



Variabilité des concentrations de cortisol pileire de porcs en fin d'engraissement : description dans 20 élevages naisseurs-engraisseurs

*Pierre LEVALLOIS (1), Mily LEBLANC-MARIDOR (1), Solenn GAVAUD (2), Blandine LIEUBEAU (2), Guillaume MORGANT (1),
Christine FOURICHON (1), Julie HERVE (2), Catherine BELLOC (1)*

(1) Oniris, INRAE, BIOEPAR, 44300 Nantes, France

(2) Oniris, INRAE, IECM, 44300 Nantes, France

catherine.belloc@oniris-nantes.fr

Variabilité des concentrations de cortisol pileire de porcs en fin d'engraissement : description dans 20 élevages naisseurs-engraisseurs

Le cortisol s'accumule au cours du temps dans les soies. Le dosage du cortisol pileire pourrait permettre d'évaluer l'exposition des porcs au stress durant les semaines/mois précédant le prélèvement. L'objectif de cette étude est de décrire les variabilités des concentrations de cortisol pileire intra-bande, inter-bandes et inter-élevages dans 20 élevages naisseurs-engraisseurs du grand-ouest français, sélectionnés en considérant la diversité de leurs pratiques d'élevage et de leurs statuts sanitaires. Deux séries de prélèvements de soies ont été réalisées à huit mois d'intervalle dans les élevages. A chaque série, la nuque de 24 porcs en fin d'engraissement a été tondue. Les pratiques et les statuts sanitaires des élevages ont aussi été recensés. Pour décrire les variabilités des concentrations de cortisol pileire, un modèle linéaire et une classification ascendante hiérarchique ont été réalisés. Ces concentrations variaient de 0,4 à 121,6 pg/mg avec une moyenne de $25,9 \pm 16,2$ pg/mg. Au sein d'une bande, le coefficient de variation de la concentration de cortisol pileire variait de 15 à 71 %. Six élevages présentaient des concentrations de cortisol pileire significativement différentes entre les deux bandes prélevées. La concentration de cortisol pileire variait significativement entre les élevages et trois profils d'élevages ont été identifiés : la concentration de cortisol pileire au sein d'une bande pouvait être faible et homogène ($n = 3$ élevages) ou plus élevée et hétérogène pour la première ($n = 9$) ou la seconde ($n = 8$) bande prélevée. Les pratiques d'élevage et les statuts sanitaires renseignés permettent d'envisager des hypothèses explicatives aux variations observées. Cette matrice dont le prélèvement est peu invasif semble donc potentiellement pertinente pour étudier l'exposition au stress en élevage porcin.

Variability in pig hair cortisol concentrations at the end of fattening: situation in 20 farrow-to finish farms

Cortisol accumulates in hair over time. Measuring hair cortisol could thus be used to assess the exposure of pigs to stress in the weeks/months prior to sampling. The objective of this study was to describe the variability in hair cortisol concentrations within a batch, between batches and among farms in twenty farrow-to-finish farms in western France, selected according to the diversity of their management practices and their health status. Hair was sampled twice on the farms, eight months apart. The necks of 24 fattening pigs were clipped during each sampling session. The management practices and health status of the farms were also described. To describe the variability in hair cortisol concentrations, a linear model was built, and hierarchical clustering on principal components was performed. Hair cortisol concentration ranged from 0,4 to 121,6 pg/mg, with a mean of $25,9 \pm 16,2$ pg/mg. Within a batch, the coefficient of variation of hair cortisol concentration ranged from 15 and 71 %. On six farms, hair cortisol concentration differed significantly between the two batches sampled. Hair cortisol concentration varied significantly among farms and three farm clusters were identified: low and homogeneous concentration ($n = 3$ farms) or higher and heterogeneous concentration for the first ($n = 9$) or second ($n = 8$) batch sampled. The management practices and health statuses allowed us to consider explanatory hypotheses for the observed variations. Thus, pig hair, whose collection is not invasive, may be relevant for studying stress exposure on pig farms.

