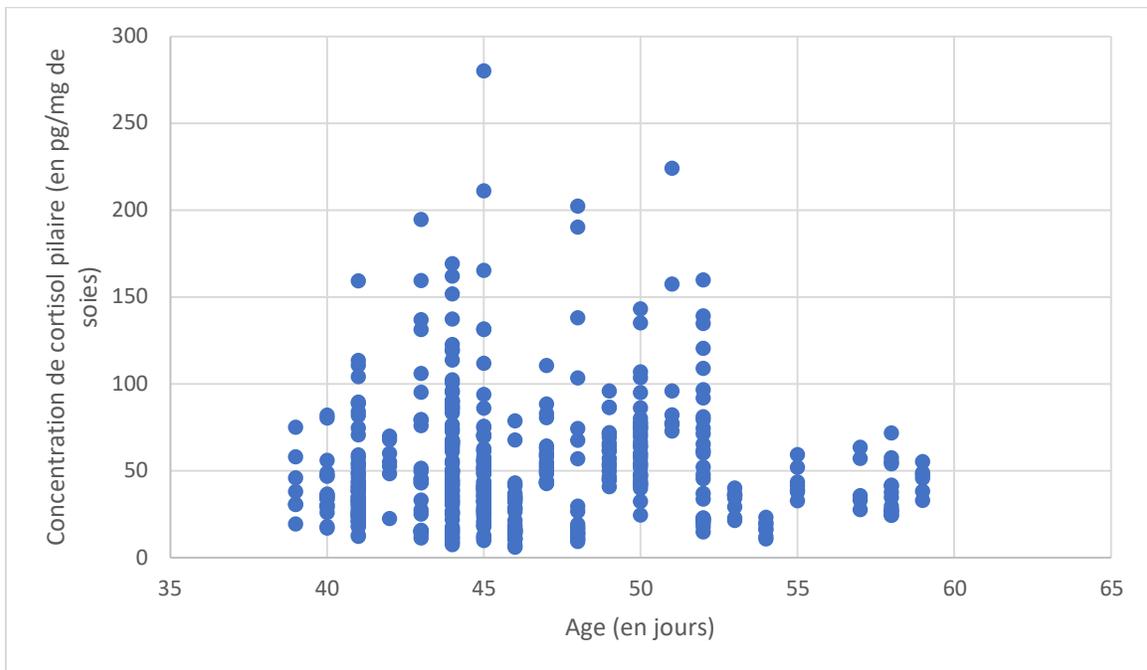


Figure 46: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jours au sevrage

Au sevrage, nous avons formé 4 classes homogénéisées par effectifs : [39 - 43] ; [44 - 49] ; [50 - 54] et [55 - 59] dont les effectifs sont présentés dans le Tableau XX.

Nous observons une tendance de l'effet de l'âge au sevrage sur les concentrations de cortisol pileire. Bien que l'effet de l'âge au sevrage soit significatif (p -value < 0,05), aucune classe n'est différente des autres (p -value > 0,05) (Figure 47).

Classes d'âge (jours)	[39-43]	[44-45]	[46-50]	[51-59]
Effectifs	85	112	81	108
Concentration moyenne de cortisol pileire pg/mg	48,3 ± 33,6 pg/mg	56,0 ± 41,0 pg/mg	53,1 ± 34,1 pg/mg	51,1 ± 37,2 pg/mg

Tableau XX Effectifs dosés et concentrations moyenne de cortisol pileire par classes d'âge au sevrage

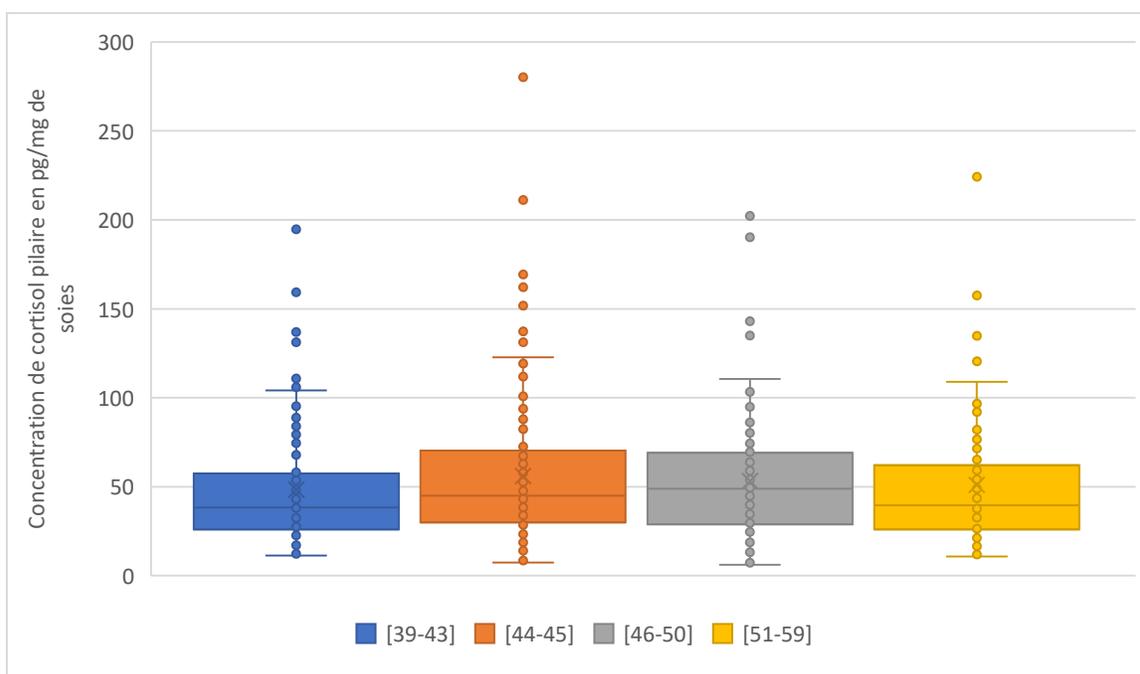


Figure 47: Concentration de cortisol pileire par classes d'âge au sevrage

En début d'engraissement, une représentation graphique à l'aide d'un nuage de point des concentrations de cortisol pileire en fonction de l'âge en maternité a d'abord été réalisée. Nous n'avons pas vu de possible régression linéaire et avons transformé l'effectif en classe.

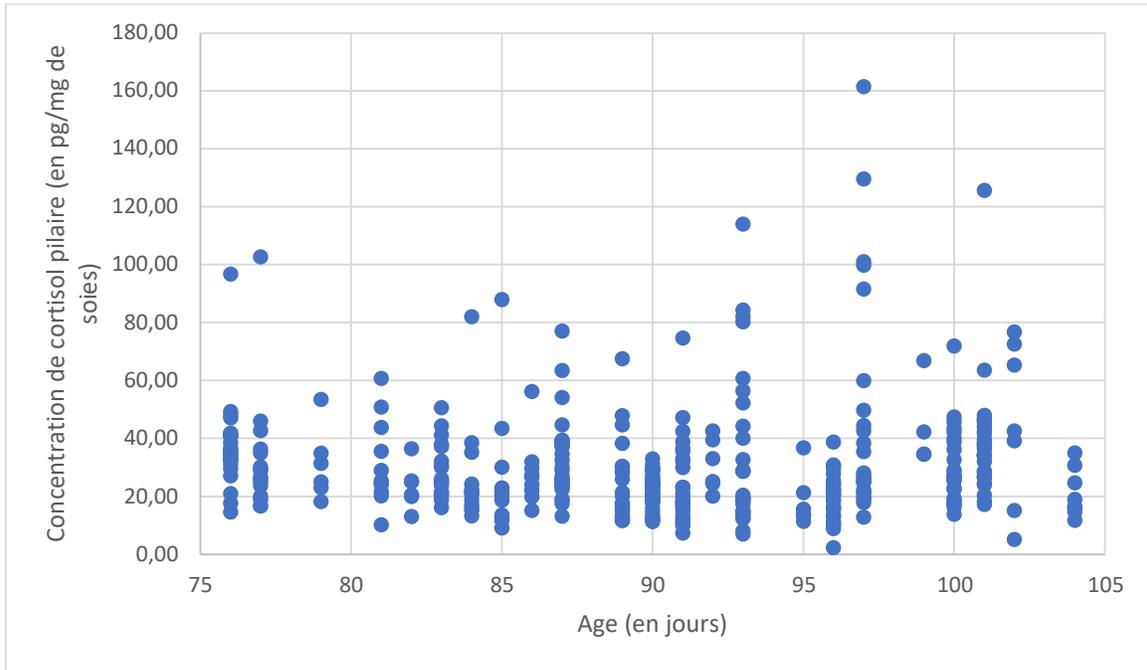


Figure 48: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jours en début d'engraissement

En début d'engraissement, nous avons formé 4 classes d'âge homogénéisées par effectifs : [76 - 85] ; [86 - 90] ; [91 - 96] et [97 - 104] dont les effectifs sont présentés dans le Tableau XXI. **L'âge en début d'engraissement influe sur les concentrations de cortisol pileire** (p-value < 0,001) :

- Les porcs de la classe d'âge [91-96] présentent des valeurs de cortisol plus faibles que ceux de la classes d'âge [76-85] (p-value < 0,01).
- Les porcs de la classe d'âge [97-104] présentent des valeurs de cortisol plus élevées que les porcs des classes d'âge [86-90] et [91-96] (p-value < 0,001) (Tableau XXII) .

Classes d'âge (jours)	[76-85]	[86-90]	[91-96]	[97-104]
Effectifs	103	92	90	97
Concentration moyenne de cortisol pileire	31,0 ± 16,4 pg/mg	26,7 ± 12,2 pg/mg	24,5 ± 19,0 pg/mg	40,4 ± 34,7 pg/mg

Tableau XXI: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par classes d'âge en début d'engraissement

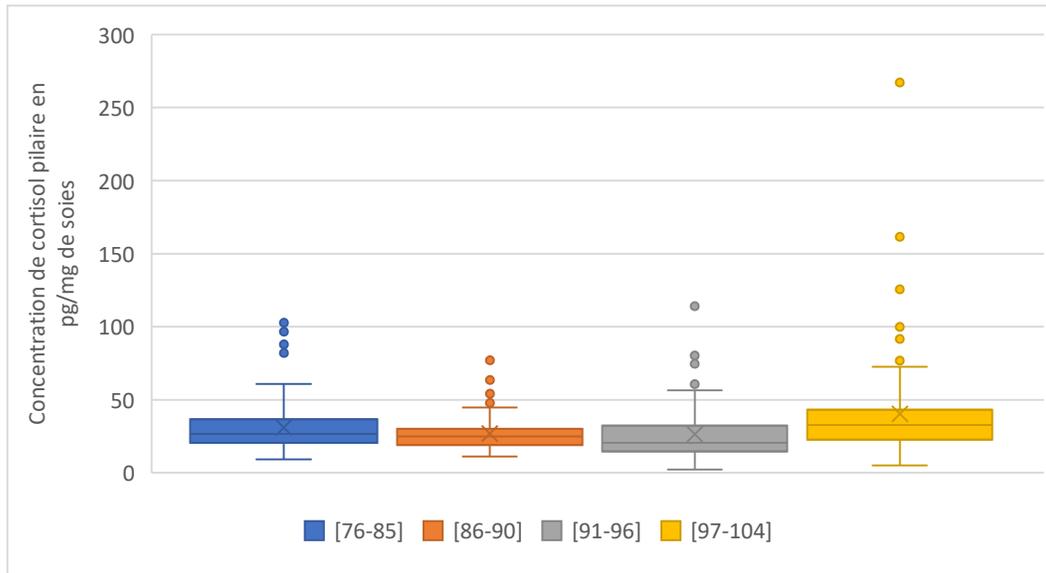


Figure 49: Concentration de cortisol pileire par classes d'âge en début d'engraissement

	[76-85]	[86-90]	[91-96]	[97-104]
[76-85]		---	** [91-96]<[76-85]	---
[86-90]			---	*** [86-90] <[97-140]
[91-96]				*** [91-96] <[97-140]
[97-104]				

Tableau XXII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire par classes d'âge en début d'engraissement (*= p -value<0,05 ; ** = p -value<0,01 ; *** = p -value<0,001)

En fin d'engraissement, Une représentation graphique à l'aide d'un nuage de point des concentrations de cortisol pileire en fonction de l'âge a d'abord été réalisée. Nous n'avons pas vu de possible régression linéaire et avons transformé l'effectif en classe.

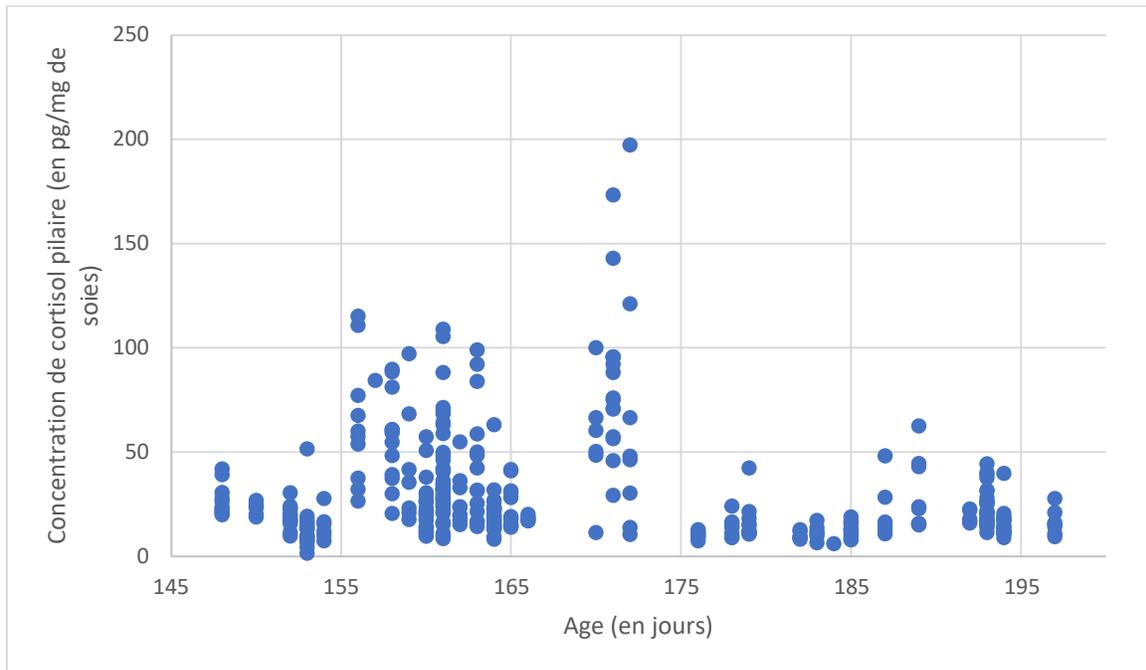


Figure 50: Concentration de cortisol pileire en fonction de l'âge en jours en fin d'engraissement

En fin d'engraissement, nous avons formé 4 classes homogénéisées par effectifs : [76-85] ; [86-90] ; [91-96] et [97-104] dont les effectifs sont présentés dans le Tableau XXIII. **L'âge en fin d'engraissement influe sur les concentration de cortisol pileire** (p-value < 0,001).

Les porcs les plus âgés (classe d'âge [180-197]) présentent des concentrations de cortisol pileire plus basses que les porcs plus jeunes (classe d'âge [148-160] (p-value <0,01) ; [161-163] (p-value < 0,001) et [164-179] (p-value < 0,001)) (Figure 50, Tableau XXIV).

Classes d'âge (jours)	[148-160]	[161-163]	[164-179]	[180-197]
Effectifs	96	107	73	89
Concentration moyenne de cortisol pileire	30,4 ± 23,4 pg/mg	38,0 ± 23,6 pg/mg	34,4 ± 35,3 pg/mg	19,0 ± 10,4 pg/mg

Tableau XXIII: Effectifs dosés et moyenne de cortisol pileire par classes d'âge en fin d'engraissement

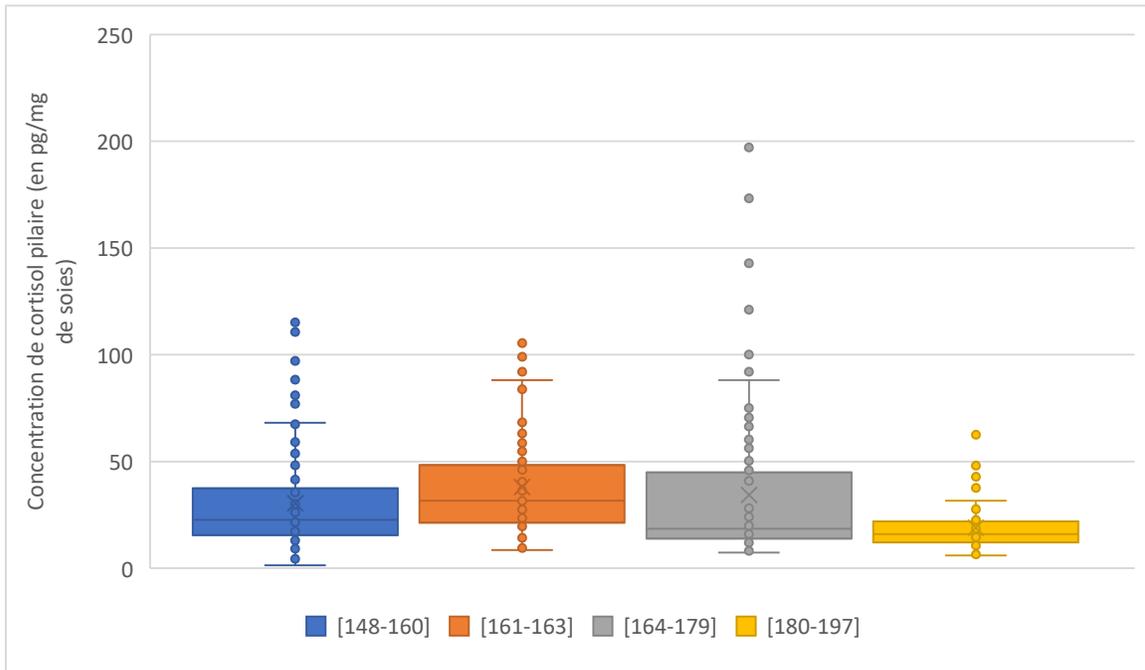


Figure 51: Concentration de cortisol pileire par classes d'âge en fin d'engraissement

	[148-160]	[161-163]	[164-179]	[180-197]
[148-160]		---	---	** [180-197] < [148-160]
[161-163]			---	*** [180-197] < [161-163]
[164-179]				*** [180-197] < [164-179]
[180-197]				

Tableau XXIV: Significativité des différences par classes d'âge en fin d'engraissement (*=p-value < 0,05 , ** = p-value < 0,01 , *** = p-value < 0,001)

2.2.3.3) Effet du poids sur les taux de cortisol pileire

Nous avons étudié l'effet du poids en maternité, au sevrage et en début d'engraissement. Cependant nous ne l'avons pas étudié en fin d'engraissement car l'effectif de porcs dont le poids est connu est trop faible (N=20).

Nous avons d'abord réalisé une représentation graphique à l'aide d'un nuage de point des taux de cortisol pileire en fonction du poids en maternité, au sevrage et en début d'engraissement. Nous avons une possible régression linéaire en maternité et au sevrage que nous avons tracée. Cependant, les coefficients de corrélation obtenus étant trop faibles ($R^2=0,2185$ en maternité et $R^2=0,0809$ au sevrage) nous avons formé des classes de poids homogénéisées par effectif (Figure 52, Figure 53, Figure 54).