INTRODUCTION

Le cortisol peut être dosé chez les porcs via des prélèvements de salive, de sang, d'urine ou de fèces. Ces prélèvements permettent d'étudier un stress aigu, *i.e.* sur une période allant de quelques minutes à un ou deux jours. Plus récemment, le poil a été considéré pour étudier le stress chronique, *i.e.* sur une période temporelle allant de plusieurs semaines à quelques mois, puisque le cortisol s'y accumule (Meyer et Novak, 2012). Les prélèvements de poils sont non-invasifs, sans douleur et le stress aigu lié à la contention pour réaliser le prélèvement n'induit pas de biais de prélèvement (Ashley *et al.*, 2011) et/ou au cycle circadien. Par ailleurs, le cortisol pileire est stable au cours du temps (González-de-la-Vara *et al.*, 2011). Pour ces raisons, le cortisol pileire est aujourd'hui couramment utilisé dans des études de psychoneuroendocrinologie chez les humains (Ouellet-Morin *et al.*, 2021; Russell *et al.*, 2012) mais l'est encore assez peu chez les animaux d'élevage.

L'intérêt pour le cortisol pileire en élevage porcin est récent (Heimbürge *et al.*, 2019). La mesure de la concentration de cortisol pileire pourrait entre autres permettre d'identifier des pratiques d'élevage exposant les porcs à moins de facteurs de stress. Les études en élevage porcin sont le plus souvent réalisées dans un seul élevage pour investiguer des facteurs influençant des variations de la concentration de cortisol pileire comme la socialisation précoce des porcelets ou d'éventuelles sources de contamination des soies (Bacci *et al.*, 2014 ; Casal *et al.*, 2017 ; Carroll *et al.*, 2018 ; Heimbürge *et al.*, 2020 ; Gavaud *et al.*, 2022 ; Otten *et al.*, 2022). La variabilité de la concentration de cortisol pileire entre des élevages commerciaux présentant une diversité de pratiques et de contextes sanitaires est encore méconnue.

L'objectif de cette étude pilote est de décrire les variabilités de concentrations de cortisol pileire intra-bande, inter-bandes et inter-élevages chez les porcs en fin d'engraissement. Ce stade a été choisi en raison du caractère cumulatif du cortisol dans le poil au cours de la vie du porc (Meyer et Novak, 2012). Le cortisol pileire dosé à ce stade permettrait *a priori* d'étudier le stress chronique des porcs durant l'ensemble de leur vie en élevage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Prélèvements de soies

Les soies ont été prélevées sur des porcs en fin d'engraissement à 165 ± 10 jours d'âge en moyenne dans 20 élevages porcins naisseurs-engraisseurs. Les élevages comprenaient de 70 à 800 truies avec en moyenne 244 truies. Au total, deux et quatre élevages répondaient respectivement aux cahiers des charges de l'agriculture biologique et du label rouge tandis que les 14 autres ne répondaient pas à aucun cahier des charges particulier. Les porcs mâles étaient entiers dans cinq élevages. Dans chaque élevage, deux bandes ont été prélevées à huit mois d'intervalle en moyenne. Vingt-quatre porcs sélectionnés aléatoirement dans une ou plusieurs cases selon la configuration des bâtiments ont été prélevés dans chaque bande. Les prélèvements ont été réalisés sans contention en tondant les soies à la base de la nuque. Au moins 40 mg de soies étaient prélevés par porc. Les soies ont ensuite été placées dans des enveloppes et conservées entre quatre et huit mois à l'abri de la lumière et à température ambiante jusqu'au dosage du cortisol pileire.

1.2. Dosage du cortisol pileire

Le protocole utilisé pour doser le cortisol pileire est celui de Gavaud *et al.* (données non publiées), adapté d'Heimbürge *et al.* (2020). Chaque prélèvement de soies a été préalablement déposé dans des tubes en polypropylène de 15 mL pour deux séries de lavage. Une première série de deux lavages de 3 minutes chacun a été réalisée à l'eau (5 mL d'eau par lavage) pour retirer les poussières. Une seconde série de lavages a été réalisée de la même façon mais avec de l'isopropanol. Les soies ont ensuite été déposées dans des boîtes de pétri pour être séchées à l'abri de la lumière et à température ambiante pendant au moins 48 heures. Les soies séchées ont été finement coupées puis 35 mg à 40 mg de chaque échantillon ont été placés dans des micro-tubes. Afin de broyer les soies, trois billes en acier inoxydable ont été ajoutées dans chaque tube et les soies ont été congelées par une brève immersion des tubes dans de l'azote liquide. Les micro-tubes ont ensuite été directement placés dans une broyeuse Retsch (MM 400, Retsch GmbH, Haan, Allemagne) pour une série de deux broyages successifs à 30 Hz pendant 10 minutes. Après une brève centrifugation, 1,5 mL de méthanol a été ajouté dans chaque tube. Afin d'extraire le cortisol des soies, les tubes ont été placés sur un agitateur de plaques à 800 tours / minute pendant 24 heures à température ambiante. Les tubes ont ensuite été centrifugés à 1500 g pendant 5 minutes. Un volume de 750 μ L de surnageant a été prélevé dans chaque tube. Les nouveaux tubes ont été placés dans un évaporateur sous vide à 45°C pendant environ une heure afin d'évaporer le méthanol. Les tubes ont été stockés dans un congélateur à -20°C jusqu'au dosage. Le cortisol a été solubilisé dans 140 μ L d'une solution de PBS puis dosé en duplicat avec un kit ELISA pour le cortisol libre dans la salive (DES6611, Demeditec Diagnostics GmbH, Kiel, Germany) en suivant les instructions du fabricant. Les concentrations obtenues ont été converties de ng/ml en pg/mg de soies pour l'analyse des données. Le seuil de détection était de 0,019 ng/mL. Les coefficients de variations intra et inter-essais étaient respectivement de 5,2 % et de 6,9 %.

1.3. Recensement des pratiques et des statuts sanitaires

Toutes les pratiques d'élevage (soins des porcs, biosécurité, logement, alimentation, regroupement) et informations relatives à la santé des porcs ont été recensées à chacune des visites liées aux prélèvements. Les génotypes et les sexes des animaux prélevés n'ont pas été recensés. Concernant la santé, les statuts sanitaires ont été décrits à partir des bilans sanitaires d'élevage de l'année précédant la première visite. Les protocoles vaccinaux ont été collectés auprès des vétérinaires. Les résultats d'examens complémentaires et les comptes rendus d'abattoirs ont aussi été collectés lorsqu'ils étaient disponibles.

1.4. Analyses de données

Les analyses statistiques ont été réalisées sur R version 4.0.5. Un modèle linéaire a été réalisé pour évaluer les variabilités inter-bandes et inter-élevages. Une anova et un test de Tukey de ce modèle ont été réalisés. Un test de corrélation de Pearson a été réalisé entre les moyennes et les écarts-types des concentrations de cortisol pileire des bandes prélevées. Une Analyse en Composante Principale (ACP) puis une Classification ascendante hiérarchique (CAH) ont été réalisées afin de distinguer les élevages selon les variabilités intra-bande, inter-bandes et inter-élevages. Les quatre variables actives étaient les moyennes et les écarts-types des concentrations de cortisol pileires obtenues par élevage aux deux visites.