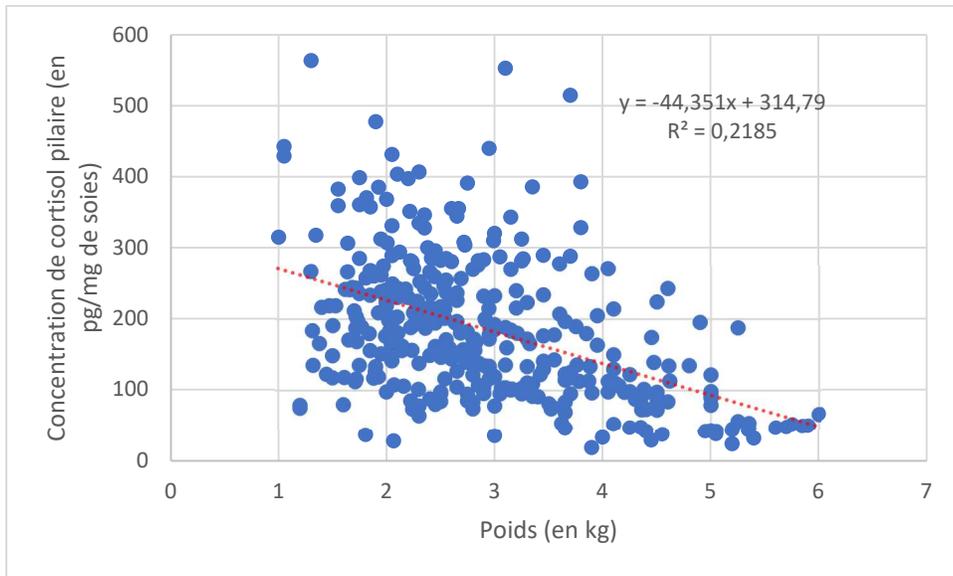


Figure 52: Répartition de la concentration de cortisol pileire en fonction du poids en maternité

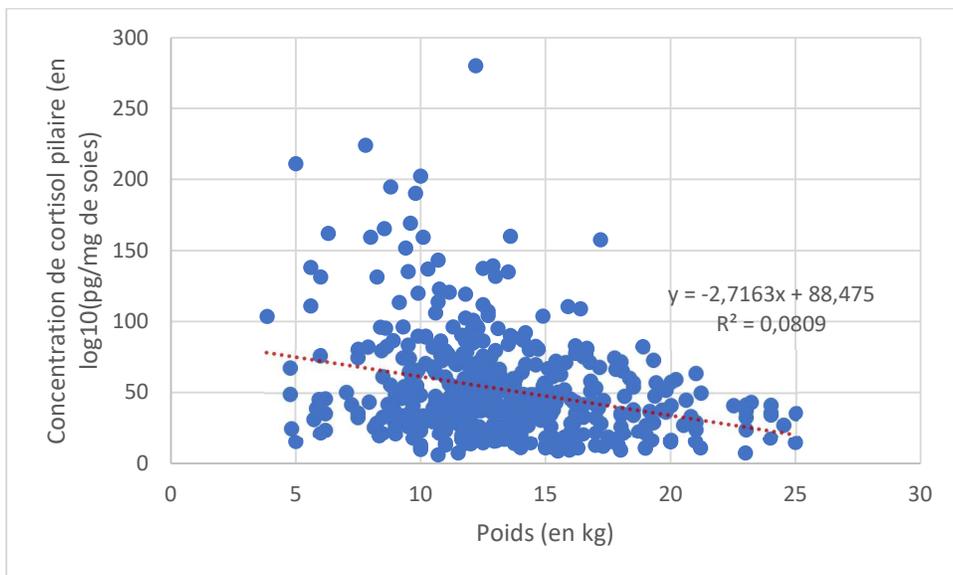


Figure 53: Répartition de la concentration de cortisol pileire en fonction du poids au sevrage

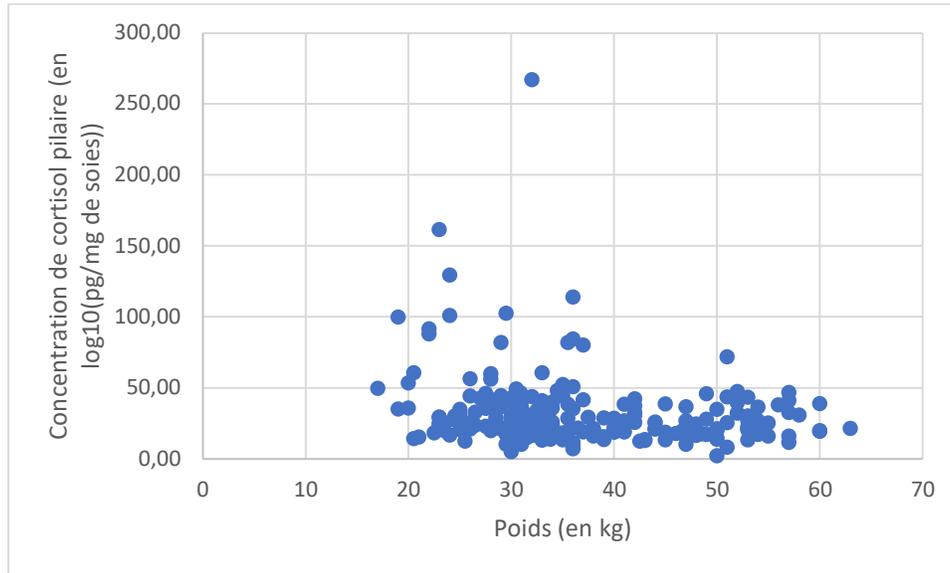


Figure 54: Répartition de la concentration de cortisol pilaire en fonction du poids en début d'engraissement

En maternité, le poids des porcelets influe sur les concentrations de cortisol pilaire (p-value < 0,001) (Figure 55). Les concentrations de cortisol pilaire sont négativement corrélées au poids des porcelets (Tableau XXVI):

- Les porcelets les plus lourds (classe]3,55-6]) présentent des concentrations de cortisol pilaire plus faibles que les autres (p-value < 0,001).
- Les porcelets de la classe de poids]2,715-3,55] présentent des concentrations de cortisol pilaire plus faibles que les porcelets les plus légers (classe [1 - 2,1]) (p-value < 0,05)

Classes (en kg)	[1-2,1]	]2,1-2,715]	]2,715-3,55]	]3,55-6]
Effectifs	89	87	88	87
Concentration moyenne de cortisol pilaire	227,8 ± 102,3 pg/mg	213,6 ± 79,5 pg/mg	180,6 ± 91,7 pg/mg	117,5 ± 85,9 pg/mg

Tableau XXV: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pilaire par classe de poids en maternité

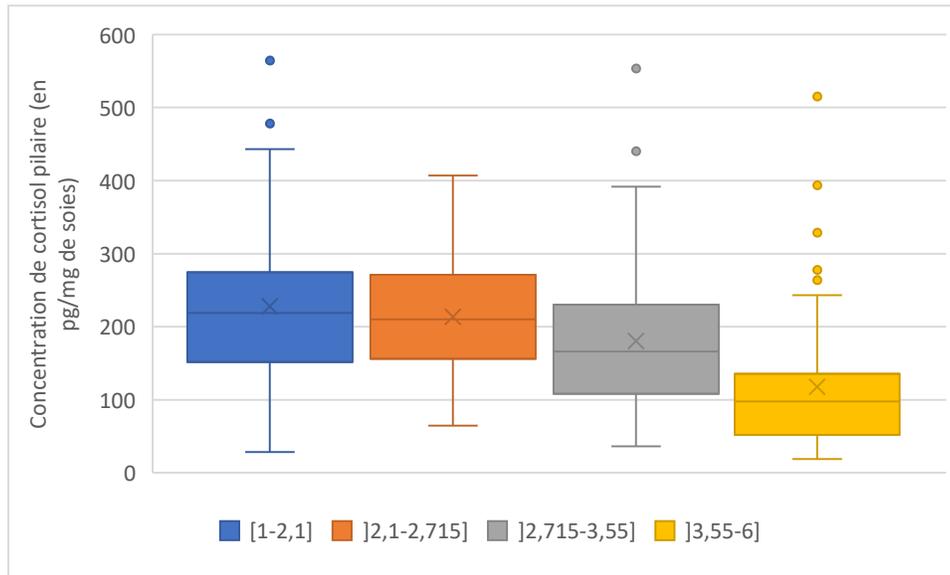


Figure 55: Taux de cortisol pileire par classe de poids en maternité

	[1-2,1]	]2,1-2,715]	]2,715-3,55]	]3,55-6]
[1-2,1]		---	*]2,715-3,55]< [1-2,1]	***]3,55-6]<[1-2,1]
]2,1-2,715]			---	***]3,55-6]<]2,1-2,715]
]2,715-3,55]				***]3,55-6]<]2,715-3,55]
]3,55-6]				

Tableau XXVI: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les classes de poids en maternité (* = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; *** = p-value < 0,001)

Au sevrage, le poids des porcelets influe les concentrations de cortisol pileire (p-value < 0,001) (Figure 56). Les concentrations de cortisol pileire sont négativement corrélées au poids des porcelets (Tableau XXVIII).

- Les porcelets les plus lourds (classe]15,4 ; 25]) présentent des concentrations de cortisol pileire plus faibles que les porcelets plus légers (les classes [3,865 - 10 ,98] et]10,68 - 12,725]) (p-value < 0,001).
- Les porcelets de la classe de poids]12,725-15,4] présentent des concentrations de cortisol pileire plus faibles que les porcelets les plus légers (classe [3,865 - 10 ,98]) (p < 0,01).

Classes (en kg)	[3,865-10,98]	]10,68-12,725]	]12,725-15,4]	]15,4-25]
Effectifs	116	116	117	115
Concentration moyenne de cortisol pileire	66,7 ± 47,5 pg/mg	57,2 ± 36,8 pg/mg	47,1 ± 27,8 pg/mg	39,2 ± 24,8 pg/mg

Tableau XXVII: Effectifs dosés par classe de poids en post sevrage

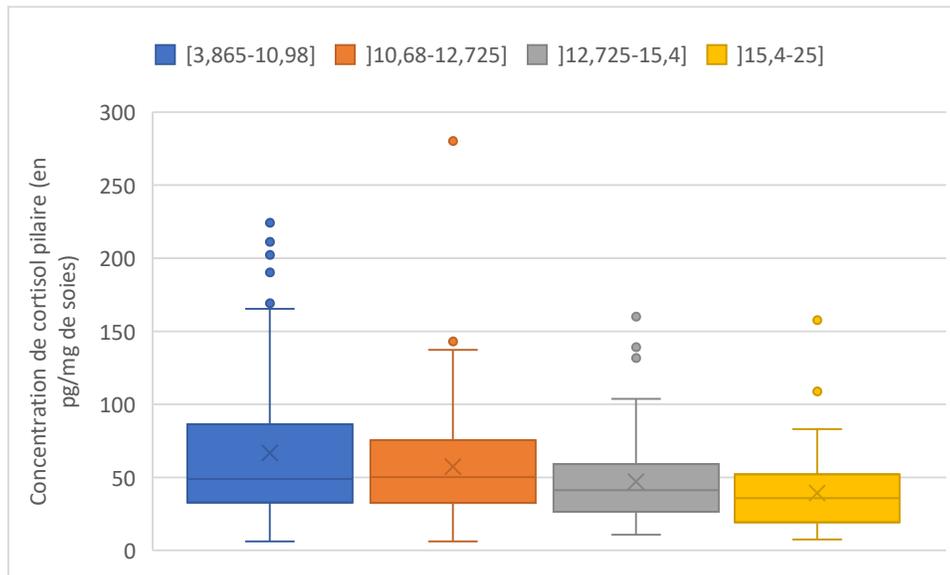


Figure 56: Taux de cortisol pileire par classe de poids au sevrage

	[3,865-10,98]	]10,68-12,725]	]12,725-15,4]	]15,4-25]
[3,865-10,98]		---	**]12,725-15,4]< [3,865-10,98]	***]15,4-25]< [3,865-10,98]
]10,68-12,725]			---	***]15,4-25]<]10,68-12,725]
]12,725-15,4]				---
]15,4-25]				

Tableau XXVIII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire selon les classes de poids au sevrage (* = p -value < 0,05 ; ** = p -value < 0,01 ; *** = p -value < 0,001)

En début d'engraissement, le poids des porcs influe sur les concentrations de cortisol pileire (p -value < 0,01) (Figure 56). Les concentrations de cortisol pileire sont négativement corrélées au poids des porcs :

- Les porcs les plus lourds (classes]34 - 46,5] et]46,5 - 63]) présentent des concentrations de cortisol pileire plus faibles que les porcs les plus légers.
-

Classes (en kg)	[17-30]	[30-34]	[34-46,5]	[46,5-63]
Effectifs	64	52	56	57

Tableau XXIX: Effectifs par classes de poids en début d'engraissement

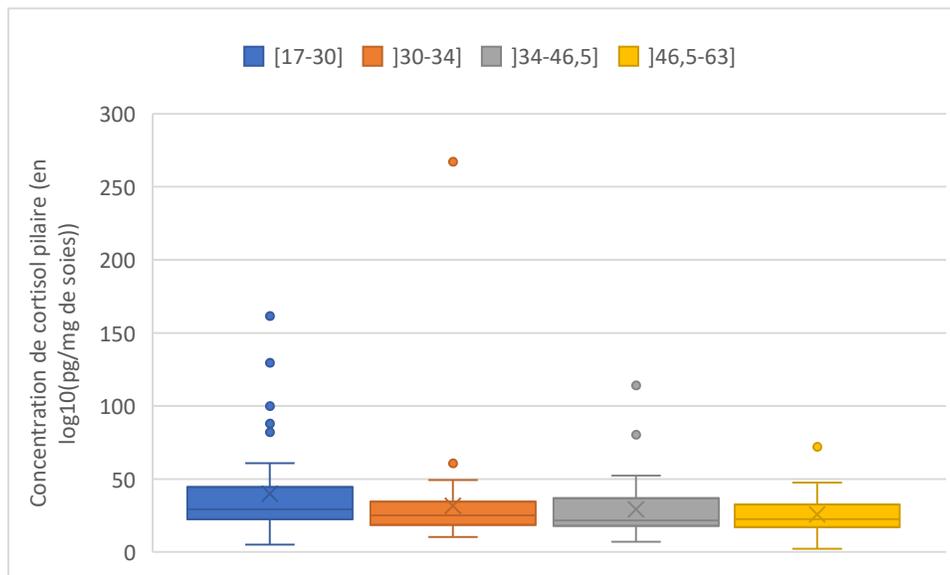


Figure 57: Taux de cortisol pileaire par classe de poids en début d'engraissement

	[17-30]	[30-34]	[34-46,5]	[46,5-63]
[17-30]		---	*]34-46,5]< [17-30]	**]46,5-63]< [17-30]
[30-34]			---	---
[34-46,5]				---
[46,5-63]				

Tableau XXX: Significativité des différences de concentration de cortisol pileaire selon les classes de poids en début d'engraissement (* = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; *** = p-value < 0,001)

2.2.3.4) Effet du gabarit

Le gabarit influe sur les concentrations de cortisol pilaire en maternité (p-value < 0,05) et au sevrage (p-value < 0,001). Les porcelets les plus gros présentent des concentrations de cortisol pilaire plus faibles que les petits porcelets en maternité (p-value < 0,05) (Tableau XXXII) et au sevrage (p-value < 0,001) (Tableau XXXIV).

En début et fin d'engraissement, les gabarits n'ont été noté que pour certains porcs rendant les effectifs très faibles (Tableau XXXV). En conséquence, les données n'ont pas été analysées.

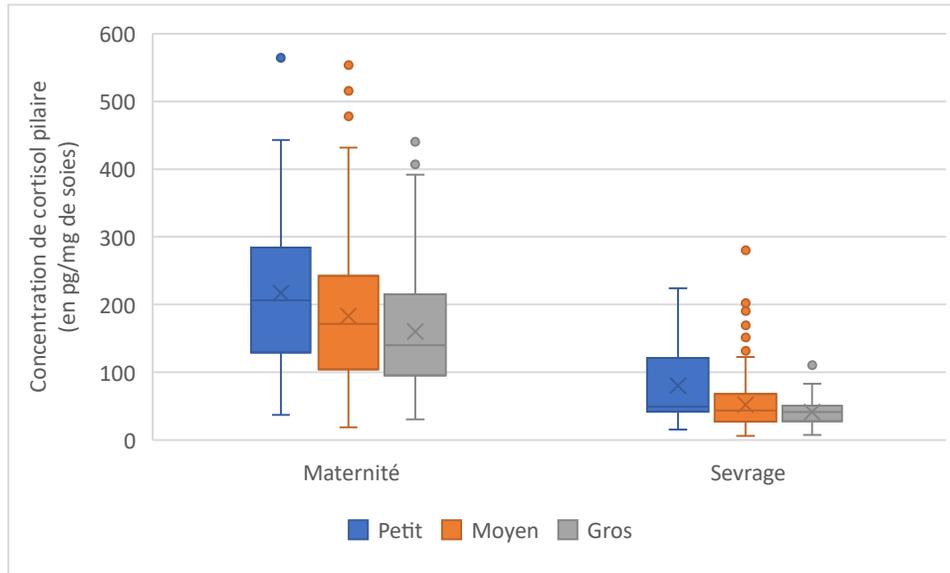


Figure 58: Concentration de cortisol pilaire en fonction du gabarit par stade

Gabarit	Petit	Moyen	Gros
Effectifs	48	228	83
Concentration moyenne de cortisol pilaire	216,9 ± 105,3 pg/mg	183,4 ± 102,3 pg/mg	160,2 ± 88,8 pg/mg

Tableau XXXI: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pilaire en fonction du gabarit des porcelets en maternité

	Petit	Moyen	Gros
Petit		---	* Gros < Petits
Moyen			---
Gros			

Tableau XXXII: Significativité du gabarit en maternité (* = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; *** = p-value < 0,001)

Gabarit	Petit	Moyen	Gros
Effectifs	35	204	226
Concentration moyenne de cortisol pileaire	66,7 ± 47,5 pg/mg	57,2 ± 36,8 pg/mg	47,1 ± 27,8 pg/mg

Tableau XXXIII: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileaire en fonction du gabarit des porcelets au sevrage

	Petit	Moyen	Gros
Petit		---	* Gros < Petits
Moyen			---
Gros			

Tableau XXXIV: Significativité du gabarit au sevrage (* = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; *** = p-value < 0,001)

Gabarit	Petit	Moyen	Gros
Effectifs en début d'engraissement	9	35	29
Effectifs en fin d'engraissement	11	19	39

Tableau XXXV: Effectifs dosés en fonction du gabarit des porcs en début et fin d'engraissement

2.2.3.5) L'effet du sexe

Les porcs castrés ne l'étaient pas forcément lors de notre visite en maternité lorsque cette dernière avait lieu durant les 7 premiers jours de vie des porcelets. En conséquence, le sexe n'est pas étudié en maternité.

Le sexe influe sur les concentrations de cortisol pileaire au sevrage et en fin d'engraissement. Les porcs mâles entiers ont des concentrations de cortisol pileaire plus élevées que les mâles castrés et les femelles au sevrage et en fin d'engraissement (p-value < 0,001). **Le sexe n'influe pas sur les concentrations de cortisol pileaire en début d'engraissement** (p-value > 0,05). Aucune différence significative n'est observée entre mâles entiers et femelles à tous les stades (Figure 59, Tableau XXXVI, Tableau XXXVII, Tableau XXXVIII, Tableau XXXIX, Tableau XL).