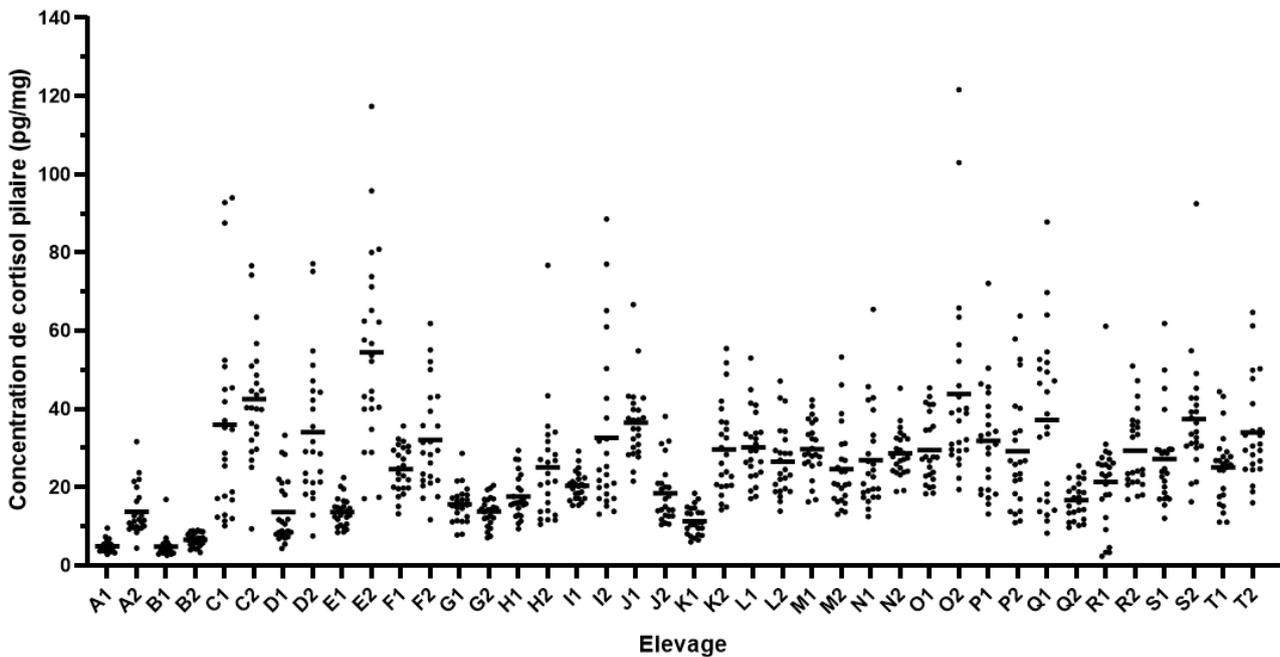


Figure 1 - Concentrations de cortisol pileire des porcs prélevés dans les deux bandes (1 et 2) des 20 élevages (A à T)

Chaque point correspond à la concentration pour un porc, les barres indiquent la moyenne de la concentration de la bande, la lettre suivie d'un numéro indique l'élevage et la bande

2. RESULTATS

Les concentrations de cortisol pileire des porcs variaient de 0,4 à 121,6 pg/mg avec une moyenne de $25,9 \pm 16,2$ pg/mg pour les 950 porcs prélevés répartis dans les 20 élevages (deux bandes/élevage). Dix porcs n'ont pas pu être prélevés dans six bandes de six élevages car des départs à l'abattoir avaient eu lieu avant les prélèvements. Les variabilités intra-bande, inter-bandes et inter-élevages des concentrations de cortisol pileire sont présentées dans la figure 1.

2.1. Variabilité intra-bande

Les coefficients de variation de la concentration de cortisol pileire au sein d'une bande variaient de 15 % à 71 % en considérant toutes les bandes prélevées. L'écart-type et la moyenne de la concentration de cortisol pileire d'une bande sont significativement associés d'après le test de corrélation de Pearson (coefficient de corrélation : 0,7 ; $P < 0,05$). L'écart-type de la concentration de cortisol pileire d'une bande augmente quand la moyenne de la concentration de cortisol pileire de la bande augmente (Figure 2).

2.2. Variabilité inter-bandes dans un même élevage

La concentration de cortisol pileire augmentait et diminuait d'après le test de Tukey entre les deux bandes prélevées dans respectivement 4 et 2 des 20 élevages (Figure 1 : respectivement élevages : D, E, K, O et J, Q ; $P < 0,05$).

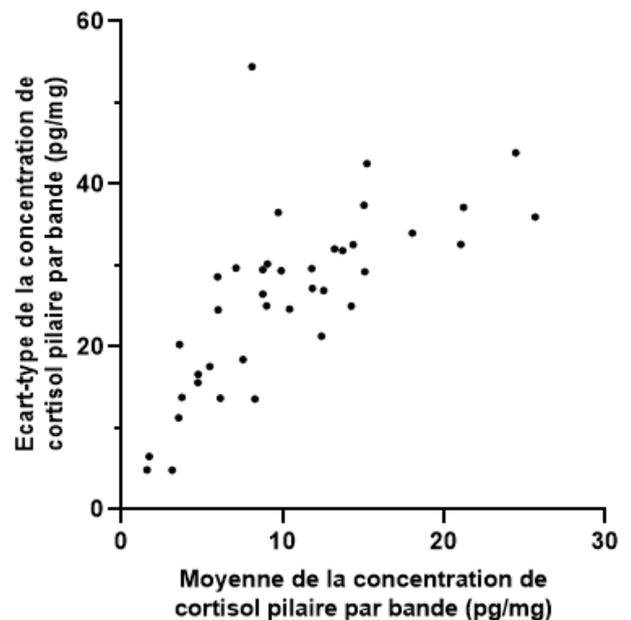


Figure 2 - Relation entre l'écart-type et la moyenne des concentrations de cortisol pileire dans les 40 bandes prélevées de porcs en fin d'engraissement dans les 20 élevages

2.3 Variabilité inter-élevages

Les concentrations de cortisol pileire variaient entre les élevages ($P < 0,05$). La moyenne de concentration de cortisol pileire des élevages pour une bande donnée variait de 4,8 à 54,5 pg/mg. Les deux élevages présentant les plus faibles concentrations de cortisol pileire présentaient des pratiques répondant au cahier des charges de l'agriculture biologique (A : $\mu_1 = 4,9$ pg/mg et $\mu_2 = 13,7$ pg/mg ; B : $\mu_1 = 4,8$ pg/mg et $\mu_2 = 6,5$ pg/mg). Deux autres élevages ayant des concentrations de cortisol pileire relativement basses par rapport à la cohorte présentaient des pratiques répondant à un cahier des charges Label Rouge (K pour la première bande : $\mu_1 = 11,3$ pg/mg) ou conventionnel (G : $\mu_1 = 15,6$ pg/mg et $\mu_2 = 13,7$ pg/mg).

2.4 Classification des élevages selon les moyennes et écarts-types de la concentration de cortisol pileire dosés dans les deux bandes prélevées

Les deux premières dimensions de l'ACP synthétisaient 85,2 % de la variance. La CAH a permis d'identifier trois groupes d'élevages, identifiés comme étant le groupe 1 ($n = 3$), groupe 2 ($n = 9$) et groupe 3 ($n = 8$). La valeur du *v.test* est renseignée dans le tableau 1 lorsque $P < 0,05$. Une valeur positive informe d'une valeur supérieure de la moyenne ou de l'écart-type du groupe par rapport à la cohorte et inversement.

Groupe 1 (A, B, G) : Les trois élevages de ce groupe présentaient des concentrations de cortisol pileire moyennes inférieures à celles des autres élevages pour les prélèvements de la première et de la seconde bande. La variabilité intra-bande était plus faible pour la seconde bande prélevée par rapport aux autres élevages.

Groupe 2 (D, E, F, H, I, K, O, S, T) : Les neuf élevages de ce groupe présentaient une moyenne et un écart-type de la concentration de cortisol pileire supérieurs à ceux des autres élevages pour les prélèvements de la seconde bande. Les quatre élevages présentant une augmentation significative de la concentration moyenne de cortisol pileire entre les prélèvements des deux bandes étaient présents dans ce groupe (D, E, K et O).

Groupe 3 (C, J, L, M, N, P, Q, R) : Les huit élevages de ce groupe présentaient une moyenne et un écart-type de la concentration de cortisol pileire supérieurs à ceux des autres élevages pour les prélèvements de la première bande. Les deux élevages présentant une diminution significative de la concentration moyenne de cortisol pileire entre les prélèvements des deux bandes étaient présents dans ce groupe (J et Q).

3. DISCUSSION

La concentration de cortisol pileire varie intra-bande, inter-bandes et inter-élevages. La moyenne de la concentration de cortisol pileire de l'ensemble des échantillons ($25,9 \pm 16,2$ pg/mg) est du même ordre de grandeur que les valeurs moyennes et médianes retrouvées dans la littérature allant de 4,5 pg/mg à 52,9 pg/mg (Casal *et al.*, 2017 ; Carroll *et al.*, 2018 ; Bergamin *et al.*, 2019 ; Gavaud *et al.*, données non publiées). L'étendue des valeurs de la concentration de cortisol pileire de notre étude (de 0,4 à 121,6 pg/mg) est proche de celles rencontrées dans les autres études allant de 6,4 pg/mg à 177,6 pg/mg (Casal *et al.*, 2017 ; Gavaud *et al.*, données non publiées).