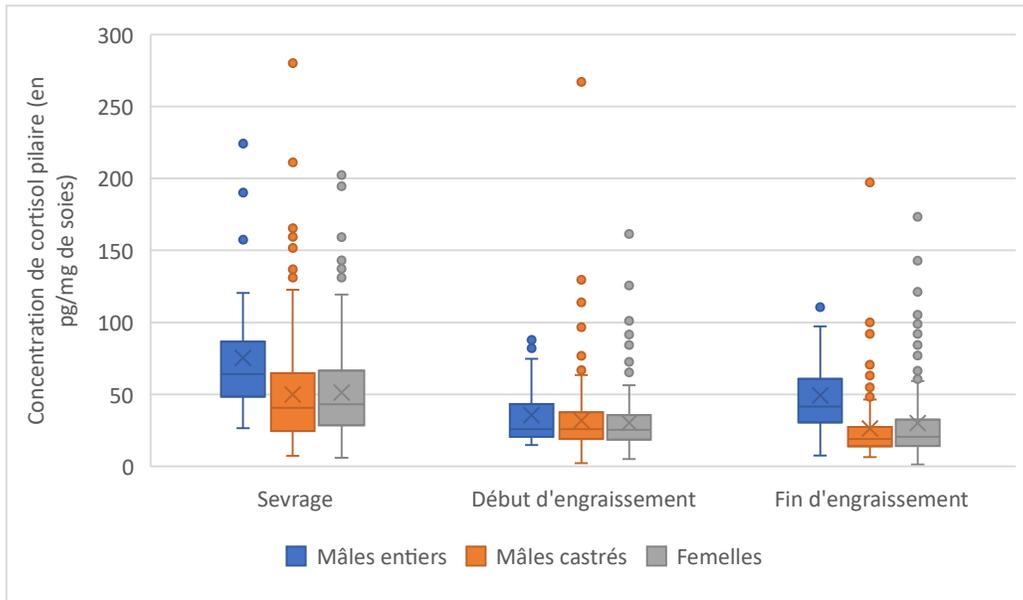


Figure 59: Concentration de cortisol pileire en fonction du sexe par stade

	Mâles entiers	Mâles castrés	Femelles
Effectifs	35	204	226
Concentration moyenne de cortisol pileire	75,45 ± 26,17 pg/mg	50,02 ± 38,19 pg/mg	51,37 ± 33,45 pg/mg

Tableau XXXVI: Effectifs dosés et concentrations moyennes de cortisol en fonction du sexe au sevrage

	Mâles entiers	Mâles castrés	Femelles
Mâles entiers		*** (ME>MC)	*** (ME>F)
Mâles castrés			---
Femelles			

Tableau XXXVII: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire en fonction du sexe au sevrage (*=p-value<0,05 ; ** = p-value<0,01 ; *** = p-value<0,001 ; ME = Mâles entiers ; MC = Mâles castrés ; F = Femelles)

	Mâles entiers	Mâles castrés	Femelles
Effectifs	25	181	177
Concentration moyenne de cortisol pileaire	35,5 ± 20,41 pg/mg	31,75 ± 25,88 pg/mg	30,19 ± 19,84 pg/mg

Tableau XXXVIII: Effectifs dosés et concentrations moyennes de cortisol en fonction du sexe en début d'engraisement

	Males entiers	Mâles castrés	Femelles
Effectifs	27	160	190
Concentration moyenne de cortisol pileaire	49,27 ± 7,47 pg/mg	26,32 ± 6,5 pg/mg	29,99 ± 1,4 pg/mg

Tableau XXXIX: Effectifs dosés et concentrations moyennes de cortisol en fonction du sexe en fin d'engraisement

	Mâles entiers	Mâles castrés	Femelles
Mâles entiers		*** (ME>MC)	*** (ME>F)
Mâles castrés			---
Femelles			

Tableau XL: Significativité des différences de concentration de cortisol pileaire en fonction du sexe en fin d'engraisement (*= p -value<0,05 ; ** = p -value<0,01 ; *** = p -value<0,001 ; ME = Mâles entiers ; MC = Mâles castrés ; F = Femelles)

2.2.3.6) Effet du mode de logement en maternité

Nous comptons 5 maternités plein-air parmi les 15 élevage de l'étude (Tableau I). **La concentration de cortisol pileire est significativement plus faible en plein air qu'en bâtiment en maternité (p-value < 0,001), au sevrage (p-value < 0,001), et en fin d'engraissement (p-value < 0,01). La différence n'est pas significative en début d'engraissement (p-value < 0,05) (Tableau XLI).**

	Maternité plein air	Maternité en bâtiment	Significativité
Maternité	116,5 ± 71,8 pg/mg (n = 120)	216,7 ± 94,1 pg/mg (n = 263)	MPA < MB (p-value < 0,001)
Sevrage	33,7 ± 32,5 pg/mg (n = 142)	61,2 ± 35,6 pg/mg (n = 318)	MPA < MB (p-value < 0,001)
Début d'engraissement	34,1 ± 34,2 pg/mg (n = 116)	30 ± 15,6 pg/mg (n = 267)	Non significatif
Fin d'engraissement	21,3 ± 13,0 pg/mg (n = 113)	32,8 ± 28,3 pg/mg (n = 279)	MPA < MB (p-value < 0,001)

Tableau XLI: Concentration moyenne de cortisol pileire en fonction du mode de logement en maternité au différents stades et significativité (MPA = Maternité plein-air; MB = Maternité en bâtiment)

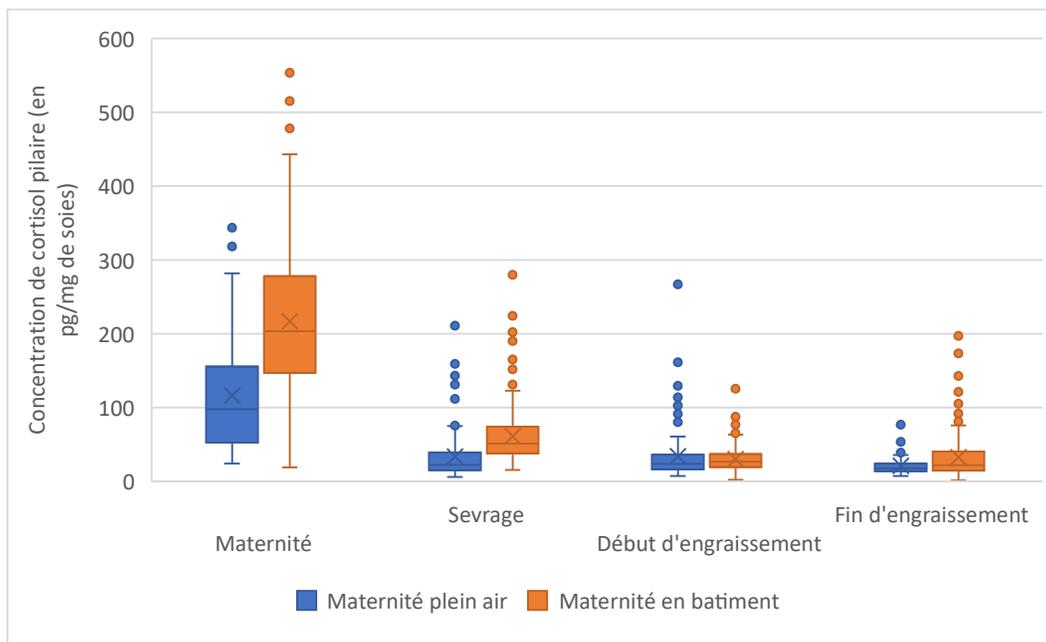


Figure 60: Concentration de cortisol pileire en fonction du lieux de naissance par stade

2.2.3.7) Effet de la socialisation précoce

La socialisation précoce est le fait de permettre un contact entre les porcelets de la même bande mais de portées différentes afin de pouvoir se mélanger et interagir entre eux dès la maternité. Les porcelets issus de maternité plein-air sont tous sociabilisés et une socialisation précoce est mise en place dans 5 des élevages avec une maternité en bâtiment (Tableau I). Nous avons choisi de ne pas étudier ce paramètre en maternité.

La socialisation précoce influe sur les concentrations de cortisol pileire au sevrage en début d'engraissement. Les porcelets sociabilisés de manière précoce présentent des concentrations de cortisol plus faibles que les autres (Figure 61). **L'effet de la socialisation précoce n'est pas significatif en fin d'engraissement** ($p\text{-value} > 0,05$) (Tableau XLII).

	Sans socialisation précoce	Avec socialisation précoce	Significativité
Sevrage	76,2 ± 39,5 pg/mg (n = 160)	40,3 ± 28,4 pg/mg (n = 298)	Avec < Sans (p-value < 0,001)
Début d'engraissement	34,0 ± 18,5 pg/mg (n = 122)	30,0 ± 24,6 pg/mg (n = 261)	Avec < Sans (p-value < 0,05)
Fin d'engraissement	29,0 ± 21,0 pg/mg (n = 131)	29,9 ± 27,5 pg/mg (n = 255)	Non significatif

Tableau XLII: Concentration moyenne de cortisol pileire par stade avec et sans socialisation précoce et significativité

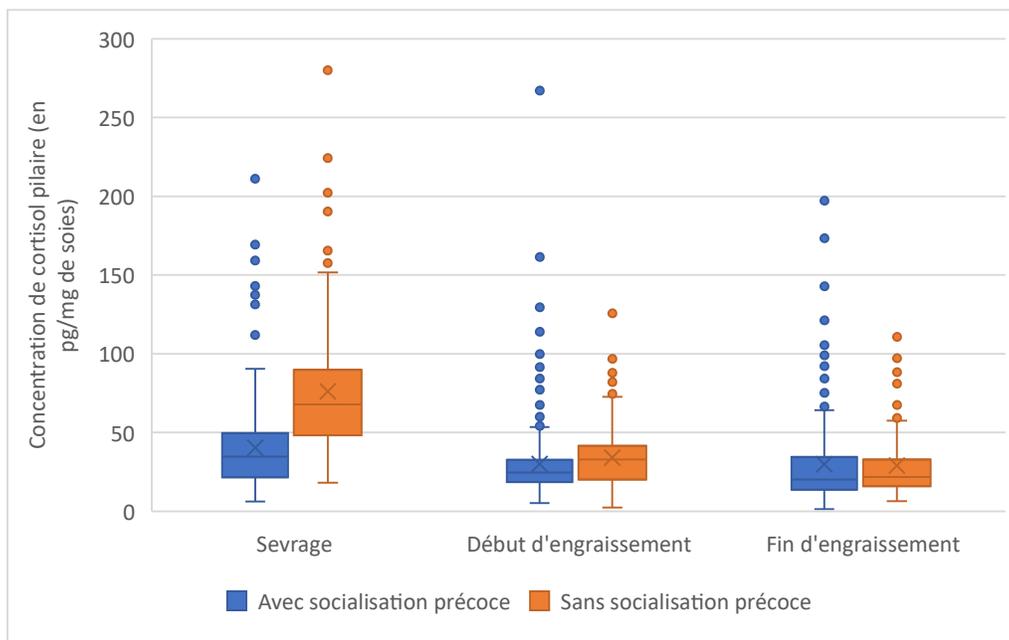


Figure 61: Cortisol pileire en fonction de la socialisation précoce par stade

2.2.3.8) Effet du délai entre le jour de la visite et le sevrage

Les porcelets ont été prélevés à des moments variés autour de la période de sevrage (Figure 21). Nous avons constitué deux groupes de porcelets :

- Le premier groupe, avec un intervalle de 1 jour avant ou après le sevrage, pour lequel les effets du sevrage ne devraient pas influencer les concentrations de cortisol dans les poils.
- Le second groupe, correspondant à une période de 3 à 7 jours post-sevrage, au cours de laquelle les effets du sevrage pourraient avoir un impact sur les concentrations de cortisol dans les poils. (Tableau XLIII)

Cet effet n'est étudié qu'au sevrage.

Le délai entre le jour de la visite et le sevrage influe sur les concentrations de cortisol pileire. Les porcelets prélevés autour du sevrage (jours entre la visite et le sevrage -1 à 1 jours) présentent des concentrations de cortisol pileire plus faibles que les porcelets prélevés quelques jours après le sevrage (jours entre la visite et le sevrage 3 à 7 jours) (p-value < 0,01) (Figure 62).

Jours entre visite et sevrage	-1 à 1	3 à 7
Effectifs dosés	281	184
Concentration moyenne de cortisol pileire	48,7 ± 32,1 pg/mg	59,2 ± 42,6 pg/mg

Tableau XLIII: Effectifs dosés et concentration moyenne par classe de jours de délai entre le jour de la visite et le sevrage

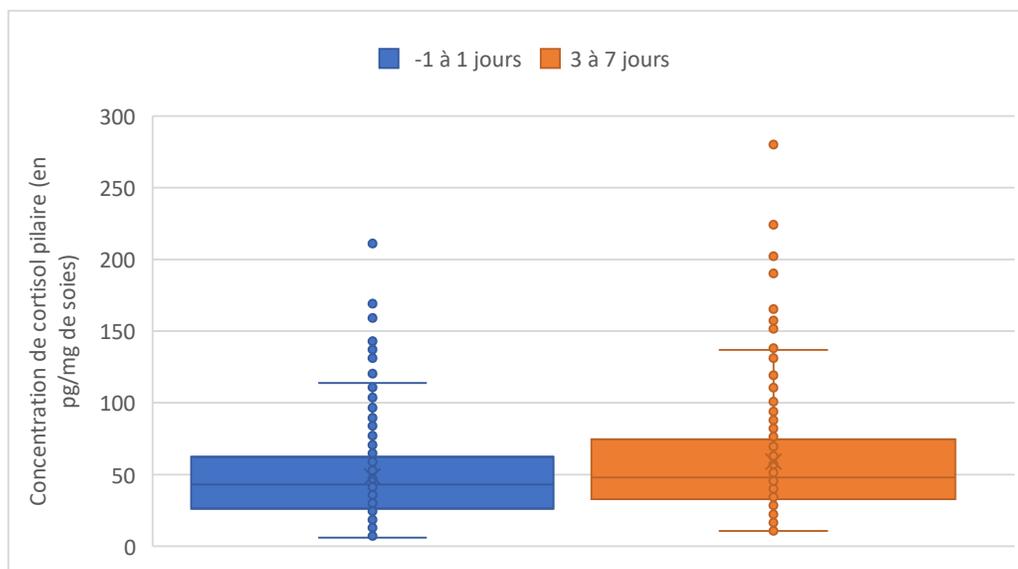


Figure 62: Taux de cortisol pileire en fonction du nombre de jours entre la visite et le sevrage

2.2.3.9) Effet du rang de portée des mères

Le rang de portée des mères influe sur les concentrations de cortisol pilaire en maternité (p-value < 0,001). Les portées de rang 2 et 5 à 7 présentent des concentrations de cortisol pilaire plus élevés que les autres (Tableau XLIV, Figure 63, Tableau XLV). **Le rang de portée des mères n’influe pas sur les concentrations de cortisol pilaire au sevrage, en début d’engraissement et en fin d’engraissement** (p-value > 0,05) (Tableau XLVI, Figure 64, Tableau XLVII, Figure 65, Tableau XLVIII, Figure 66).

Rang de portée de la mère	1	2	3	4	5 à 7
Effectifs	55	80	70	68	57
Concentration moyenne de cortisol pilaire	153,9 ± 99,4 pg/mg	161,2 ± 82,2 pg/mg	215,6 ± 107,4 pg/mg	214,7 ± 112,6 pg/mg	248,6 ± 81,6 pg/mg

Tableau XLIV: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pilaire par rang de portée en maternité

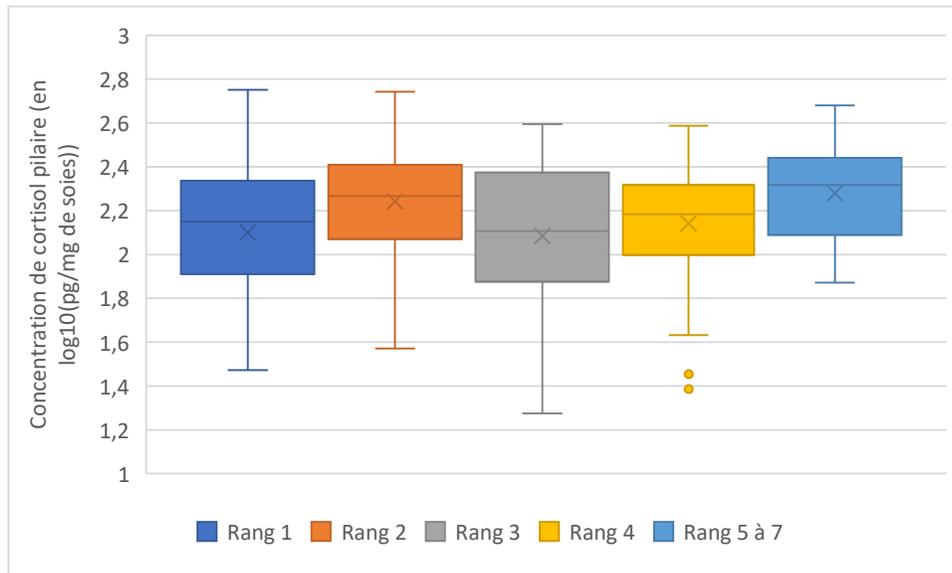


Figure 63: Concentration de cortisol en fonction du rang de portée de la mère en maternité

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5 à 7
Rang 1		*	---	---	***
		1 < 2			1 < 5 à 7
Rang 2			**	---	---
			3 < 2		
Rang 3				---	***
					3 < 5 à 7
Rang 4					*
					4 < 5 à 7
Rang 5 et plus					

Tableau XLV: Significativité des différences de concentration de cortisol pileire en fonction du rang de portée de la mère en maternité (* = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; *** = p-value < 0,001)

Rang de portée de la mère	1	2	3	4	5 à 7
Effectifs	82	82	83	92	66
Concentration moyenne de cortisol pileire	43,41 ± 21,24 pg/mg	56,51 ± 36,47 pg/mg	51,42 ± 48,70 pg/mg	52,97 ± 39,75 pg/mg	47,72 ± 37,03 pg/mg

Tableau XLVI: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pileire par rang de portée au sevrage

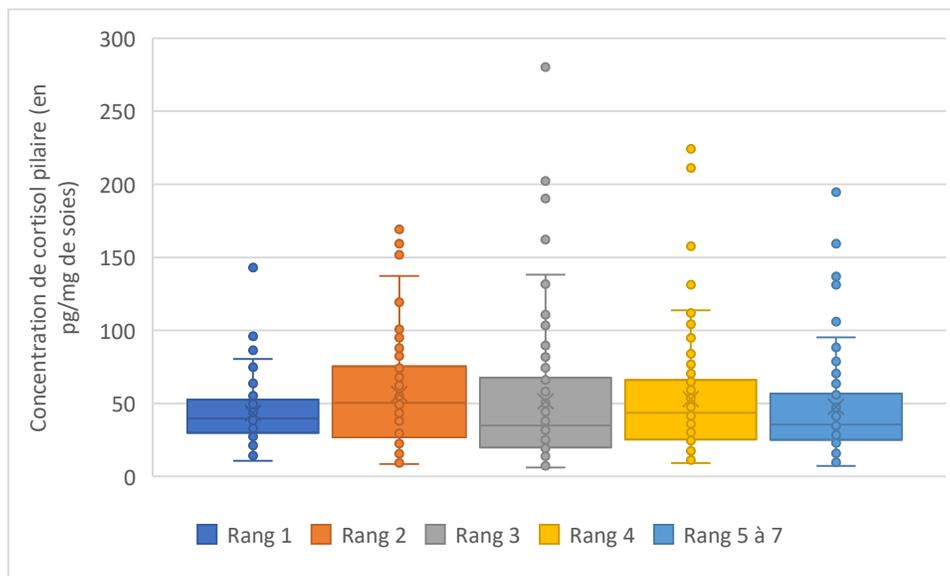


Figure 64: Concentration de cortisol pileire en fonction du rang de portée de la mère au sevrage

Rang de portée de la mère	1	2	3	4	5 à 7
Effectifs	74	72	67	69	50
Concentration moyenne de cortisol pilaire	38,99 ± 37,53 pg/mg	31,79 ± 18,16 pg/mg	28,91 ± 17,42 pg/mg	29,60 ± 14,64 pg/mg	30,66 ± 22,22 pg/mg

Tableau XLVII: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pilaire par rang de portée en début d'engraissement

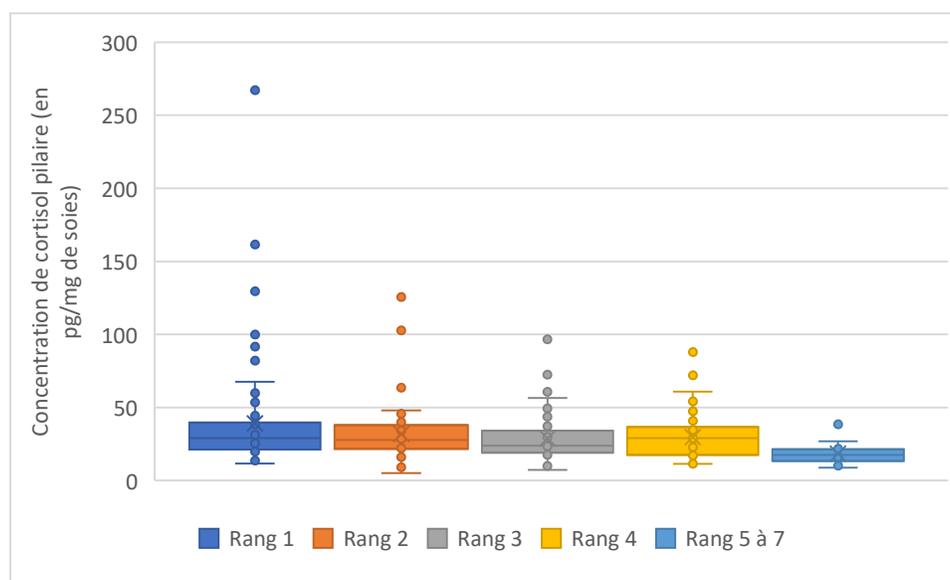


Figure 65: Concentration de cortisol en fonction du rang de portée de la mère en début d'engraissement