Tableau 1 - Caractéristiques des groupes d'élevages identifiés par la classification ascendante hiérarchique

Variable	Groupe ¹		
	1 $n=3$ A, B, G	2 $n=9$ D, E, F, H, I, K, O, S, T	3 $n=8$ C, J, L, M, N, P, Q, R
Moyenne ² bande 1	-2,73		3,10
Moyenne ² bande 2	-2,85	2,54	
Ecart-type ³ bande 1			2,93
Ecart-type ³ bande 2	-2,42	2,82	

¹La valeur du *v.test* est renseignée lorsque la *p-value* $< 0,05$. Une valeur positive informe d'une valeur supérieure de la moyenne ou de l'écart-type du groupe par rapport à la cohorte et inversement. Plus la valeur absolue du *v.test* est élevée, plus le groupe est caractérisé par cette variable.

²Moyenne de la concentration de cortisol pileire pour une bande.

³Ecart-type de la concentration de cortisol pileire pour une bande.

L'étendue des valeurs dans l'étude de Bergamin *et al.* (2019) n'est pas présentée mais on peut supposer que la concentration moyenne des porcs castrés étant de 4,5 pg/mg, des concentrations inférieures à 4,5 pg/mg ont été rencontrées. La méthode ELISA utilisée dans notre étude a également été utilisée dans la majorité des autres études (Casal *et al.* (2017), Carroll *et al.* (2018) et Gavaud *et al.* (données non publiées) tandis qu'une méthode radio-immunologique a été utilisée par Bergamin *et al.* (2019). Seuls les porcs prélevés par Gavaud *et al.* (données non publiées) avaient un âge comparable à ceux prélevés dans notre étude (*i.e.* environ 23 semaines d'âge ; Casal *et al.* (2017) et Carroll *et al.* (2018) : environ 20 semaines d'âges ; Bergamin *et al.* (2019) : 36 semaines). Les concentrations de cortisol pileire plus élevées observées par Gavaud *et al.* (données non publiées) pourraient être en partie expliquées par un rasage des soies réalisé sur la croupe qui est une zone où les concentrations de cortisol pileire sont plus élevées que sur la nuque (Casal *et al.*, 2017). Un nombre important ($n = 55$) de valeurs allant de 0,4 à 6,2 pg/mg a été observé dans notre étude. Néanmoins, ces faibles valeurs de concentrations de cortisol pileire ne semblent pas être aberrantes en considérant la cohérence entre les duplicats de chaque échantillon et de la faible variabilité observée des concentrations de cortisol pileire individuelles dans les élevages concernés (A et B).

La variabilité intra-bande de la concentration de cortisol pileire suggère que le stress chronique diffère selon les porcs pour une exposition à des facteurs de stress communs puisque les pratiques d'élevages sont *a priori* similaires pour les animaux d'une même bande. Une étude de Davenport *et al.* (2006) a montré qu'un changement d'habitat couplé à l'intégration dans un nouveau groupe social augmentait significativement la concentration de cortisol pileire chez des macaques et ce dans des proportions variables selon les individus (de $81,1 \pm 7,5$ pg/mg à $129,6 \pm 15,5$ pg/mg). Ainsi, il est probable que le sevrage des porcelets puisse engendrer une augmentation de la concentration de cortisol pileire dans une proportion variable selon les individus. Le nombre de porcs prélevés par bande dans notre étude ($n = 24$) a permis d'observer la variabilité intra-bande de la concentration cortisol pileire bien que la taille des échantillons par bande soit inférieure à celui des autres études (Casal *et al.*, 2017 : $n = 35$; Carroll *et al.*, 2018 : $n = 65$; Bergamin

et al., 2019 : n = 107 porcs castrés et cochettes ; Gavaud *et al.*, données non publiées : n = 67). La proportion de porcs prélevés par bande variait de 5 à 15 % selon les élevages. L'élevage avec la plus faible proportion de porcs prélevés (H, 5 %) présentait une importante variabilité intra-bande (coefficients de variations de 31 % et 57 % pour les deux bandes prélevées), suggérant que la taille de l'échantillon était suffisante pour observer une variabilité intra-bande.

Dans 6 élevages sur 20, la concentration de cortisol pileire variait significativement entre les deux bandes prélevées. Cela suggère que les prélèvements réalisés sur une seule bande peuvent ne pas être suffisants pour décrire la variabilité de la concentration de cortisol pileire d'un élevage. Des facteurs de stress liés à des événements cliniques ou à des changements pratiques d'élevages peuvent expliquer les variations de la concentration de cortisol pileire entre des bandes. La caudophagie est associée à une augmentation de la concentration de cortisol pileire par rapport à une absence de lésions caudales (Carroll *et al.*, 2018). Ainsi, dans notre étude, les diminution et augmentation respectives de la concentration de cortisol pileire dans les élevages J et O pourraient être expliquées par les évolutions respectivement favorable et défavorable observées des signes cliniques liés au Syndrome Dysgénésique Respiratoire Porcin et à la pneumonie enzootique respectivement. L'étude de la concentration de cortisol pileire en considérant des expressions cliniques chroniques nécessite d'être approfondie pour contribuer à expliquer les variations de la concentration de cortisol pileire. Les trois élevages du groupe 1 (A, B, G) se distinguent des autres car les bandes prélevées présentent des valeurs de concentration de cortisol pileire relativement faibles et homogènes. Les élevages A et B ont des pratiques répondant au cahier des charges de l'agriculture biologique tandis que l'élevage G ne répondait à aucun cahier des charges en particulier. Les pratiques d'élevages en agriculture biologique (faible densité, accès à un parcours plein-air ou encore la présence de matériaux manipulables comme la paille) pouvaient *a priori* contribuer à exposer les porcs de ces élevages à moins de facteurs de stress. Il sera donc intéressant d'approfondir l'étude du cortisol pileire dans des élevages porcins biologiques présentant une diversité de pratiques d'élevages et de situations sanitaires pour confirmer cette observation.

Les facteurs de stress chronique associés à la concentration de cortisol pileire sont encore peu étudiés en élevage. Le cortisol pileire est aujourd'hui un indicateur plus fréquemment utilisé chez l'humain, notamment dans des études de psychoneuroendocrinologie (Russell *et al.*, 2012 ; Ouellet-Morin *et al.*, 2021).

Les études récentes réalisées en élevage concernent pour l'instant principalement la synthèse des connaissances disponibles (Heimbürge *et al.*, 2019) ou l'identification de biais existant dans la mesure de la concentration de cortisol pileire (Otten *et al.*, 2021, 2022). Gavaud *et al.* (2022) ont comparé le cortisol pileire dans deux lots de porcs : l'un dans un système « alternatif » (*i.e.* pratiques supposées améliorer le bien-être des porcs comme l'absence de caudectomie ou une sociabilisation précoce) et l'autre « standard ». A 66 jours d'âge, les porcs en système « alternatif » présentaient une concentration de cortisol pileire supérieure à celles des porcs élevés en système « standard » (médianes de 53,4 vs 39,9 pg/mg). Cette différence de concentration de cortisol pileire pouvait être liée par la présence de caudophagie liée à l'absence de caudectomie dans le lot alternatif. Les résultats de Gavaud *et al.* (2022) illustrent le caractère multifactoriel du stress chronique. L'étude du cortisol pileire doit donc être poursuivie en élevage afin de déterminer s'il peut être un indicateur pour identifier des pratiques d'élevage exposant les animaux à moins de facteurs de stress. CONCLUSION Il existe des variabilités de la concentration de cortisol pileire intra-bande, inter-bandes et inter-élevages. La variabilité intra-bande tend à être élevée dans certains élevages lorsque la concentration de cortisol pileire est élevée. La variabilité de la concentration de cortisol pileire inter-bandes fait que la description de la concentration de cortisol pileire d'une seule bande peut ne pas être suffisante pour décrire la variabilité des concentrations dans un élevage. Enfin, la présence de variabilité de la concentration de cortisol pileire inter-élevages confirme l'intérêt d'étudier le stress chronique en élevage porcin via ce biomarqueur pour identifier des pratiques d'élevages exposant les porcs à moins de facteurs de stress. Dans cette perspective, il est nécessaire de produire de nouvelles connaissances en réalisant des études longitudinales décrivant les pratiques d'élevage et la cinétique d'accumulation du cortisol dans les soies.