Rang de portée de la mère	1	2	3	4	5 à 7
Effectifs	69	70	54	74	46
Concentration moyenne de cortisol pilaire	32,23 ± 30,25 pg/mg	24,72 ± 18,49 pg/mg	30,17 ± 29,19 pg/mg	32,07 ± 25,11 pg/mg	27,17 ± 23,87 pg/mg

Tableau XLVIII: Effectifs dosés et concentration moyenne de cortisol pilaire par rang de portée en fin d'engraissement

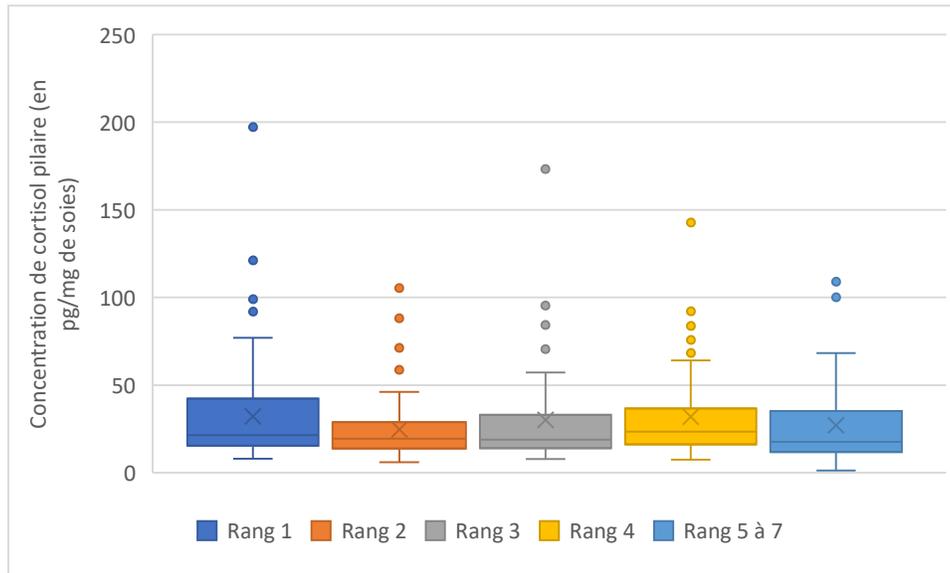


Figure 66: Concentration de cortisol en fonction du rang de portée de la mère en fin d'engraissement

2.2.3.10) Effet de l'absence de repousse

Il a été observé que certains porcs ne présentent pas de repousse des poils. Ce défaut de repousse était particulièrement prononcé lors des visites effectuées au début de l'engraissement. Les porcs issus de certains élevages manifestaient ce problème de manière plus fréquente que d'autres ; en particulier, ceux de l'élevage L affichaient presque tous un défaut de repousse (30 porcs présentant ce problème). Lorsque la repousse était jugée insuffisante, nous avons procédé à un rasage autour de la zone spécifiée dans notre protocole. Deux groupes sont formés « *shave and reshave* » lorsque la tonte a pu être réalisée sur la zone décrite dans notre protocole et « *contour* » lorsque la repousse était trop faible et que la tonte s'est faite sur les contours de la zone décrite dans le protocole. Les effectifs sont présentés en Tableau XLIX. **Aucune différence significative n'est observée entre les groupes « *shave and reshave* » et « *contour* »** (p-value > 0,05) (Figure 67).

	<i>Shave and reshave</i>	<i>Contour</i>
Effectifs dosés	272	50
Concentration de cortisol pilaire	33,1 ± 15,3 pg/mg	31,0 ± 23,9 pg/mg

Tableau XLIX: Effectifs dosés en fonction de la repousse des poils en début d'engraissement

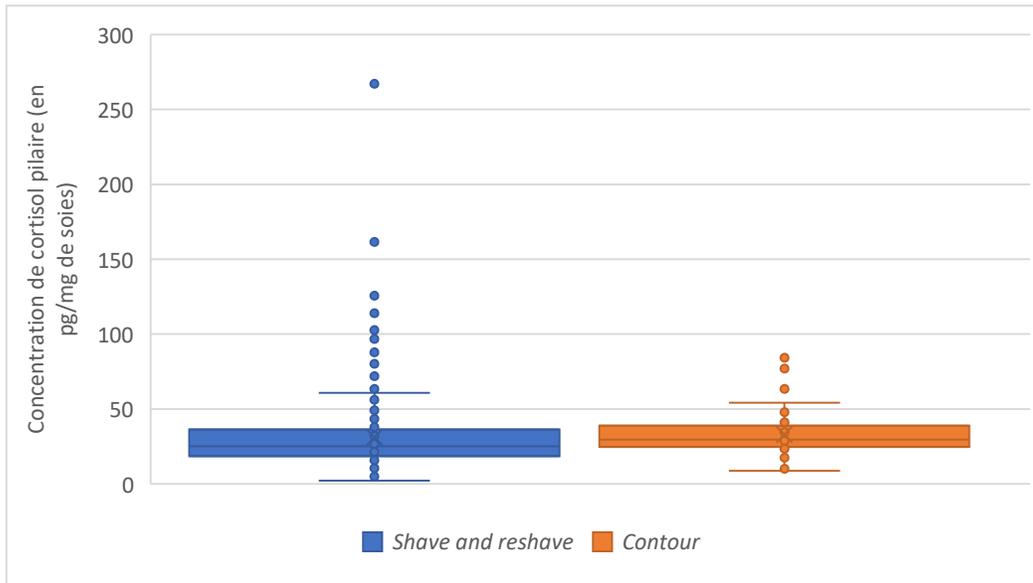


Figure 67: Concentration de cortisol pileire en fonction de la repousse de poils en début d'engraissement

2.2.3.11) Effet de la transformation des données sur les résultats de l'analyse statistique

L'étude statistique sur les facteurs étudiés a également été réalisée sur les données sans transformation logarithmique. Les résultats sont très similaires. Notons que la pré-socialisation en début d'engraissement n'est pas significative alors qu'elle l'était avec les données transformées (p -value < 0,05).

2.2.3.12) Effet de la prise en compte de l'effet élevage

Nous avons constaté de nombreuses interactions et colinéarités entre l'effet de l'élevages et les autres effets. Nous avons donc décidé de considérer l'effet de l'élevage en variable aléatoire pour la création des modèles de régression linéaires multiples par stade. Nous avons donc comparé la significativité des effets avec et sans l'effet élevage aléatoire en Tableau L. Nous observons des effets tel que le sexe au sevrage et en fin d'engraissement ne sont pas significatifs avec l'élevage en variable aléatoire alors qu'il l'était sans l'élevage en variable aléatoire. Aucune modification des sens des effets n'est observé sauf un. En effet, le rang de parité 2 n'est pas significatif en maternité lorsque l'effet de l'élevage est aléatoire.

	Maternité		Sevrage		Début d'engraissement		Fin d'engraissement	
	Sans effet élevage aléatoire	Avec effet élevage aléatoire	Sans effet élevage aléatoire	Avec effet élevage aléatoire	Sans effet élevage aléatoire	Avec effet élevage aléatoire	Sans effet élevage aléatoire	Avec effet élevage aléatoire
Age	***	***	*	**	***	***	***	*
Sexe	NE		***				***	
Logement en maternité	***	***	***	***			***	
Socialisation précoce	NE		***	***	*			
Délai entre la visite et le jour du sevrage	NE		**		NE		NE	
Rang de portée des truies	***	**						*
Poids	***	***	***	***	**		NE	
Gabarit	*	***	***	***			***	*
Repousse des poils	NE		NE				NE	

Tableau L: Significativité des effets en fonction de la mise de l'effet élevage en variable aléatoire ou non (NE = Non étudié ; Vert = Significatif ; Rouge = Non significatif ; Orange = Effet significatif mais pas de différence significative entre les groupes ; * = p-value < 0,05 ; ** = p-value < 0,01 ; *** = p-value < 0,001)

2.2.4) Modèles de régression linéaire multiple

Nous n'avons pas obtenu de modèle satisfaisant en début et fin d'engraissement ; seuls les modèles obtenus en maternité et au sevrage seront donc présentés.

2.2.4.1) Maternité

En maternité, un modèle est obtenu sur les valeurs de cortisol pileaire de 322 individus. Les facteurs significatifs sont : le poids, l'âge et le mode de logement en maternité. Ce modèle explique 62,4% de la variabilité des valeurs de cortisol pileaire. Le lieu de naissance est le facteur qui a l'influence la plus importante sur la variabilité de la concentration de cortisol pileaire en maternité (Tableau LII).

Dans ce modèle :

- Les porcelets en maternité plein-air présentent des valeurs de cortisol pileaire plus faibles que ceux en bâtiment.
- Le poids des porcelets est inversement corrélé au concentrations de cortisol pileaire.
- Les porcelets les plus jeunes (classe d'âge [2 – 5]) présente des concentration des cortisol pileaire plus élevées que les porcs les plus âgés.

Facteurs	Prédicteurs	Valeur estimée (en log 10 (pg/mg) de soies)	Intervalle de confiance	p-value	Groupe
Intercept		2.32	2.18 – 2.46	<0.001	
Poids	[1 – 2,1]	Référence			A
	]2,1 – 2,715]	-0.07	-0.13 – -0.01	0.019	AB
	]2,715 - 3,55]	-0.11	-0.18 – -0.04	0.004	B
	]3,55 – 6]	-0.23	-0.33 – -0.14	<0.001	C
Age	[2 – 5]	0.18	0.04 – 0.33	0.013	A
	[6 – 7]	0.07	-0.05 – 0.19	0.261	AB
	[8 – 11]	-0.02	-0.11 – 0.08	0.745	B
	[12 – 16]	Référence			AB
Mode de logement en maternité	Maternité plein- air	-0.25	-0.41 – -0.09	0.006	A
	Maternité en bâtiment	Référence			B

Tableau LI: Valeur prédictive, significativité et groupe du modèle multivarié en maternité en fonctions des prédicteurs

Facteur	Eta ² partiel	Intervalle de confiance
Mode de logement en maternité	0,50	[0,13 – 1]
Poids	0,07	[0,03 – 1]
Age	0,07	[0,02 – 1]

Tableau LII: Eta² en fonction des facteurs en maternité

2.4.2) Sevrage

Au sevrage, un modèle est obtenu sur les valeurs de cortisol pileire de 464 individus. Les facteurs significatifs sont : le poids, l'âge, le mode de logement en maternité et la socialisation précoce. Ce modèle explique 60,2% de la variabilité des valeurs de cortisol pileire. Le lieu de naissance et le socialisation précoce sont les facteur qui ont l'influence la plus grande sur la variabilité de la concentration de cortisol pileire au sevrage (Tableau LII).

Dans ce modèle :

- Les porcelets issus d'une maternité plein-air présentent des valeurs de cortisol pileire plus faibles que ceux issus d'une maternité en bâtiment.
- Les porcelets issus d'une maternité avec une socialisation précoce présentent des valeurs de cortisol pileire plus faibles que ceux issus d'une maternité sans socialisation précoce.
- Le poids est inversement corrélé aux concentrations de cortisol pileire.
- Les porcs les plus âgés (classe d'âge [51 – 59]) présentent des concentrations de cortisol pileire significativement plus élevés que les porcelets plus jeunes.

Facteurs	Prédicteurs	Valeurs estimée	Intervalle de confiance	p-value	Groupe
	Intercept	1.91	1.77 – 2.05	<0.001	
Poids	[3,865 – 10,98]	Référence			A
	]10,68 - 12,725]	-0.07	-0.12 – -0.02	0.006	B
	]12,725 – 15,4]	-0.13	-0.19 – -0.08	<0.001	B
	]15,4 – 25]	-0.21	-0.27 – -0.15	<0.001	C
Age	[39 – 43]	-0.06	-0.13 – 0.01	0.100	A
	[44 – 45]	Référence			A
	[46 – 50]	-0.00	-0.08 – 0.08	0.945	A
	[51 – 59]	0.13	0.04 – 0.22	0.004	B
Mode de logement en maternité	Maternité plein-air	-0.21	-0.39 – -0.04	0.023	A
	Maternité en bâtiment	Référence			B
Socialisation précoce	Avec socialisation précoce	-0.20	-0.38 – -0.03	0.027	A
	Sans socialisation précoce	Référence			B

Tableau LIII: Valeur prédictive et significativité du modèle multivarié au sevrage et groupe en fonction des prédicteurs

Facteur	Eta ² partiel	Intervalle de confiance
Lieu de naissance	0,38	[0,04 – 1]
Socialisation précoce	0,36	[0,03 – 1]
Poids	0,10	[0,06 – 1]
Age	0,07	[0,02 – 1]

Tableau LIV: Eta² en fonction des facteurs au sevrage

2.2.5) Modèles de régression linéaire répétée

Nous allons vous présenter les résultats des 3 modèles de régression linéaire répétée réalisés :

- Un modèle avec comme variable explicative la variable « élevage » de la maternité à la fin de l'engraissement.
- Un modèle avec comme variable explicative la variable « mode de logement en maternité » de la maternité à la fin de l'engraissement avec la variable aléatoire « élevage »
- Un modèle avec comme variable explicative la variable « socialisation précoce » du sevrage à la fin de l'engraissement avec la variable aléatoire « élevage »

2.2.5.1) Effet de l'élevage

L'effet de l'élevage influe de manière significative sur l'évolution des concentrations de cortisol pileire à chaque stade (p-value < 0,001) (Figure 68).

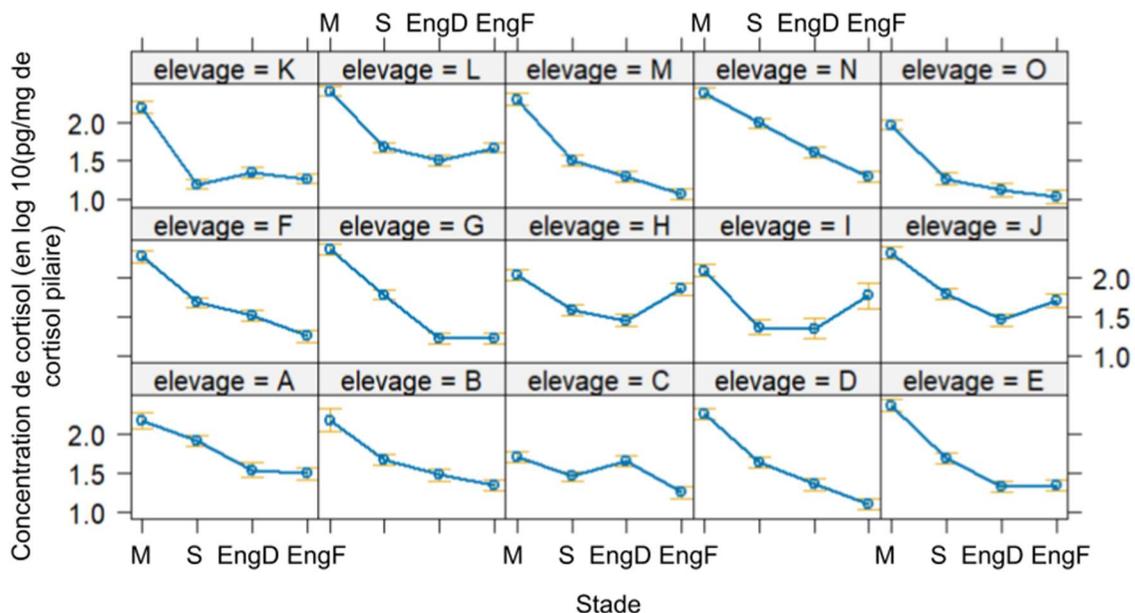


Figure 68: Evolution des concentrations de cortisol pileire en fonction de l'élevage (M = Maternité, S = Sevrage, EngD = Début d'engraissement, EngF = Fin d'engraissement)

2.2.5.2) Effet du mode de logement en maternité

L'effet du mode de logement en maternité influe de manière significative sur l'évolution des concentrations de cortisol pileire à chaque stade (p-value < 0,001) (Figure 69).

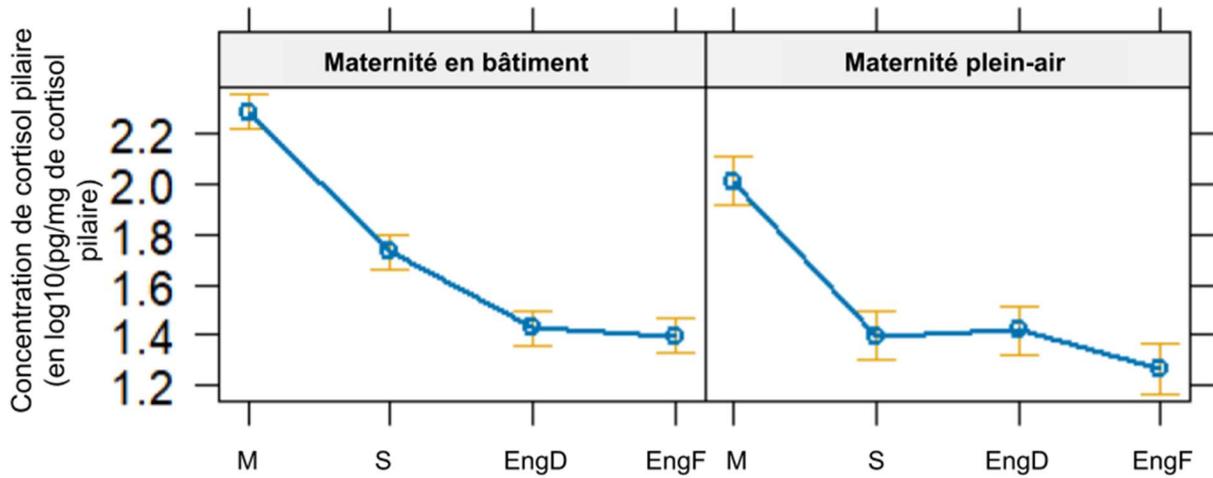


Figure 69: Evolution des concentrations de cortisol pileire en fonction du mode de logement en maternité (M = Maternité, S = Sevrage, EngD = Début d'engraissement, EngF = Fin d'engraissement)

2.2.5.3) Effet de la socialisation précoce

L'effet de la socialisation précoce influe de manière significative sur l'évolution des concentrations de cortisol pileire à chaque stade (p-value < 0,001) (Figure 70).

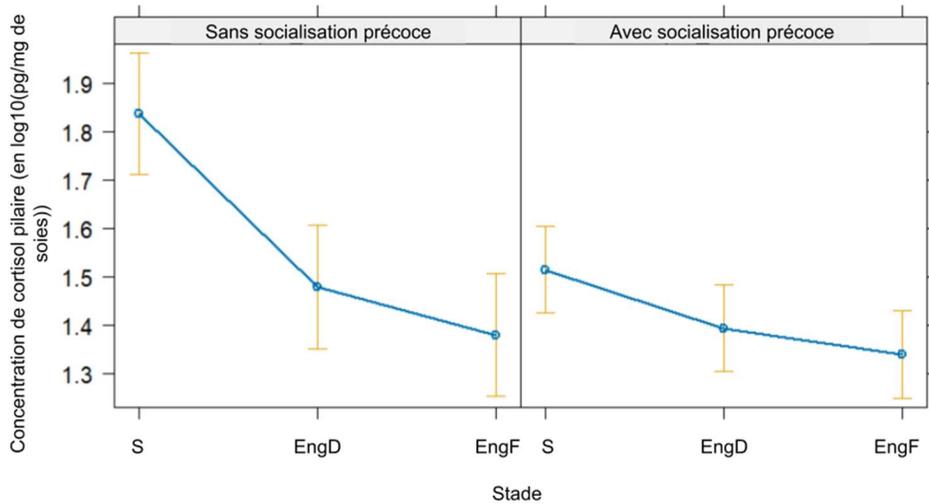


Figure 70: Evolution des concentrations de cortisol pileire en fonction de la mise e, place ou non d'une socialisation précoce (M = Maternité, S = Sevrage, EngD = Début d'engraissement, EngF = Fin d'engraissement)

Partie 3 : Discussion

3.1) Méthode de prélèvement et de stockage des soies

Le prélèvement des soies nécessite souvent une contention engendrant un stress qui augmente le taux de cortisol plasmatique (Rosochacki et al. 2000). Nous savons que le cortisol pilaire est un indicateur du stress chronique et non aigu (voir 1.3.1.3.1) Les poils). Ainsi, bien qu'aucune étude chez le porc n'ait été réalisée à ce sujet à notre connaissance, nous pouvons supposer que la contention a un effet faible à négligeable sur les concentrations de cortisol pilaire.