REMERCIEMENTS

Ces travaux de recherche ont été réalisés dans le cadre du projet UE-Chine HealthyLivestock. HealthyLivestock est financé par le programme de recherche et d'innovation H2020 de l'Union européenne sous le numéro de contrat 773436. Le soutien de la Commission européenne à la production de cette publication ne constitue pas une approbation du contenu, qui ne reflète que les opinions des auteurs, et la Commission ne peut être tenue responsable de l'utilisation qui pourrait être faite des informations qu'elle contient.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ashley N.T., Barboza P.S., Macbeth B.J., Janz D.M., Cattet M.R.L., Booth R.K., Wasser S.K., 2011. Glucocorticosteroid concentrations in feces and hair of captive caribou and reindeer following adrenocorticotrophic hormone challenge. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 172, 382–391.
- Bacci M.L., Nannoni E., Govoni N., Scorrano F., Zannoni A., Forni M., Martelli G., Sardi L., 2014. Hair cortisol determination in sows in two consecutive reproductive cycles. *Reprod. Biol.*, 14, 218–223.
- Bergamin C., Comin A., Corazzin M., Faustini M., Peric T., Scollo A., Gottardo F., Montillo M., Prandi A., 2019. Cortisol, DHEA, and Sexual Steroid Concentrations in Fattening Pigs' Hair. *Animals*, 9, 345.
- Carroll G.A., Boyle L.A., Hanlon A., Palmer M.A., Collins L., Griffin K., Armstrong D., O'Connell N.E., 2018. Identifying physiological measures of lifetime welfare status in pigs: exploring the usefulness of haptoglobin, C-reactive protein and hair cortisol sampled at the time of slaughter. *Ir. Vet. J.*, 71, 8.
- Casal N., Manteca X., Peña L.R., Bassols A., Fàbrega E., 2017. Analysis of cortisol in hair samples as an indicator of stress in pigs. *J. Vet. Behav.*, 19, 1–6.
- Davenport M.D., Tiefenbacher S., Lutz C.K., Novak M.A., Meyer J.S., 2006. Analysis of endogenous cortisol concentrations in the hair of rhesus macaques. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 147, 255–261.

- Gavaud S., Haurogne K., Buchet A., Garcia-Vinado I., Allard M., Leblanc-Maridor M., Bach J.-M., Belloc C., Lieubeau B., Herve J., 2022. Comment améliorer les pratiques de sevrage en élevage commercial de porcs ? : conséquences sur la santé et le bien-être des animaux. Journées Rech. Porcine, 54, 281-286.
- González-de-la-Vara M. del R., Valdez R.A., Lemus-Ramirez V., Vázquez-Chagoyán J.C., Villa-Godoy A., Romano M.C., 2011. Effects of adrenocorticotrophic hormone challenge and age on hair cortisol concentrations in dairy cattle. *Can. J. Vet. Res.*, 75, 216–221.
- Heimbürge S., Kanitz E., Otten W., 2019. The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 270, 10–17.
- Heimbürge S., Kanitz E., Tuchscherer A., Otten W., 2020. Within a hair's breadth – Factors influencing hair cortisol levels in pigs and cattle. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 288, 113359.
- Meyer J.S., Novak M.A., 2012. Minireview: hair cortisol: a novel biomarker of hypothalamic-pituitary-adrenocortical activity. *Endocrinology*, 153, 4120–4127.
- Otten W., Bartels T., Heimbürge S., Tuchscherer A., 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*, 15, 100230.
- Otten W., Heimbürge S., Tuchscherer A., 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*, 16, 100495.
- Ouellet-Morin I., Cantave C., Lupien S., Geoffroy M.-C., Brendgen M., Vitaro F., Tremblay R., Boivin M., Côté S., 2021. Cumulative exposure to socioeconomic and psychosocial adversity and hair cortisol concentration: A longitudinal study from 5 months to 17 years of age. *Psychoneuroendocrinol.*, 126, 105153.
- Russell E., Koren G., Rieder M., Van Uum S., 2012. Hair cortisol as a biological marker of chronic stress: Current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinol.*, 37, 589–601.