Les poils ont été prélevés à la base du cou en face dorsale afin de limiter les contaminations externes (urines, fécès...) qui peuvent modifier les concentrations de cortisol pilaire (Otten et al. 2020; 2022). Le lavage à l'isopropanol permet d'éliminer le maximum de contaminants externes sans lessiver le cortisol inclus dans le poil (Otten et al. 2022). Le lavage des soies à l'aide de méthanol ou d'isopropanol ne modifie pas de manière significative les concentrations de cortisol pilaire (Pollock et al. 2021).

À chaque stade, les visites s'étendent sur une période de deux mois. Par conséquent, nous considérons que l'éventuel impact des saisons est négligeable dans le cadre de notre étude.

En maternité, un nombre important d'échantillons n'a pas pu être analysé en raison d'une quantité de poils jugée insuffisante (seuil minimum : 10 mg de soies). Il a été observé que les porcelets issus de certains élevages, tels que les élevages A et B, étaient plus souvent glabres comparativement aux autres. L'analyse révèle que l'âge moyen des porcelets prélevés est inférieur à celui des porcelets dont les échantillons ont pu être analysés (7,84 jours contre 8,35 jours). De surcroît, le poids moyen des porcelets prélevés s'avère également inférieur à celui de ceux dont les échantillons ont été dosés (2,91 kg contre 2,78 kg). Cette disparité peut s'expliquer par le fait que la pousse du poil est rapide après la naissance.

À tous les stades, les poils ont été systématiquement rasés dans la même zone, une méthode couramment désignée par l'expression « *Shave and reshave* ». Par conséquent, lors d'une récolte, les poils reflètent, a priori, les niveaux de cortisol circulants durant la période séparant deux visites successives. Cependant, aucune différence significative n'a été constatée entre les groupes « *shave and reshave* » et « contour » en début d'engraissement. Ainsi, les échantillons « contour » ont été conservés pour les analyses ultérieures.

Les soies ont été conservées à l'abri de la lumière afin d'éviter la dégradation du cortisol pilaire par les UV (Otten et al. 2021; Meyer, Novak 2012). Lors des manipulations en laboratoire les poils sont exposés sur une courte période à la lumière. Compte tenu des résultats d'une étude quantifiant la diminution du cortisol pilaire dans les cheveux humains après une exposition au soleil *in vitro* (Grass et al. 2016), nous pouvons supposer que l'effet des UV sur nos échantillons lors des manipulations est négligeable. Dans le noir et à température ambiante, des cheveux humains peuvent-être conservés pendant plusieurs années (Gow et al. 2010).

3.2) Facteurs influençant les taux de cortisol pilaire

3.2.1) Effet de l'âge sur les taux de cortisol pilaire

Nous observons des valeurs de concentration de cortisol pilaire très élevés à la naissance. Des valeurs de cortisol importantes à la naissance sont observées dans d'autres espèces (Tableau LV). Trois mécanismes nous permettent d'expliquer cela :

- Premièrement, l'augmentation de la concentration de cortisol dans les eaux fœtales en fin de gestation (Kanitz et al. 2012).
- Deuxièmement, l'augmentation de l'exposition du fœtus aux glucocorticoïdes. Cela s'explique soit grâce à l'augmentation des concentrations fœtales en cortisol durant la dernière partie de la gestation chez les porcs et le bovins, soit grâce à une augmentation de la part de glucocorticoïdes libres chez la mère chez les macaques, les chevaux et la plupart des espèces (Edwards, Boonstra 2018).
- Troisièmement, une plus faible quantité de transcortine (CBG) circulante augmentant la part de cortisol libre et favorisant son accumulation dans les poils (Grant et al. 2017).

Macaque	Porcs	Bovins	Chevaux
1010 pg/mg (à la naissance, N = 22) (Grant et al. 2017)	185 pg/mg (à 1 semaine, N = 382) (Données personnelles)	60 pg/mg (« nouveaux-nés », N = 19) (Heimbürge et al. 2020)	52 pg/mg (à la naissance, N = 102) (Comin et al. 2012)
	190 pg/mg (à 2 semaines, N = 36) (Heimbürge et al. 2020)		60,37 pg/mg (à la naissance, N = 219) (Montillo et al. 2014)

Tableau LV: Concentration moyenne en maternité en fonction de l'espèce, valeurs décroissantes de cortisol de gauche à droite

Nous observons une diminution significative dans notre étude entre la maternité et le début d'engraissement. Le même constat a été réalisé Heimbürge en 2020 (Tableau LVI). Cette observation est également réalisée dans d'autres espèces de mammifères:

- Les chevaux (52 pg/mg à la naissance vs. 30 pg/mg à 30 jours de vie vs. 16 pg/mg à 60 jours de vie, N = 102 différences significatives entre les 3 valeurs (p-value < 0,001)) (Comin et al. 2012) (60,37 pg/mg à la naissance vs. 35,17 pg/mg à 30 jours de vie, N = 219, p-value < 0,01) (Montillo et al. 2014)
- Les bovins (60 pg/mg à la naissance (N = 19) vs. environ 5 pg/mg à 6 mois (N = 18) , 18 mois (N = 18) et à l'âge adulte (N = 46), p-value < 0,001) (Heimbürge et al. 2020)
- Les macaques (diminution de 67% des valeurs de cortisol pilaire entre la naissance et 20 jours de vie, 1010 pg/mg à la naissance vs. 130,4 pg/mg à 6 mois, N = 22) (Grant et al. 2017)

Heimbürge et ses collaborateurs ont observé une remonté des valeurs de cortisol pilaire à 27 semaines et au-delà de 71 semaines. En fin d'engraissement nos porcs étaient prélevés vers 24 semaines,

soit trois semaines plus tôt que ceux de la publication de Heimbürge. Nous supposons que la différence entre ces deux observations est liée à la mise en place de la fonction sexuelle qui a lieu entre 4 et 6 mois chez le porc d'après Smith et Swindle (Smith, Swindle 2006).

Stade	Concentration moyenne de cortisol pileire	
	Données personnelles	Heimbürge, 2020 (N = 36)
Maternité	185 pg /mg (1 semaine)	190 pg/mg (2 semaines)
Au sevrage	53 pg/mg (6,5 semaines)	—
Début d'engraissement	31 pg/mg (13 semaines)	42 pg/mg (10 semaines)
Fin d'engraissement	29,6 pg/mg (24 semaines)	61 pg/mg (27 semaines)
Porcs plus âgés	—	94,6 pg /mg (> 71 semaines)

Tableau LVI: Valeurs de cortisol pileire observées par stade dans notre étude et par Heimbürge

Levallois et al. ont également étudié les concentrations de cortisol pileire en fin d'engraissement. Deux bandes, analysées distinctement, composées de 24 porcs âgés d'environ 23,5 semaines, ont été prélevés dans 20 exploitations pour cette étude. Les deux élevages biologiques analysés dans cette étude affichent des valeurs moyennes de cortisol pileire plus faibles que celles observées dans nos élevages à la fin de l'engraissement (4,9 pg/mg et 13,7 pg/mg pour le premier élevage, ainsi que 4,8 pg/mg et 6,5 pg/mg pour le second, comparativement à 11,1 pg/mg pour l'élevage O qui présente la valeur moyenne la plus basse de notre étude). De manière générale, nos porcs présentent des niveaux équivalents ou supérieurs à ceux observés dans les élevages conventionnels selon l'étude de Levallois. Par ailleurs, nos élevages aux valeurs les plus élevées montrent des moyennes supérieures à celles des élevages ayant les niveaux les plus élevés dans l'étude de Levallois (80,7 pg/mg pour l'élevage H, 61,4 pg/mg pour l'élevage I, 58,2 pg/mg pour l'élevage J et 51,9 pg/mg pour l'élevage L vs. 54,5 pg/mg pour la valeur la plus haute de l'étude de Levallois) (Levallois et al. 2024).

Des différences significatives sont observées entre classes d'âge en début et fin d'engraissement. Nous n'avons pas d'explication biologique qui justifierait ces différences significatives. Cela peut être lié à sa modalité de constitution des classes que nous avons adoptée.

3.2.2) Effet de l'élevage

L'effet de l'élevage est à tous les stades très significatif. Il reste cependant difficile à interpréter car il englobe un grand nombre de paramètres :

- Certains concernent directement les animaux comme l'âge ou leur comportement.
- D'autres concernent la conduite des animaux comme du mode de logement en maternité, la mise en place de castration ou non, l'ambiance, la densité, l'alimentation, la taille des loges, la densité ou les intervenants dans l'élevage.

Cette variabilité entre les élevages est également décrite dans la littérature (Montillo et al. 2020). Il est cependant difficile de déterminer l'influence de certains paramètres en raison de l'hétérogénéité marquée des méthodes d'élevage.

Ainsi, selon les élevages nous avons observé des cinétiques particulières :

- Les porcs de l'élevage C sont les seuls dont les concentrations de cortisol pileire augmentent entre le sevrage et le début d'engraissement. Ces derniers sont les seuls en plein-air lors du post-sevrage. Une nouvelle étude serait nécessaire pour déterminer l'effet du logement en post-sevrage sur les concentrations de cortisol pileire.
- Les porcs de plusieurs élevages (élevages H, I, J et L) ont des concentrations de cortisol pileire qui augmentent en fin d'engraissement alors que globalement les concentrations de cortisol pileire diminuent. Une nouvelle étude pourrait être mise en place pour déterminer l'influence d'autres facteurs en fin d'engraissement tel que les intervenants ou l'ambiance en engraissement.

3.2.3) Effet du gabarit et du poids

Le poids montre un effet significatif à tous les stades, les porcs les plus lourds présentant des valeurs de cortisol pileire plus faibles que les porcs les plus légers.

De même, le gabarit montre un effet significatif en maternité et au sevrage. Les petits porcelets montrent des taux de cortisol pileires significativement plus importants que les gros porcelets (p-value < 0,05 en maternité et p-value < 0,001 au sevrage). Le gabarit en début et fin d'engraissement n'est pas exploitable à cause de données manquantes. En effet, les gabarits ne sont pas relevés de manière systématique.

Des résultats similaires sont retrouvés dans la littérature. Ainsi Trevisan et ses collaborateurs montrent que des porcs adultes maigres ont des concentrations de cortisol pileire significativement supérieures à leurs congénères de corpulence normale (8,5 +/- 4 pg/mg pour les porcs maigres vs. 5,0 +/- 2,7 pg/mg pour les porcs de corpulence normale) (Trevisan et al. 2017). Morgan et ses collaborateurs ont également montré qu'un poids au sevrage plus élevé était significativement associé à des valeurs plus faibles de cortisol dans les poils de 6,64 % par kilogramme supplémentaire de poids au sevrage (p-value < 0,001) (Morgan et al. 2019).

A contrario, Wiechers et ses collaborateurs n'ont pas montré d'effet significatif du gabarit chez des truies adultes. Toutefois, ils déclarent ne pas avoir de truies de la même génétique, du même âge et ayant des vitesses de croissance du poils très différentes des truies de l'étude de Trevisan en 2017. Les auteurs reconnaissent que cela pourrait rendre la comparaison peu pertinente (Wiechers et al. 2021).

3.2.4) Effet du sexe

En maternité, les porcelets peuvent être castrés avant ou après notre première visite lorsqu'elle avait lieu lors des premiers jours de vie. Cette grande disparité entre les élevages n'a pas permis d'étudier ce paramètre en maternité. Cependant, Roelofs et ses collaborateurs observent une concentration de cortisol pileire plus élevée chez les mâles que chez les femelles en maternité à 3 jours de vie (p-value = 0,0449) (Roelofs et al. 2019).

Aucune différence significative n'a été observée entre mâles castrés et femelles à chaque stade. Ce résultat est similaire à celui de Heimbürge et ses collaborateurs en 2020 (93,7 +/- 6,0 pg/mg pour les mâles castrés vs. 102,5 +/- 6,0 pg/mg pour les femelles) (Heimbürge et al. 2020) et celui du travail de thèse de Cyrielle Perrier (p-value > 0,05) (Perrier 2023). Notre étude s'arrête en fin d'engraissement mais Bergamin et ses collaborateurs montrent des concentrations de cortisol pileire plus élevées chez des femelles de 3 ans (9,06 pg/mg en moyenne) que chez des mâles castrés du même âge (4,45 pg/mg en moyenne) (p-value < 0,001). Il est avancé par les auteurs que l'activité sexuelle chez les femelles provoque une augmentation du cortisol pileire (Bergamin et al. 2019).

Au sevrage, les concentrations de cortisol pileire des mâles entiers sont significativement plus élevées que celles des mâles castrés et des femelles. Ces résultats sont à prendre avec précaution. En effet, l'effectif de porcs mâles entiers est faible (N = 35) et issus de deux élevages seulement (A et J). De plus lorsque l'effet élevage est mis en variable aléatoire, l'effet du sexe au sevrage n'est plus significatif. Enfin, nos résultats vont à l'encontre de la littérature, Morgan et ses collaborateurs ne montrant pas de différence significative entre mâles entiers et castrés au sevrage (Morgan et al. 2019). Chez les veaux, aucune différence n'est également observée entre mâles castrés et mâles entiers 14 jours (1,93 +/- 0,53 pg/mg pour les mâles castrés sans analgésie vs. 1,79 +/- 0,72 pg/mg pour les mâles castrés avec injection de méloxicam vs. 1,70 +/- 0,63 pg/mg) (Creutzinger et al. 2017) et 28 jours (Marti et al. 2017) post-castration.

En fin d'engraissement, les porcs mâles entiers présentent des concentrations de cortisol pileire plus élevées que les mâles castrés et les femelles. Comme au sevrage, notre effectif de porcs mâles entiers est faible (N = 24). De plus lorsque l'effet élevage est mis en variable aléatoire, l'effet du sexe en fin d'engraissement n'est pas significatif. Cependant, la bibliographie nous indique que la maturité sexuelle pourrait être atteinte par nos porcs mâles entiers (maturité sexuelle entre 4 et 6 mois) (Smith, Swindle 2006). Les porcs mâles entiers pourraient ainsi présenter des concentrations de cortisol pileire plus élevées que les autres. L'effet de la puberté est également observé chez les équins (2,17 +/- 1,46 log(pg/mg) pour les mâles vs. 1,64 +/- 0,81 (pg/mg) pour les femelles) (Medill, Janz, McLoughlin 2023b; 2023a).

Afin de pouvoir comparer les concentrations de cortisol pileire des porcs mâles entiers avec ceux obtenus par les porcs mâles castrés et des femelles, il faudrait mettre en place une étude avec bien plus de mâles entiers.

3.2.5) Effet des modalités de logement en maternité

En maternité, le logement en maternité plein-air est associé à des concentrations de cortisol pileire plus faibles. Un environnement moins stressant pour les mères pourrait exercer une influence sur les niveaux de cortisol capillaire de la descendance. En effet, il a été observé par Kapoor et ses collaborateurs un effet des stress subis par des mères Macaque rhesus (*Macaca mulatta*) (ici la diffusion répétée de bruits à 110 décibel pendant 1 seconde) sur les concentrations de cortisol de la progéniture (environ 1010 pg/mg pour les macaques de 2 à 4 jours issus de mères stressées vs. 885 pg/mg pour ceux de mères non stressées, p < 0,05.) (Kapoor et al. 2016).

Au sevrage, le logement en maternité plein-air est également associé à des concentrations de cortisol pileires plus faibles. Notre première hypothèse est une meilleure adaptabilité des porcelets en maternité plein-air face aux facteurs stressants grâce à leur évolution dans un environnement plus enrichi. Une étude en élevage conventionnel montre qu'un enrichissement en maternité diminue les concentrations de cortisol pileire en post-sevrage et les performances des porcelets (p-value = 0,01, pas

de valeurs disponibles) (Lee, Oh, Kim 2024). Une étude de Yonezawa et al. compare les taux de cortisol plasmatique et salivaire des porcelets de 4 semaines ayant grandi en maternité plein-air ou en maternité en bâtiment. Elle montre que les porcelets élevés en maternité extérieure présentaient des taux de cortisol salivaire plus faibles que leurs congénères. Il a également été montré que lors d'un événement stressant (ici la pose d'un boucle auriculaire) les taux de cortisol salivaire connaissent une moins forte augmentation pour les porcelets de la maternité extérieure (Yonezawa et al. 2012). Des résultats similaires avec d'autres enrichissements environnementaux ont été documentés (de Jong et al. 2000).

Les aléas climatiques peuvent également expliquer les valeurs de cortisol pileaire plus faibles chez les porcs en maternité plein-air. La pluie peut lessiver le cortisol des poils. En effet, Meyer et Novak montrent que le lessivage, surtout lors d'usage de produits cosmétiques, réduit les concentrations de cortisol pileaire (Meyer, Novak 2012). Les UV du soleil dégradent le cortisol pileaire. En effet, chez les humains la littérature rapporte une diminution de 14,5% du cortisol contenu dans un cheveux suite à une exposition naturelle à la lumière de 1 heure par jour pendant 2 mois *in vitro*. Cet effet est plus marqué à l'extrémité du poil où ce dernier est le plus dégradé (Grass et al. 2016). De plus, les porcs en maternité plein-air présentaient plus de squames. Malgré le tri des squames certains ont pu ne pas être écartés et influencer nos résultats.

Cet effet n'est plus significatif en début d'engraissement. Le logement en bâtiment pour tous les porcelets en post-sevrage (élevage C exclu) offre à tous le même enrichissement ce qui pourrait annuler l'effet précédemment observé.

En fin d'engraissement, cet effet redevient statistiquement significatif. Les porcs ayant grandi dans une maternité plein-air présentent des concentrations de cortisol pileaire plus faibles que les autres. Ces résultats ne peuvent pas être expliqués par la littérature connue. Lorsque le test est de nouveaux réalisé en mettant l'effet élevage en variable aléatoire, l'effet du logement en maternité est non significatif.

Le mode de logement en maternité influe sur l'évolution des concentrations de cortisol pileaire au cours de la vie des individus.

3.2.6) Effet de la socialisation précoce

Les porcelets issus de maternité plein-air sont tous sociabilisés de manière précoce en raison de la configuration des parcs. La socialisation précoce dans les élevages avec une maternité en bâtiment, est généralement mise en place quelques jours après la mise bas de la dernière truie, selon des modalités qui peuvent être différentes. L'investigation de l'effet de la socialisation précoce sur les concentrations de cortisol pileaire est intéressant car cette pratique est en voie de développement. En effet, sur le terrain le nombre d'élevage où la socialisation précoce est réalisée est en croissance aussi bien en élevage biologique que conventionnel.

Les porcs issus d'une maternité avec la mise en place d'une socialisation précoce présentent des concentrations de cortisol pileaire plus faibles au sevrage (p -value < 0,001) et en début d'engraissement (p -value < 0,05) que les autres. L'effet de la socialisation précoce n'est plus significatif en fin d'engraissement. Ce facteur demeure tributaire de plusieurs autres éléments, tels que les pratiques d'élevage, le lieu de mise bas ainsi que le moment choisi par l'éleveur pour instaurer la socialisation précoce. Des études rapportent une augmentation plus faible des concentrations de cortisol salivaire avant et après le sevrage chez les porcelets ayant eu une socialisation précoce par rapport à ceux sans socialisation précoce (Colson et al. 2012; Ji et al. 2021).

Une étude a investigué l'effet de la socialisation précoce associée à d'autres facteurs de stress en maternité sur les concentrations de cortisol pileire à 66 jours de vie (73 pg/mg sans socialisation précoce vs. 72 pg/mg avec socialisation précoce) et 155 jours de vie (52,93 pg/mg sans socialisation précoce vs. 54,3 pg/mg avec socialisation précoce). Cependant aucun effet significatif n'a été montré (Gavaud et al. 2023).

Le sevrage influe sur l'évolution des concentrations de cortisol pileire au cours de la vie des individus.

3.2.7) Effet du délai entre le jour de la visite et le jour du sevrage

Les résultats montrent des concentrations de cortisol pileire significativement plus élevées chez des porcelets de 3 à 7 jours après le sevrage que chez des porcelets du groupe 1 jour avant à 1 jour après le sevrage. Le sevrage est un événement stressant de la vie du porcelet : séparation de la mère, mélange à d'autres congénères, modification de l'environnement, arrêt brutal de la nourriture lactée... (Campbell, Crenshaw, Polo 2013). Nous supposons que nos résultats sont dus à une corrélation liée à l'effet de l'élevage. En effet, lorsque que le test est réalisé avec l'effet de l'élevage mis en variable aléatoire, l'effet du délai entre le sevrage et la visite n'est pas significatif.

3.2.8) Effet du rang de portée des truies

Les mères sont de parités comprises entre 1 et 7. La plupart des porcelets sont issus de portées de rang 1 à 4. Notre démographie est représentative de la démographie des élevages porcins en France (Tableau II).

Le rang de portée de la mère a montré un effet significatif uniquement en maternité. Les rangs de portée 2 et 5 et plus présentent des concentrations de cortisol pileire plus élevées.

D'après la littérature 80% des élevages français rencontrent le syndrome « seconde portée » affectant les truies de deuxième rang de portée. Il se caractérise par des diminutions de performances reproductives : diminution de la fertilité, augmentation de l'intervalle sevrage-1^{er} saillie et/ou diminution de la taille de la portée (Boulot et al. 2013). La littérature décrit le syndrome « seconde portée » comme la conséquence d'une trop grande perte d'état lors de la première lactation (Soede et al. 2013). A notre connaissance aucune étude n'a investigué les concentrations de cortisol salivaires ou plasmatiques en fonction du rang de portée des truies en lactation.

Les truies ne présentent pas différences significatives en fonction de leur rang de portée sur leur concentrations de cortisol pileire (1,99 +/- 1,23 pg/mg) (Wiechers et al. 2021) (36,23 +/- 8,97 pg/mg chez les primipares vs. 35,90 +/- 4,86 pg/mg chez les multipares) (Roelofs et al. 2019). Cependant Roelofs et ses collaborateurs ont montré que la taille de la portée a un effet significatif positif sur les taux de cortisol pileire des truies (p-value = 0,045, pas de valeurs) (Roelofs et al. 2019). Or, la taille de la portée, qui atteint un pic au rang 3 (Bono, Cornou, Kristensen 2012), crée de l'inconfort pré- et post-partum pour la truie pouvant expliquer les plus hautes concentrations de cortisol pileire (Rutherford et al. 2013).

3.3) Modèles de régression linéaire par stade

Nous avons constaté de nombreuses interactions et colinéarités entre l'effet de l'élevage et les autres effets. Nous avons donc décidé de mettre l'effet de l'élevage en variable aléatoire pour la création des modèles de régression linéaires multiples par stade.

En maternité, le modèle multivarié avec l'effet élevage en variable aléatoire révèlent les variables de poids, d'âge et du mode de logement en maternité comme ayant un effet significatif sur les concentrations de cortisol pilaire. Le sens de significativité du poids, de l'âge et du mode de logement en maternité ne sont pas changés par rapport aux modèles univariés.

Au sevrage, le modèle multivarié avec l'effet élevage en variable aléatoire révèlent les variables de poids, d'âge, du mode de logement en maternité et de la socialisation précoce comme ayant un effet significatif sur les concentrations de cortisol pilaire. Le sens de significativité du poids, de l'âge, du mode de logement en maternité et de la socialisation précoce ne sont pas changés par rapport aux modèles univariés.

Nos deux modèles expliquent 62,4% en maternité et 60,2% au sevrage de la variabilité des concentrations de cortisol pilaire. La partie non expliquée par nos modèles sont de deux ordres :

- Facteurs de variations non étudiés : d'autres facteurs de variations non étudiés pourraient avoir un effet sur les concentrations de cortisol pilaire, comme le stress de truies, les dates des soins aux porcelets ou les intervenants
- Variabilités inter-individuelles : les porcelets peuvent avoir des concentrations de cortisol pilaire significativement différent sans qu'un facteur explicatif ne puisse être donné. En fin d'engraissement.

Les coefficients Eta^2 partiels indiquent que l'âge et le poids ont des effets sur les concentrations de cortisol pilaire bien plus faibles que le mode de logement en maternité en maternité et le mode de logement en maternité et la socialisation précoce au sevrage. La somme des Eta^2 est supérieur au coefficient de corrélation (R^2). En effet, l' Eta^2 global est une mesure de la variance totale expliquée par le modèle, tandis que les Eta^2 partiels mesurent la contribution individuelle de chaque facteur sans considérer les chevauchements. La somme des Eta^2 partiels inclut donc des redondances (la variance partagée), ce qui conduit à une valeur supérieure à l' Eta^2 global. De plus, le coefficient de corrélation et les Eta^2 ne reposent pas sur les mêmes méthodes de calcul.

Aucun modèle satisfaisant n'a pu être obtenue en début et en fin d'engraissement.

CONCLUSION

Cette thèse a permis de décrire les concentrations de cortisol pileire chez les porcs charcutiers élevés en agriculture biologique, considéré comme un indicateur du stress des animaux. À travers une étude réalisée dans 15 élevages biologiques, depuis la naissance des porcelets jusqu'à leur abattage, plusieurs facteurs influençant ces concentrations de cortisol ont été identifiés.

Les résultats indiquent que le cortisol pileire est influencé par divers facteurs tels que l'âge, le poids, le sexe et les conditions de vie (notamment le mode de logement en maternité et l'instauration d'une socialisation précoce). Il a été observé une décroissance importante des concentrations de cortisol pileire durant les premières semaines de vie. Les analyses statistiques révèlent également une variabilité significative entre les différents élevages. Les pratiques spécifiques à chaque exploitation contribuent à des différences notables dans les taux de cortisol.

Cette étude souligne que le cortisol pileire ne constitue pas un indicateur unique pertinent pour évaluer le bien-être animal. Elle suggère qu'un grand nombre de paramètres peuvent affecter les concentrations de cortisol pileire sans nécessairement avoir des répercussions sur le bien-être des individus.

BIBLIOGRAPHIE

AGENCE BIO, 2024. Base de données à accès libre des élevages biologique en France - data.gouv.fr. [en ligne]. 8 juillet 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.data.gouv.fr/fr/organizations/agence-bio/#/datasets> [Consulté le 10 juillet 2024].

ARENA, I., MARLIANI, G., SABIONI, S., GABAI, G., BUCCI, D. et ACCORSI, P.A., 2021. Assessment of horses' welfare: Behavioral, hormonal, and husbandry aspects. *Journal of Veterinary Behavior*. 1 janvier 2021. Vol. 41, pp. 82-90. DOI 10.1016/j.jveb.2021.01.006.

ARNETT, M. G., MUGLIA, L. M., LARYEA, G. et MUGLIA, L. J., 2016. Genetic Approaches to Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis Regulation. *Neuropsychopharmacology*. janvier 2016. Vol. 41, n° 1, pp. 245-260. DOI 10.1038/npp.2015.215.

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*. septembre 2014. Vol. 14, n° 3, pp. 218-223. DOI 10.1016/j.repbio.2014.06.001.

BANSE, H. E., GETACHEW, F., LEVY, M. et SMITS, J., 2020. Influence of season and pituitary pars intermedia dysfunction on hair cortisol concentration in horses. *Domestic Animal Endocrinology*. 1 juillet 2020. Vol. 72, pp. Article n° 106375. DOI 10.1016/j.domaniend.2019.07.003.

BARTELS, T., BERK, J., CRAMER, K., KANITZ, E. et OTTEN, W., 2021. Research Note: It's not just stress—fecal contamination of plumage may affect feather corticosterone concentration. *Poultry Science*. 16 septembre 2021. Vol. 100, n° 12, pp. Article n° 101494. DOI 10.1016/j.psj.2021.101494.

BAULIEU, E. E., 1996. Dehydroepiandrosterone (DHEA): a fountain of youth? *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. septembre 1996. Vol. 81, n° 9, pp. 3147-3151. DOI 10.1210/jcem.81.9.8784058.

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 : an Open Access Journal from MDPI*. 12 juin 2019. Vol. 9, n° 6, pp. Article n°345. DOI 10.3390/ani9060345.

BEUVING, G. et VONDER, G. M., 1977. Daily rhythm of corticosterone in laying hens and the influence of egg laying. *Journal of Reproduction and Fertility*. septembre 1977. Vol. 51, n° 1, pp. 169-173. DOI 10.1530/jrf.0.0510169.

BISWAL, G., 1954. Additional Histological Findings in the Chicken Reproductive Tract. *Poultry Science*. 1 juillet 1954. Vol. 33, pp. 843-851. DOI 10.3382/ps.0330843.

BONO, C., CORNOU, C. et KRISTENSEN, A. R., 2012. Dynamic production monitoring in pig herds I: Modeling and monitoring litter size at herd and sow level. *Livestock Science*. 1 novembre 2012. Vol. 149, n° 3, pp. 289-300. DOI 10.1016/j.livsci.2012.07.023.

BORTOLOTTI, G. R., MARCHANT, T. A., BLAS, J. et GERMAN, T., 2008. Corticosterone in feathers is a long-term, integrated measure of avian stress physiology. *Functional Ecology*. 2008. Vol. 22, n° 3, pp. 494-500. DOI 10.1111/j.1365-2435.2008.01387.x.

- BORTOLOTTI, G. R., MARCHANT, T., BLAS, J. et CABEZAS, S., 2009. Tracking stress: localisation, deposition and stability of corticosterone in feathers. *Journal of Experimental Biology*. 15 mai 2009. Vol. 212, n° 10, pp. 1477-1482. DOI 10.1242/jeb.022152.
- BOULOT, S., DESPRES, Y., BADOUARD, B. et SALLÉ, E., 2013. Le «syndrome de 2 ème portée» dans les élevages français : prévalence de différents profils et facteurs de risque. In : *Journées Recherche Porcine*. 5 février 2013.
- BRAUN, U., CLAVADETSCHER, G., BAUMGARTNER, M., RIOND, B. et BINZ, T., 2017. Hair cortisol concentration and adrenal gland weight in healthy and ill cows. *Schweizer Archiv Fur Tierheilkunde*. septembre 2017. Vol. 159, n° 9, pp. 493-495. DOI 10.17236/sat00128.
- BUOSO, E., LANNI, C., MOLteni, E., ROUSSET, F., CORSINI, E. et RACCHI, M., 2011. Opposing effects of cortisol and dehydroepiandrosterone on the expression of the receptor for Activated C Kinase 1: Implications in immunosenescence. *Experimental Gerontology*. 1 novembre 2011. Vol. 46, n° 11, pp. 877-883. DOI 10.1016/j.exger.2011.07.007.
- CAMPBELL, J. M., CRENSHAW, J. D. et POLO, J., 2013. The biological stress of early weaned piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 30 avril 2013. Vol. 4, n° 1, pp. Article n° 19. DOI 10.1186/2049-1891-4-19.
- CASAL, N., MANTECA, X., ESCRIBANO, D., CERÓN, J. J. et FÀBREGA, E., 2017. Effect of environmental enrichment and herbal compound supplementation on physiological stress indicators (chromogranin A, cortisol and tumour necrosis factor- α) in growing pigs. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*. juillet 2017. Vol. 11, n° 7, pp. Article n° 1228. DOI 10.1017/S1751731116002561.
- CASAL, N., MANTECA, X., PEÑAL, 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.
- CERASOLI, F., PODALIRI VULPIANI, M., SALUTI, G., CONTE, A., RICCI, M., SAVINI, G. et D'ALTERIO, N., 2022. Assessment of Welfare in Groups of Horses with Different Management, Environments and Activities by Measuring Cortisol in Horsehair, Using Liquid Chromatography Coupled to Hybrid Orbitrap High-Resolution Mass Spectrometry. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*. 6 juillet 2022. Vol. 12, n° 14, pp. Article n° 1739. DOI 10.3390/ani12141739.
- CHEN, C.-F., FOLEY, J., TANG, P.-C., LI, A., JIANG, T.-X., WU, P., WIDELITZ, R. B. et CHUONG, C. M., 2015. Development, Regeneration, and Evolution of Feathers. *Annual review of animal biosciences*. 2015. Vol. 3, pp. 169-195. DOI 10.1146/annurev-animal-022513-114127.
- 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.
- COMIN, A., VERONESI, M. C., MONTILLO, M., FAUSTINI, M., VALENTINI, S., CAIROLI, F. et PRANDI, A., 2012. Hair cortisol level as a retrospective marker of hypothalamic–pituitary–adrenal axis activity in horse foals. *The Veterinary Journal*. 1 octobre 2012. Vol. 194, n° 1, pp. 131-132. DOI 10.1016/j.tvjl.2012.04.006.

- CREUTZINGER, K., STOOKEY, J. M., MARFLEET, T., CAMPBELL, J., JANZ, D., MARQUES, F. et SEDDON, Y. M., 2017. An investigation of hair cortisol as a measure of long-term stress in beef cattle: results from a castration study. *Canadian Journal of Animal Science*. mars 2017. Vol. 97, n° 1, pp. 499-509. DOI 10.1139/CJAS-2016-0206.
- DAVIDSON, I., ALTORY-NATOUR, A., HADDAS, R., NAGAR, S., MEIR, R., AVITAL-COHEN, N. et ROZENBOIM, I., 2020. Evaluation of Viral-Induced Stress by Quantitating Corticosterone in Feathers of Virus-Infected Specific Pathogen-Free Chicks. *Journal of Applied Poultry Research*. 1 mars 2020. Vol. 29, n° 1, pp. 48-63. DOI 10.3382/japr/pfz027.
- DE JONG, I. C., PRELLE, I. T., VAN DE BURG WAL, 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*. février 2000. Vol. 68, n° 4, pp. 571-578. DOI 10.1016/s0031-9384(99)00212-7.
- DE JONG, I. C., VAN VOORST, A. S., ERKENS, J. H., EHLHARDT, D. A. et BLOKHUIS, H. J., 2001. Determination of the circadian rhythm in plasma corticosterone and catecholamine concentrations in growing broiler breeders using intravenous cannulation. *Physiology & Behavior*. octobre 2001. Vol. 74, n° 3, pp. 299-304. DOI 10.1016/s0031-9384(01)00562-5.
- DE PERETTI, E. et FOREST, M. G., 1978. Pattern of plasma dehydroepiandrosterone sulfate levels in humans from birth to adulthood: evidence for testicular production. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. septembre 1978. Vol. 47, n° 3, pp. 572-577. DOI 10.1210/jcem-47-3-572.
- DICKERSON, S. S. et KEMENY, M. E., 2004. Acute stressors and cortisol responses: a theoretical integration and synthesis of laboratory research. *Psychological Bulletin*. mai 2004. Vol. 130, n° 3, pp. 355-391. DOI 10.1037/0033-2909.130.3.355.
- Directive 91/630/CEE du Conseil, du 19 novembre 1991, établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs*, 1991. [en ligne]. Conseil Européen . Disponible à l'adresse : <http://data.europa.eu/eli/dir/1991/630/oj/fra> [Consulté le 13 octobre 2024].
- EDWARDS, P. D. et BOONSTRA, R., 2018. Glucocorticoids and CBG during pregnancy in mammals: diversity, pattern, and function. *General and Comparative Endocrinology*. 1 avril 2018. Vol. 259, pp. 122-130. DOI 10.1016/j.ygcen.2017.11.012.
- EGELAND, M., ZUNSZAIN, P. A. et PARIANTE, C. M., 2015. Molecular mechanisms in the regulation of adult neurogenesis during stress. *Nature Reviews Neuroscience*. avril 2015. Vol. 16, n° 4, pp. 189-200. DOI 10.1038/nrn3855.
- EL-HALAWANI, M. E., WAIBEL, P. E., APPEL, J. R. et GOOD, A. L., 1973. Effects of temperature stress on catecholamines and corticosterone of male turkeys. *The American Journal of Physiology*. février 1973. Vol. 224, n° 2, pp. 384-388. DOI 10.1152/ajplegacy.1973.224.2.384.
- ETCHES, R. J., 1979. Plasma concentrations of progesterone and corticosterone during the ovulation cycle of the hen (*Gallus domesticus*). *Poultry Science*. janvier 1979. Vol. 58, n° 1, pp. 211-216. DOI 10.3382/ps.0580211.

EUGEN, K. von, NORDQUIST, R. E., ZEINSTR, A. et STAAAY, F. J. van der, 2019. Stocking Density Affects Stress and Anxious Behavior in the Laying Hen Chick During Rearing. *Animals: an open access journal from MDPI*. 10 février 2019. Vol. 9, n° 2, pp. Article n° 53. DOI 10.3390/ani9020053.

FANG, C. Y., EGLESTON, B. L., MANZUR, A. M., TOWNSEND, R. R., STANCZYK, F. Z., SPIEGEL, D. et DORGAN, J. F., 2014. Psychological reactivity to laboratory stress is associated with hormonal responses in postmenopausal women. *Journal of International Medical Research*. 1 avril 2014. Vol. 42, n° 2, pp. 444-456. DOI 10.1177/0300060513504696.

FEDERATION NATIONALE D'AGRICULTURE BIOLOGIQUE, 2024. Panorama de la filière porcs bio. *Produire Bio* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.produire-bio.fr/filiere-porcs-bio/> [Consulté le 10 juillet 2024].

FULLA, Y., GUIGNAT, L., DUGUÉ, M.-A., ASSIÉ, G. et BERTAGNA, X., 2009. Exploration biologique de la fonction corticotrope. *Revue Francophone des Laboratoires*. novembre 2009. Vol. 2009, n° 416, pp. 35-48. DOI 10.1016/S1773-035X(09)70249-7.

GARDELA, J., CARBAJAL, A., TALLO-PARRA, O., OLVERA-MANEU, S., ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, M., JOSE-CUNILLERAS, E. et LÓPEZ-BÉJAR, M., 2020. Temporary Relocation during Rest Periods: Relocation Stress and Other Factors Influence Hair Cortisol Concentrations in Horses. *Animals: an open access journal from MDPI*. 8 avril 2020. Vol. 10, n° 4, pp. Article n° 642. DOI 10.3390/ani10040642.

GAVAUD, S., HAUROGNÉ, K., BUCHET, A., GARCIA VINADO, I., ALLARD, M., LEHÉBEL, A., LEBLANC-MARIDOR, M., BACH, J. M., BELLOC, C., LIEUBEAU, B. et HERVÉ, J., 2023. Effects of improved early-life conditions on health, welfare, and performance of pigs raised on a conventional farm. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*. juin 2023. Vol. 17, n° 6, pp. Article n° 100810. DOI 10.1016/j.animal.2023.100810.

GHASSEMI NEJAD, J., GHAFFARI, M. H., ATAALLAHI, M., JO, J.-H. et LEE, H.-G., 2022. Stress Concepts and Applications in Various Matrices with a Focus on Hair Cortisol and Analytical Methods. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*. 10 novembre 2022. Vol. 12, n° 22, pp. Article n° 3096. DOI 10.3390/ani12223096.

GOW, R., THOMSON, S., RIEDER, M., VAN UUM, S. et KOREN, G., 2010. An assessment of cortisol analysis in hair and its clinical applications. *Forensic Science International*. 20 mars 2010. Vol. 196, n° 1-3, pp. 32-37. DOI 10.1016/j.forsciint.2009.12.040.

GRANT, K., WORLEIN, J., MEYER, J., NOVAK, M., KROEKER, R., ROSENBERG, K., KENNEY, C. et BURBACHER, T., 2017. A Longitudinal Study of Hair Cortisol Concentrations in Macaca nemestrina Mothers and Infants. *American journal of primatology*. février 2017. Vol. 79, n° 2, pp. 1-9. DOI 10.1002/ajp.22591.

GRASS, J., MILLER, R., CARLITZ, E. H. D., PATROVSKY, F., GAO, W., KIRSCHBAUM, C. et STALDER, T., 2016. In vitro influence of light radiation on hair steroid concentrations. *Psychoneuroendocrinology*. novembre 2016. Vol. 73, pp. 109-116. DOI 10.1016/j.psyneuen.2016.07.221.

HÄFFELIN, K.E., LINDENWALD, R., KAUFMANN, F., DÖHRING, S., SPINDLER, B., PREISINGER, R., RAUTENSCHLEIN, S., KEMPER, N. et ANDERSSON, R., 2020. Corticosterone

in feathers of laying hens: an assay validation for evidence-based assessment of animal welfare. *Poultry Science*. 24 juillet 2020. Vol. 99, n° 10, pp. 4685-4694. DOI 10.1016/j.psj.2020.06.065.

HARI, J.j. et PLISKA, V., 2005. Hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis in stress-susceptible and stress-resistant pigs: endocrine responses to corticotrophin-releasing factor and vasopressin. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2005. Vol. 122, n° s1, pp. 87-96. DOI 10.1111/j.1439-0388.2005.00514.x.

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*. février 2000. Vol. 78, n° 2, pp. 420-428. DOI 10.2527/2000.782420x.

HAZARD, D., COUTY, M., FAURE, J. M. et GUÉMÉNÉ, D., 2005. Relationship between hypothalamic-pituitary-adrenal axis responsiveness and age, sexual maturity status, and sex in Japanese quail selected for long or short duration of tonic immobility. *Poultry Science*. décembre 2005. Vol. 84, n° 12, pp. 1913-1919. DOI 10.1093/ps/84.12.1913.

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, Susen, KANITZ, Ellen, TUCHSCHERER, Armin et OTTEN, Winfried, 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.

HELLHAMMER, D. H., WÜST, S. et KUDIÉLKA, B. M., 2009. Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*. février 2009. Vol. 34, n° 2, pp. 163-171. DOI 10.1016/j.psyneuen.2008.10.026.

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.

HOLMES, A. et WELLMAN, C. L., 2009. Stress-induced prefrontal reorganization and executive dysfunction in rodents. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 1 juin 2009. Vol. 33, n° 6, pp. 773-783. DOI 10.1016/j.neubiorev.2008.11.005.

HUCKLEBRIDGE, F., HUSSAIN, T., EVANS, P. et CLOW, A., 2005. The diurnal patterns of the adrenal steroids cortisol and dehydroepiandrosterone (DHEA) in relation to awakening. *Psychoneuroendocrinology*. 1 janvier 2005. Vol. 30, n° 1, pp. 51-57. DOI 10.1016/j.psyneuen.2004.04.007.

INAO, 2024. Les signes de qualité et d'origine: Agriculture biologique. *INAO* [en ligne]. 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.inao.gouv.fr/Les-signes-officiels-de-la-qualite-et-de-l-origine-SIQO/Agriculture-biologique> [Consulté le 13 octobre 2024].

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.

- JI, W., BI, Y., CHENG, Z., LIU, R., ZHANG, X., SHU, Y., LI, X., BAO, J. et LIU, H., 2021. Impact of early socialization environment on social behavior, physiology and growth performance of weaned piglets. *Applied Animal Behaviour Science*. 1 mai 2021. Vol. 238, pp. Art n°105314. DOI 10.1016/j.applanim.2021.105314.
- JOURDAIN, F., 2023. « Ma trésorerie est rouge vif » : le porc bio ne tient qu'à un fil. *Ouest-France.fr* [en ligne]. 23 novembre 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.ouest-france.fr/economie/agriculture/ma-tresorerie-est-rouge-vif-le-porc-bio-ne-tient-qua-un-fil-14922906-7d8a-11ee-9e40-5131acac1bc0> [Consulté le 10 juillet 2024].
- KANITZ, E., OTTEN, W., TUCHSCHERER, M., GRÄBNER, M., BRÜSSOW, K.-P., REHFELDT, C. et METGES, C. C., 2012. High and low protein: carbohydrate dietary ratios during gestation alter maternal-fetal cortisol regulation in pigs. *PloS One*. 2012. Vol. 7, n° 12, pp. Article n° e52748. DOI 10.1371/journal.pone.0052748.
- KAPOOR, A., LUBACH, G. R., ZIEGLER, T. E. et COE, C. L., 2016. Hormone levels in neonatal hair reflect prior maternal stress exposure during pregnancy. *Psychoneuroendocrinology*. avril 2016. Vol. 66, pp. 111-117. DOI 10.1016/j.psyneuen.2016.01.010.
- KARISHMA, K. K. et HERBERT, J., 2002. Dehydroepiandrosterone (DHEA) stimulates neurogenesis in the hippocampus of the rat, promotes survival of newly formed neurons and prevents corticosterone-induced suppression. *European Journal of Neuroscience*. 2002. Vol. 16, n° 3, pp. 445-453. DOI 10.1046/j.1460-9568.2002.02099.x.
- KIRSCHBAUM, C. et HELLHAMMER, D. H., 1989. Salivary cortisol in psychobiological research: an overview. *Neuropsychobiology*. 1989. Vol. 22, n° 3, pp. 150-169. DOI 10.1159/000118611.
- KOBER, A. K. M. H., AOYAMA, M. et SUGITA, S., 2012. Morphological and Histological Studies on the Adrenal Gland of the Chicken (*Gallus domesticus*). *The Journal of Poultry Science*. 1 janvier 2012. Vol. 49, pp. 39-45. DOI 10.2141/jpsa.011038.
- LABRIE, F., BÉLANGER, A., BÉLANGER, P., BÉRUBÉ, R., MARTEL, C., CUSAN, L., GOMEZ, J., CANDAS, B., CASTIEL, I., CHAUSSADE, V., DELOCHE, C. et LECLAIRE, J., 2006. Androgen glucuronides, instead of testosterone, as the new markers of androgenic activity in women. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*. juin 2006. Vol. 99, n° 4-5, pp. 182-188. DOI 10.1016/j.jsbmb.2006.02.004.
- LEE, J., OH, S. et KIM, M., 2024. Impact of environmental enrichment on growth, behavior, and welfare of weanling piglets from pre-weaning to 6 weeks of age. *Journal of Animal Science and Technology* [en ligne]. 2024. DOI 10.5187/jast.2024.e1. [Consulté le 24 août 2024].
- LEISHMAN, Emily M., VANDERHOUT, Ryley J., ABDALLA, Emhimad A., VAN STAAVEREN, Nienke, NAIM, Anna, BARBUT, Shai, WOOD, Benjamin J., HARLANDER-MATAUSCHEK, Alexandra et BAES, Christine F., 2023. Genetic parameters of feather corticosterone and fault bars and correlations with production traits in turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Scientific Reports*. 2 janvier 2023. Vol. 13, pp. 38. DOI 10.1038/s41598-022-26734-6.
- LEISHMAN, Emily M., VAN STAAVEREN, Nienke, MOHR, Jeff, WOOD, Benjamin J., FREEMAN, Nikole E., NEWMAN, Amy E. M., HARLANDER-MATAUSCHEK, Alexandra et BAES, Christine F., 2021. The Effect of Egg Laying on Feather and Plasma Corticosterone Concentrations in Turkey (*Meleagris gallopavo*) Hens. *Animals*. juillet 2021. Vol. 11, n° 7, pp. 1892. DOI 10.3390/ani11071892.

- LELLÁKOVÁ, M., LEŠKOVÁ, L., FLORIÁN, M., MESARČOVÁ, L., SKURKOVÁ, L., PEŤKOVÁ, B., TAKÁČOVÁ, D. et KOTTFEROVÁ, J., 2022. Cortisol Concentration in Horsehair and its Relationship to Body Location, Coat Colour, and Gender. *Journal of Equine Veterinary Science*. 1 août 2022. Vol. 115, pp. 104010. DOI 10.1016/j.jevs.2022.104010.
- 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* [en ligne]. 22 janvier 2024. Vol. 10. DOI 10.3389/fvets.2023.1298756. [Consulté le 9 août 2024].
- 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.
- MAZZOLA, S. M., COLOMBANI, C., PIZZAMIGLIO, G., CANNAS, S., PALESTRINI, C., COSTA, E. D., GAZZONIS, A. L., BIONDA, A. et CREPALDI, P., 2021. Do You Think I Am Living Well? A Four-Season Hair Cortisol Analysis on Leisure Horses in Different Housing and Management Conditions. *Animals: an open access journal from MDPI*. 20 juillet 2021. Vol. 11, n° 7, pp. Article n°2141. DOI 10.3390/ani11072141.
- MCEWEN, B. S., 2003. Mood disorders and allostatic load. *Biological Psychiatry*. 1 août 2003. Vol. 54, n° 3, pp. 200-207. DOI 10.1016/S0006-3223(03)00177-X.
- MCKAY, L. I. et CIDLOWSKI, J. A., 2003. Physiologic and Pharmacologic Effects of Corticosteroids. In : *Holland-Frei Cancer Medicine. 6th edition* [en ligne]. BC Decker. pp. 178. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK13780/> [Consulté le 9 août 2024].
- MEDILL, S. A., JANZ, D. M. et MCLOUGHLIN, P. D., 2023a. Hair Cortisol Concentrations in Feral Horses and the Influence of Physiological and Social Factors. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*. 27 juin 2023. Vol. 13, n° 13, pp. Article n° 2133. DOI 10.3390/ani13132133.
- MEDILL, S. A., JANZ, D. M. et MCLOUGHLIN, P. D., 2023b. Hair Cortisol and Testosterone Concentrations in Relation to Maturity and Breeding Status of Male Feral Horses. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*. 27 juin 2023. Vol. 13, n° 13, pp. Article n° 2129. DOI 10.3390/ani13132129.
- MEYER, J. S. et NOVAK, M. A., 2012. Minireview: Hair cortisol: a novel biomarker of hypothalamic-pituitary-adrenocortical activity. *Endocrinology*. septembre 2012. Vol. 153, n° 9, pp. 4120-4127. DOI 10.1210/en.2012-1226.
- MINISTÈRE DE L'ECONOMIE, DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE, 2023. Agriculture biologique. [en ligne]. 18 décembre 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/Agriculture-biologique> [Consulté le 1 octobre 2024].
- MOHD AZMI, N. A. S., JULIANA, N., AZMANI, S., MOHD EFFENDY, N., ABU, I. F., MOHD FAHMI TENG, N. I. et DAS, S., 2021. Cortisol on Circadian Rhythm and Its Effect on Cardiovascular System. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. janvier 2021. Vol. 18, n° 2, pp. 676. DOI 10.3390/ijerph18020676.

MONTILLO, M., COMIN, A., CORAZZIN, M., PERIC, T., FAUSTINI, M., VERONESI, M. C., VALENTINI, S., BUSTAFFA, M. et PRANDI, A., 2014. The Effect of Temperature, Rainfall, and Light Conditions on Hair Cortisol Concentrations in Newborn Foals. *Journal of Equine Veterinary Science*. 1 juin 2014. Vol. 34, n° 6, pp. 774-778. DOI 10.1016/j.jevs.2014.01.011.

MONTILLO, M., ROTA NODARI, S., PERIC, T., POLLONI, A., CORAZZIN, M., BERGAMIN, C., BALESTRIERI, A., PRANDI, A. et COMIN, A., 2020. Steroids in pig hair and welfare evaluation systems: combined approaches to improve management in pig breeding? *Veterinaria Italiana*. 1 décembre 2020. Vol. 56, n° 3, pp. 177-184. DOI 10.12834/VetIt.1974.11885.1.

MORGAN, L., ITIN-SHWARTZ, B., KOREN, L., MEYER, J. S., MATAS, D., YOUNIS, A., NOVAK, S., WEIZMANN, N., RAPAIC, O., ABU AHMAD, W., KLEMENT, E. et RAZ, T., 2019. Physiological and economic benefits of abandoning invasive surgical procedures and enhancing animal welfare in swine production. *Scientific Reports*. 6 novembre 2019. Vol. 9, n° 1, pp. Article n° 16093. DOI 10.1038/s41598-019-52677-6.

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.

MÖSTL, E., MAGGS, J.L., SCHRÖTTER, G., BESENFELDER, U. et PALME, R., 2002. Measurement of Cortisol Metabolites in Faeces of Ruminants. *Veterinary Research Communications*. 1 mars 2002. Vol. 26, n° 2, pp. 127-139. DOI 10.1023/A:1014095618125.

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.

MOULLOT, P., 2023. Crise de la filière bio : «On pourrait perdre jusqu'à 30 % des éleveurs de porcs bio». *Libération* [en ligne]. 25 février 2023. Disponible à l'adresse : https://www.liberation.fr/environnement/agriculture/crise-de-la-filiere-bio-on-pourrait-perdre-jusqua-30-des-eleveurs-de-porcs-bio-20230225_NZ532H5QURF2TIYWCBFQWTIHWQ/ [Consulté le 10 juillet 2024].

NORDQUIST, R. E., ZEINSTRAS, E. C., DOUGHERTY, A. et RIBER, A. B., 2020. Effects of Dark Brooder Rearing and Age on Hypothalamic Vasotocin and Feather Corticosterone Levels in Laying Hens. *Frontiers in Veterinary Science* [en ligne]. 2020. Vol. 7. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2020.00019> [Consulté le 24 janvier 2024].

OLVERA-MANEU, S., CARBAJAL, A., GARDELA, J. et LOPEZ-BEJAR, M., 2021. Hair Cortisol, Testosterone, Dehydroepiandrosterone Sulfate and Their Ratios in Stallions as a Retrospective Measure of Hypothalamic-Pituitary-Adrenal and Hypothalamic-Pituitary-Gonadal Axes Activity: Exploring the Influence of Seasonality. *Animals: an open access journal from MDPI*. 25 juillet 2021. Vol. 11, n° 8, pp. Article n° 2202. DOI 10.3390/ani11082202.

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: An International Journal of Animal Bioscience*. 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. Article n° 100495. DOI 10.1016/j.animal.2022.100495.

OTTEN, Winfried, HEIMBÜRGE, Susen, KANITZ, Ellen et TUCHSCHERER, Armin, 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. Article n° 113531. DOI 10.1016/j.ygcen.2020.113531.

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

PALME, R., ROBIA, C., BAUMGARTNER, W., MÖSTL, E., PALME, R., ROBIA, C., BAUMGARTNER, W. et MÖSTL, E., 2000. Transport stress in cattle as reflected by an increase in faecal cortisol metabolite concentrations. *Veterinary Record*. 1 janvier 2000. Vol. 146, n° 4, pp. 108-109. DOI 10.1136/vr.146.4.108.

PERIC, T., MAZZONI, C., QUAI, F., COTTICELLI, A., PIVIDORI, I., CORAZZIN, M., COMIN, A., BRESCIANI, C. et PRANDI, A., 2023. Sow's pre- and post-delivery in different confinement systems evaluated by hair hormones concentrations. *Livestock Science*. 1 juin 2023. Vol. 272, pp. 105235. DOI 10.1016/j.livsci.2023.105235.

PERRIER, C., 2023. *Évaluation des effets de la socialisation précoce sur la croissance, la santé et le bien-être des porc: résultats d'un essai clinique conduit dans quatre élevages conventionnels*. Université de Nantes.

PINTO, A., MALACRIDA, B., OIENI, J., SERAFINI, M. M., DAVIN, A., GALBIATI, V., CORSINI, E. et RACCHI, M., 2015. DHEA modulates the effect of cortisol on RACK1 expression via interference with the splicing of the glucocorticoid receptor. *British Journal of Pharmacology*. juin 2015. Vol. 172, n° 11, pp. 2918-2927. DOI 10.1111/bph.13097.

PLACCI, M., MARLIANI, G., SABIONI, S., GABAI, G., MONDO, E., BORGHETTI, P., DE ANGELIS, E. et ACCORSI, Pier Attilio, 2020. Natural Horse Boarding Vs Traditional Stable: A Comparison of Hormonal, Hematological and Immunological Parameters. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2 juillet 2020. Vol. 23, n° 3, pp. 366-377. DOI 10.1080/10888705.2019.1663737.

POLLOCK, Darian S., JANZ, David M., MOYA, Diego et SEDDON, Yolande M., 2021. Effects of Wash Protocol and Contamination Level on Concentrations of Cortisol and Dehydroepiandrosterone (DHEA) in Swine Hair. *Animals: an open access journal from MDPI*. 30 octobre 2021. Vol. 11, n° 11, pp. 3104. DOI 10.3390/ani11113104.

PRINSLOO, M., HYND, P., FRANKLIN, S., WEAVER, S. et VAN DEN BOOM, R., 2019. Hair cortisol concentration is inversely related to the severity of equine squamous gastric disease. *The Veterinary Journal*. 1 juillet 2019. Vol. 249, pp. 58-59. DOI 10.1016/j.tvjl.2019.05.009.

PUBLICATIONS OFFICE OF THE EUROPEAN UNION, 2022. L'effet direct du droit de l'Union européenne | EUR-Lex. [en ligne]. 22 novembre 2022. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/the-direct-effect-of-european-union-law.html> [Consulté le 8 juillet 2024].

Règlement d'exécution (UE) 2021/1165 de la Commission du 15 juillet 2021 autorisant l'utilisation de certains produits et substances dans la production biologique et établissant la liste de ces produits et substances (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), 2021. [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2021/1165/oj/fra [Consulté le 13 octobre 2024].

Règlement (UE) 2018/848 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques, et abrogeant le règlement (CE) no 834/2007 du Conseil, 2018. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj/fra> [Consulté le 13 octobre 2024].

ROELOFS, S., GODDING, L., DE HAAN, J. R., VAN DER STAAY, F. J. et NORDQUIST, R. E., 2019. Effects of parity and litter size on cortisol measures in commercially housed sows and their offspring. *Physiology & Behavior*. 15 mars 2019. Vol. 201, pp. 83-90. DOI 10.1016/j.physbeh.2018.12.014.

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. *Animal - science proceedings*. août 2023. Vol. 14, n° 5, pp. Article n° 657. DOI 10.1016/j.anscip.2023.06.003.

ROSOCHACKI, S. J., PIEKARZEWSKA, A. B., POLOSZYNOWICZ, J. et SAKOWSKI, T., 2000. The Influence of Restraint Immobilization Stress on the Concentration of Bioamines and Cortisol in Plasma of Pietrain and Duroc Pigs. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 2000. Vol. 47, n° 4, pp. 231-242. DOI 10.1046/j.1439-0442.2000.00284.x.

ROTTER, J. I., WONG, F. L., LIFRAK, E. T. et PARKER, L. N., 1985. A genetic component to the variation of dehydroepiandrosterone sulfate. *Metabolism: Clinical and Experimental*. août 1985. Vol. 34, n° 8, pp. 731-736. DOI 10.1016/0026-0495(85)90023-x.

RUTHERFORD, K. M. D., BAXTER, E. M., D'EATH, R. B., TURNER, S. P., ARNOTT, G., ROEHE, R., ASK, B., SANDOE, P., MOUSTSEN, V. A., THORUP, F., EDWARDS, S. A., BERG, P. et LAWRENCE, A. B., 2013. The welfare implications of large litter size in the domestic pig I: biological factors. *Animal Welfare Journal*. mai 2013. Vol. 22, n° 2, pp. 199-218. DOI 10.7120/09627286.22.2.199.

SAUVEROCHE, M., HENRIKSSON, J., THEODORSSON, E., SVENSSON HOLM, A.-C. et ROTH, L. S. V., 2020. Hair cortisol in horses (*Equus caballus*) in relation to management regimes, personality, and breed. *Journal of Veterinary Behavior*. 1 mai 2020. Vol. 37, pp. 1-7. DOI 10.1016/j.jveb.2019.12.002.

SCHLUPP, A., ANIELSKI, P., THIEME, D., MÜLLER, R. K., MEYER, H. et ELLENDORFF, F., 2004. The beta-agonist clenbuterol in mane and tail hair of horses. *Equine Veterinary Journal*. mars 2004. Vol. 36, n° 2, pp. 118-122. DOI 10.2746/0425164044868620.

SCHURY, K., KOENIG, A. M., ISELE, D., HULBERT, A. L., KRAUSE, S., UMLAUFT, M., KOLASSA, S., ZIEGENHAIN, U., KARABATSIAKIS, A., REISTER, F., GUENDEL, H., FEGERT, J. M. et KOLASSA, I.-T., 2017. Alterations of hair cortisol and dehydroepiandrosterone in mother-infant-dyads with maternal childhood maltreatment. *BMC Psychiatry*. 6 juin 2017. Vol. 17, pp. 213. DOI 10.1186/s12888-017-1367-2.

SEBASTIAN, V., ESTIL, J. B., CHEN, D., SCHROTT, L. M. et SERRANO, P. A., 2013. Acute Physiological Stress Promotes Clustering of Synaptic Markers and Alters Spine Morphology in the Hippocampus. *PLOS ONE*. 24 octobre 2013. Vol. 8, n° 10, pp. Article n° e79077. DOI 10.1371/journal.pone.0079077.

SIMENSEN, E., OLSON, L. D., VANJONACK, W. J., JOHNSON, H. D. et RYAN, M. P., 1978. Determination of Corticosterone Concentration in Plasma of Turkeys Using Radioimmunoassay. *Poultry Science*. 1 novembre 1978. Vol. 57, n° 6, pp. 1701-1704. DOI 10.3382/ps.0571701.

SMITH, A. C. et SWINDLE, M. M., 2006. Preparation of Swine for the Laboratory. *ILAR Journal*. 1 janvier 2006. Vol. 47, n° 4, pp. 358-363. DOI 10.1093/ilar.47.4.358.

SOEDE, N. M., HOVING, L. L., LEEUWEN, J. J. J. van et KEMP, B., 2013. The second litter syndrome in sows; causes, consequences and possibilities of prevention. In : *Proceedings of the 9th International Conference on Pig Reproduction, Satellite Symposium*. [en ligne]. 2013. pp. 28-34. Disponible à l'adresse : <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/443389> [Consulté le 6 septembre 2024].

STEPHENS, M. A. C. et WAND, G., 2012. Stress and the HPA axis: role of glucocorticoids in alcohol dependence. *Alcohol Research: Current Reviews*. 2012. Vol. 34, n° 4, pp. 468-483.

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.

TREVISAN, C., MONTILLO, M., PRANDI, A., MKUPASI, E. M., NGOWI, H. A. et JOHANSEN, M. V., 2017. Hair cortisol and dehydroepiandrosterone concentrations in naturally *Taenia solium* infected pigs in Tanzania. *General and Comparative Endocrinology*. 15 mai 2017. Vol. 246, pp. 23-28. DOI 10.1016/j.ygcen.2017.03.007.

TURQUETIL, A. et REZNIK, Y., 2019. Les glandes surrénales, rôle et dysfonctionnement. *Actualités Pharmaceutiques*. 1 avril 2019. Vol. 58, n° 585, pp. 18-22. DOI 10.1016/j.actpha.2019.02.004.

WEIMER, S. L., WIDEMAN, R. F., SCANES, C. G., MAUROMOUSTAKOS, A., CHRISTENSEN, K. D. et VIZZIER-THAXTON, Y., 2018. An evaluation of methods for measuring stress in broiler chickens. *Poultry Science*. 1 octobre 2018. Vol. 97, n° 10, pp. 3381-3389. DOI 10.3382/ps/pey204.

WESTERHOF, I., MOL, J. A., VAN DEN BROM, W. E., LUMEIJ, J. T. et RIJNBERK, A., 1994. Diurnal Rhythms of Plasma Corticosterone Concentrations in Racing Pigeons (*Columba livia domestica*) Exposed to Different Light Regimens, and the Influence of Frequent Blood Sampling. *Avian Diseases*. 1994. Vol. 38, n° 3, pp. 428-434. DOI 10.2307/1592062.

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* [en ligne]. 2021. Vol. 8. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.605078> [Consulté le 7 septembre 2023].

WILSON, S. C., CUNNINGHAM, F. J. et MORRIS, T. R., 1982. Diurnal changes in the plasma concentrations of corticosterone, luteinizing hormone and progesterone during sexual development and the ovulatory cycle of Khaki Campbell ducks. *The Journal of Endocrinology*. mai 1982. Vol. 93, n° 2, pp. 267-277. DOI 10.1677/joe.0.0930267.

YONEZAWA, T., TAKAHASHI, A., IMAI, S., OKITSU, A., KOMIYAMA, S., IRIMAJIRI, M., MATSUURA, A., YAMAZAKI, A. et HODATE, K., 2012. Effects of outdoor housing of piglets on behavior, stress reaction and meat characteristics. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. juin 2012. Vol. 25, n° 6, pp. 886-894. DOI 10.5713/ajas.2011.11380.

YU, D. G., NAMGUNG, N., KIM, J. H., WON, S. Y., CHOI, W. J. et KIL, D. Y., 2021. Effects of stocking density and dietary vitamin C on performance, meat quality, intestinal permeability, and stress indicators in broiler chickens. *Journal of Animal Science and Technology*. 2021. Vol. 63, n° 4, pp. 815-826. DOI 10.5187/jast.2021.e77.

Support relevé d'information en élevage

Date de la visite :

Elevage (nom + adresse) :

Vétérinaire sanitaire :

Groupement et technicien :

Informations générales

UTH :

Nombre de sites :

Autres productions :

Agriculture biologique depuis :

Résultats techniques : G3T

GTEFréquence :

Qui ?	S'occupe de quoi ?

Nombre de truies :

Nombre de bandes :

Age au sevrage :

Nb porcs/lot :

Avant réduction des bandes :

Avant :

Après réduction des bandes :

Après :

Démographie troupeau :

Rang	1	2	3	4	5	6	≥ 7
%							

		Truie en Maternité	Porcelet en nurserie	Post-sevrage	Engrais- sement
INTÉRIEUR	nombre salle				
	nombre de places				
	m ² / case				
	nb d'animaux / case				
EXTÉRIEUR	nombre de parcs				
	m ² / parc				
	nb d'animaux / parc				

Génétique femelle :

%cochettes par bande :

Génétique mâle :

Auto-renouvellement : Oui / Non

Nb de pur sur l'exploitation :

Nombre de multiplicateurs achetés :

Origine des multiplicateurs :

Biosécurité interne et externe

Présence d'un sas fonctionnel : Oui / Non Commentaires :

Tenue propre et spécifique à l'élevage :

- pour le éleveurs tenue chaussures
- pour les intervenants extérieurs tenue chaussures

Bac d'équarrissage : fermé sur aire bétonnée hors zone d'élevage isolé

Lutte contre les nuisibles : rongeurs insectes Eleveur / Société extérieure Fréquence :

Marche en avant des personnes et des animaux : Oui / Non / Partielle

Conduite tout plein / tout vide : Oui / Non / Partielle

Infirmier : Présence / Absence

Modalités d'isolement des malades :

Modalités de réintégration dans le troupeau :

Protocole nettoyage-désinfection :

Plein-air : Mise en place de chaux : Oui / Non

M A T E R	Expliquer le protocole	lavage et désinfection	vidange fosses	séchage	vide sanitaire	curage	paillage	fq rotation des parcs
P S	Expliquer le protocole	lavage et désinfection	vidange fosses	séchage	vide sanitaire	curage	paillage	fq rotation des parcs
E N G R	Expliquer le protocole	lavage et désinfection	vidange fosses	séchage	vide sanitaire	curage	paillage	fq rotation des parcs

Désinfection réalisée par : éleveur

entreprise

Matériel de désinfection : robot

chariot manuel

poste fixe

Désinfection des couloirs : Oui / Non / Que lavage

avant transfert

après transfert

Qualité de l'eau : Origine de l'eau : réseau

puits

forage

Profondeur :

Analyse d'eau conforme : Oui / Non

Réalisée : À l'arrivée d'eau

En bout de ligne

Date de dernière analyse :

Fq analyses d'eau :

Stockage de la paille :

Origine de la paille :

Situation sanitaire générale de l'élevage et Prophylaxie

Agent ou Pathologie	Statut			Vaccination		Remarques
	Négatif	Positif	Inconnu	Oui	Non	
SDRP						
Actinobacillose						
Haemophilus						
Circovirus (PCV2)						
Leptospirose						
Parvovirose						
Rouget						
Grippe						
Rhinite atrophique						
Pneumonie enzootique <i>Mycoplasma hyopneumoniae</i>						
Iléite <i>Lawsonia intracellularis</i>						
Diarrhées néonatales						
Colibacillose en PS						
<i>Streptococcus suis</i>						
Parasitose interne (saisies de foie)						
Parasitose externe (ex : gale)						
Autre : Mycotoxicose / Caudophagie						
Autre :						

PROPHYLAXIE ANTIPARASITAIRE :

	Nom.s Déposé.s	Âge.s / Fréquence	Pratiques de réalisation
Truies			
Porcelets			

Maternité

LOGEMENT :

Type de sol	Nb places	Nb cases	Nb truies/case	Surface Case	Nb cases/bande	Nb salles

Type de point d'alimentation : Nb de truies/point : longueur/truie :
 Type aliment (balance protéines/azote) : quantité :
 Détail protocole alimentaire (aliment gestante/allaitante, changement à quel moment) :

Type de point d'eau : Nb de truies/point : débit d'eau :

AMBIANCE :

Impression générale : bon moyen mauvais Commentaires :

Température :

Ventilation : bonne insuffisante excessive

Luminosité : bonne insuffisante

Enrichissement truies (nombre et matériaux) :

Traitements des truies :

	dose	critères d'emploi	%truies	%cochettes
ocytocine				
wombyl				
cervicyl				
autres traitements (Phyto, H.E, AINS)				

Surveillance des mises-bas : Oui / Non Modalités :
 Adoptions en fonction du rang de portée : Oui / Non % adoptions < 24h : % adoptions > 24h :
 Tétée alternée : Oui / Non Dans quel délai : Modalités :
 Sociabilisation des porcelets : Oui / Non Âge : Nb cases ouvertes ensemble :

<u>Soins aux porcelets</u>	âge	nb de sujets / lame ou aiguille	nettoyage-désinfection matériel	description
coupe cordon				
fer (oral / injectable)				
castration (anesth?)				
traitement préventif				

Enrichissement porcelets (nombre et matériaux) :

Contact possible à travers parois de séparation : Oui / Non Présence nid : Oui / Non

Confort du nid : bon moyen mauvais Commentaires :

Surface au sol : rien tapis asséchant Commentaires :

Chauffage du nid (type et température) :

Répartition des porcelets dans le nid : très serrés proche écartés
(Photo)

Alimentation des porcelets :

A quel âge : Quel type d'aliment : Quantité :

Propreté du dos des porcelets : propre moyen souillé Commentaires :

Sevrage : Poids moyen au sevrage :

EPISODES INFECTIEUX TRUIES MATER : cf fiche de suivi élevage

EPISODES INFECTIEUX PORCELETS MATER : cf fiche de suivi élevage

TRAITEMENTS MATERNITE (préventifs et curatifs) : cf fiche de suivi élevage

Post sevrage

Remélange des bandes entre maternité et PS : Oui / Non Durée PS :

Remélange des cases entre maternité et PS : Oui / Non Sexage : oui non

Critère de constitution des cases : gabarit sexe portée rang truie

LOGEMENT :

Type de sol : Etat de la litière : sèche humide très sale

Type de point d'alimentation : Nb de porcelets/point : longueur/porcelet :

Type de point d'eau : Nb de porcelets/point : débit d'eau :

Acidification de l'eau : Oui / Non Si oui, quel acide : Quel pH :

Enrichissement du milieu (nombre et matériaux) :

Contacts possibles à travers les parois de séparation : Oui / Non

Accès extérieur : Oui / Non Si oui, à quel moment :

AMBIANCE :

Impression générale : bon moyen mauvais Commentaires :

Température :

Ventilation : bonne insuffisante excessive

Luminosité : bonne insuffisante

Propreté du dos animaux : propre moyen souillé Commentaires :

Griffure : oui non % moyen griffure :

Schéma d'une case :

EPISODES INFECTIEUX : cf fiche de suivi élevage

TRAITEMENTS POST-SEVRAGE (préventifs et curatifs) : cf fiche de suivi élevage + traitements alternatifs (H.E, phyto)

Engraissement

Remélange des bandes entre PS et engraissement : Oui / Non Durée Engraissement :
 Remélange des cases entre PS et engraissement : Oui / Non Sexage : oui non
 Critère de constitution des cases : gabarit sexe portée rang truie
 Desserrage : Oui / Non
 Devenir queue de lot : reste dans la salle initiale mélangée avec la bande suivante mise sur le quai

LOGEMENT :

Type de sol : Etat de la litière : sèche humide très sale
 Type de point d'alimentation : Nb de porcs/point : longueur/porc :
 Type de point d'eau : Nb de porcs/point : débit d'eau :
 Acidification de l'eau : Oui / Non Si oui, quel acide : Quel pH :
 Enrichissement du milieu (nombre et matériaux) :
 Contacts possibles à travers les parois de séparation : Oui / Non

AMBIANCE :

Schéma / Photo d'une case en engraissement

Température : Ventilation : bonne insuffisante excessive
 Luminosité : bonne insuffisante
 Propreté du dos animaux : propre moyen souillé Commentaires :
 Griffure : oui non % moyen griffure :

EPISODES INFECTIEUX et TRAITEMENTS POST-SEVRAGE (préventifs et curatifs): cf fiche de suivi élevage

GTTT :

Période	
Nb sevrés/truie productive/an	
Nb NT/portée	
Nb NV/portée	
Nb sevrés par truie/portée	
Nb IA moyen	
Nb avortements	
Nb cochettes entrées	
Taux premières portées sevrées	
Intervalle entrée-première saillie	
Taux de renouvellement	
Taux fécondité en saillie première	
Rang moyen de portée	

GTE :

Nb porcs/truie présente/an	
PS	
Poids entrée	
Poids sortie	
Mortalité	
GMQ 8-30	
Age à 30kg (jours)	
ENG	
Poids entrée	
Poids sortie	
Mortalité	
GMQ 30-115	
Age à 115kg (jours)	
Nb total de porcelets sevrés/an	

Annexe 2: Suivi des pathologies et anomalies en élevage

Nom de l'élevage :

Date :						
	Individus, répartition ex : case n°XX boucles 4, 22 + 3NB (non bouclés)	Traitement (molécule, posologie, réponse Oui/Non)	Individus, répartition (n° de boucles, nombre de NB touchés, cases concernées)	Traitement (molécule, posologie, réponse Oui/Non)	Individus, répartition (n° de boucles, nombre de NB touchés, cases concernées)	Traitement (molécule, posologie, réponse Oui/Non)
Diarrhée						
Nerveux						
Respi / Toux						
Température ?						
Boiterie						
Lésions cutanées zones (tête, dos, ...)						
Caudophagie						

Annexe 5: Légende base de données des porcs

	A	B	C	D
1	Code variable	Signification	Codage pour R	Type
2	Code	n° d'identification unique pour chaque porc	code	Texte
3	elevage	code de l'élevage : lettre A, B, C..	elevage	Texte
4	stade	Stade physiologique observé: M = Maternité, PS= Post-Sevrage, EngD= Engraissement Debut, EngF= Engraissement Fin	stade	Texte
5	naissance	lieu de naissance : plein-air = 1, bâtiment = 0	naissance	Qualitatif binaire
6	truie	n° de la truie : explorer effet truie	truie	Qualitatif nominal
7	rang	rang de portée de la truie	rang	Qualitatif discret
8	sexe	Sexe de l'animal: M = Mâle, F = Femelle	sexe	Texte
9	age	age du porc (en jour)	age	Qualitatif discret
10	delta_age	correspond à la différence d'age entre le jour de prélèvement et le jour de naissance	d_age	Qualitatif discret
11	poids	poids en mater et au PS	poids	Qualitatif continu
12	gabarit	évaluer le gabarit : petit (0), moyen (1), grand (2)	gabarit	Qualitatif discret
13	couleur	couleur du poil 0=blanc (clair) 1=coloré (roux, noir, gris)	couleur	Qualitatif binaire
14	pre_soc	Socialisation précoce des porcelets avant sevrage (1=oui, 0=non)	pre_soc	Qualitatif binaire
15	castration	OUI = 1 NON = 0, 2 =femelle non concernée	castration	Qualitatif binaire
16	diarrhee	OUI = 1 NON = 0	diarrhee	Qualitatif binaire
17	lesion_cut	OUI = 1 NON = 0	cut	Qualitatif binaire
18	hernie	OUI = 1 NON = 0	hernie	Qualitatif binaire
19	Repousse	OUI = 0 NON = 1	repousse	Qualitatif binaire
20	Sale	OUI = 1 NON = 0	sale	Qualitatif binaire
21	maladie	OUI = 1 NON = 0	maladie	Qualitatif binaire
22	mort	OUI = 1 NON = 0	mort	Qualitatif binaire
23	perdu	OUI = 1 NON = 0	perdu	Qualitatif binaire
24	Non prélevé/Dosé	OUI = 1 NON = 0	npd	Qualitatif binaire
25	poids_poils (mg)	poids des soies analysées	pp	Qualitatif continu
26	Cm	Concentration de cortisol pileaire une fois dosée (pg/mg de soies)	cm	Qualitatif continu
27				
28	Mater	Maternité	m	
29	PS	Post-Sevrage	ps	
30	EngD	Début d'engraissement	engd	
31	EngF	Fin d'engraissement	engf	

Annexe 6: Effectifs en maternité

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Total	Proportion
Dosés		14	6	31	25	22	23	29	33	24	27	25	34	27	32	34	386	73,4%
Non dosés	Quantité de poils insuffisante (< 10 mg)	21	28	4	10	13	12	1	2	11	5	14	1	8	1	1	132	25.1%
	Erreur manipulation	0	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	2	0	8	1.5%
Total		35	35	35	35	35	35	35	35	35	32	39	35	35	35	35	526	100%

Annexe 7: Effectifs au sevrage

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Total	Proportion
Dosés		32	32	33	34	32	35	33	27	18	27	37	34	32	34	25	465	88,2%
Morts		2	1	2	1	2	0	1	7	0	5	1	1	3	1	10	38	7,4%
Perdus		0	1	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	18	3,4%
Présents mais non dosés	Quantités de poils insuffisantes (< 10 mg)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2%
	Présents mais non prélevés	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0,6%
	Erreurs de manipulation	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,2%
Total		35	35	35	35	35	35	35	35	35	32	39	35	35	35	35	526	100%

Annexe 8: Effectifs en début d'engraissement

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Total	Proportion
Dosés		14	27	28	25	32	29	25	25	9	25	31	33	30	29	20	382	72,6%
Mort		2	1	2	2	2	3	1	8	0	7	0	2	2	1	10	43	8,2%
Perdu		7	3	3	5	1	0	0	0	26	0	5	0	2	0	3	55	10,5%
Dosés avec boucles perdues		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2%
Présents mais non dosés	Quantités de poils insuffisantes (< 10 mg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	6	1,1%
	Repousses des poils trop faibles	9	3	1	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	18	3,4%
	Erreurs de manipulations	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	6	1,1%
	Porcs malades	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2%
	Présents mais non prélevés	1	0	0	2	0	2	5	1	0	0	2	0	0	1	0	14	2,7%
Total		35	35	35	35	35	35	35	35	35	32	39	35	35	35	35	526	100%

Annexe 9: Effectifs en fin d'engraissement

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Total	Proportion
Dosés		24	30	24	27	26	23	26	26	5	22	23	33	27	30	15	361	68,6%
Mort		2	1	2	2	2	5	1	8	0	7	0	2	3	1	10	45	8,6%
Perdu		9	3	6	0	5	2	1	0	30	2	3	0	4	3	9	78	14,8%
Dosés avec boucles perdues		0	0	3	5	0	4	6	0	0	0	12	0	0	0	1	31	6%
Présents mais non dosés	Quantités de poils insuffisante (< 10 mg)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0,4%
	Repousses des poils trop faibles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	Erreurs de manipulations	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	5	1%
	Porcs malades	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	Présents mais non prélevés	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,6%
Total		35	35	35	35	35	35	35	35	35	32	39	35	35	35	35	526	100%

Benjamin MOREL

**ANALYSE DESCRIPTIVE DE LA CONCENTRATION DE CORTISOL PILAIRE
CHEZ LES PORCS CHARCUTIERS DE LA NAISSANCE A L'ABATTAGE EN
ÉLEVAGES PORCINS BIOLOGIQUES**

**DESCRIPTIVE ANALYSIS OF HAIR CORTISOL CONCENTRATION IN
FATTENING PIGS FROM BIRTH TO SLAUGHTER IN ORGANIC PIG FARMING**

Thèse d'État de Doctorat Vétérinaire : Nantes, le 15 novembre 2024

RÉSUMÉ

La demande sociétale concernant le bien-être animal se fait de plus en plus pressante. Dans le but de satisfaire cette exigence sociétale de bien-être animal en élevage, les chercheurs s'efforcent d'établir des indicateurs pertinents du bien-être en élevage. Parmi ces indicateurs, le cortisol pilaire, c'est-à-dire le cortisol présent dans les poils, est un indicateur très étudié à l'heure actuelle. Notre étude suit les concentrations de cortisol pilaire de 526 porcelets, issus de 15 élevages biologiques aux pratiques différentes, en maternité au sevrage, en début d'engraissement et en fin d'engraissement. Une décroissance des valeurs de cortisol pilaire a été observé de la maternité au début de l'engraissement. L'élevage a montré un effet significatif à tous les stades (p -value < 0,001). Des modèles multivariés ont été créé avec le facteur « élevage » en variable aléatoire. L'âge, le poids, le lieu de maternité (plein-air ou en bâtiment) et la mise en place ou non d'un socialisation précoce en maternité influent sur les concentrations de cortisol pilaire.

MOTS CLÉS :

- Porc charcutier
- Cortisol
- Poil
- Elevage biologique
- Modèle linéaire mixte

DATE DE SOUTENANCE : 15 novembre 2024