

Suivi du comportement de couchage des porcelets en post-sevrage par un outil d'analyse d'image en temps réel en présence ou absence de clinique grippale récurrente dans trois élevages bretons

Claudio TROMBANI (1), Léo RICHER (2), Maëli BRUNON (3)

(1) BREIZHPIG SCOP SAS, Rue du Pontic, 29400 Landivisiau, France

(2) COPEEKS SAS, 4 Rue Andrée Marie Ampère, 22300 Lannion, France

(3) EVEL'UP, ZA du Vern, 29400 Landivisiau, France

c.trombani@breizhpig.com

Suivi du comportement de couchage des porcelets en post-sevrage par un outil d'analyse d'image en temps réel en présence ou absence de clinique grippale récurrente dans trois élevages bretons

Les virus influenza A responsables de la Grippe chez le porc peuvent provoquer des formes enzootiques d'infection caractérisées par une persistance de ces virus à l'échelle du troupeau et infectant systématiquement toutes les bandes de porcs en croissance à un âge fixe. Ces infections grippales « récurrentes » sont fréquentes chez les porcelets de 5 à 8 semaines d'âge. La maîtrise de la clinique associée est un enjeu majeur pour l'éleveur, mais le suivi des signes cliniques peut se révéler difficile. L'analyse d'images est une branche de l'apprentissage automatique utilisée en divers domaines d'application vétérinaires. Lors de cet essai, un outil d'analyse d'images en temps réel capable de reconnaître des animaux potentiellement malades sur la base de leur comportement, a été utilisé. L'essai a eu lieu dans trois élevages naisseur-engraisseur bretons, deux affectés par les virus de la Grippe en post-sevrage (PS) et un élevage « témoin », sans clinique évocatrice de grippe. Dans chacun de ces élevages, des caméras ont été installées dès le sevrage et pendant deux bandes consécutives. Les images ont été analysées par un algorithme qui a été programmé sur la base d'un apprentissage supervisé préalable, lui permettant d'identifier des animaux couchés ou debout à un endroit prédéfini de la case. Le traitement du contenu de ces images a montré une différence significative dans l'occupation des espaces des animaux en absence ou présence de signes cliniques, avec une augmentation particulière du nombre de porcs couchés en présence de clinique respiratoire, événement qui ne s'est pas vérifié dans l'élevage « témoin ». Cet outil a donc montré sa capacité et son intérêt dans la détection de la clinique respiratoire récurrente en PS.

Monitoring piglet resting behavior after weaning using real-time image analysis in the presence or absence of clinical signs of recurrent influenza in three farrow-to-finish farms in Brittany

Swine Influenza A viruses (SIV) responsible for swine flu can cause enzootic forms of infection that are characterized by herd-wide persistence of these viruses that systematically infect all batches of growing pigs of the same age. These "recurrent" influenza infections are common in piglets from 5-8 weeks of age. Controlling the associated clinical signs is a major issue for farmers, but monitoring them can be difficult. Image analysis is a branch of machine learning used in a variety of veterinary applications. In this trial, we used real-time image analysis that can recognize potentially sick animals based on their behavior. The trial was performed in three farrow-to-finish farms, two affected by SIV in the post-weaning period (PW) and one "control" farm without clinical signs of SIV. On each of these farms, cameras were installed from weaning and for two consecutive bands. The subsequent images were analyzed by an algorithm that was programmed based on prior supervised learning, which allowed it to identify animals lying or standing at a predefined location in the box. Analysis of the content of these images showed a statistically significant difference in the occupation of spaces in the absence or presence of clinical signs, with a particular increase in the number of pigs lying down in the presence of respiratory clinical sign, an event that was not present on the "control" farm. This tool has thus shown its ability and utility for detecting recurrent respiratory clinical signs during the PW period.

INTRODUCTION

Les virus influenza A porcins (VIP) responsables de la Grippe porcine peuvent provoquer des formes enzootiques d'infection. Ces formes sont caractérisées par une persistance des VIP à l'échelle du troupeau, infectant systématiquement toutes les bandes de porcs en croissance à un âge fixe (Simon-Grife *et al.*, 2012 ; Rose *et al.*, 2013). Ces infections grippales répétées provoquent un syndrome grippal proche de la grippe humaine, associant une importante hyperthermie, apathie, anorexie, de la toux, souvent un retard de croissance. Elles revêtent une importance considérable pour la filière porcine en raison de leur implication en tant que cofacteur majeur du complexe respiratoire porcine (Deblanc *et al.*, 2012 ; Fablet *et al.*, 2013), qui occasionne des pertes économiques importantes.

Ces infections grippales « récurrentes » sont fréquentes chez les porcelets de 5 à 8 semaines d'âge (Cador *et al.*, 2016 a, b, ; Hervé *et al.*, 2018). La maîtrise de la clinique associée est un enjeu majeur pour l'éleveur mais la surveillance régulière des signes peut se révéler difficile notamment lorsque la pathologie se manifeste les premières fois.

L'analyse d'images est une branche de l'apprentissage automatique qui a fait ses preuves en divers champs d'application vétérinaires (Borchers *et al.*, 2017 ; Cihan *et al.*, 2017 ; Valletta *et al.*, 2017 ;). En effet, le suivi du comportement en temps réel des animaux dans les élevages ouvre de nouvelles voies à de multiples applications dont la détection précoce et un meilleur contrôle des maladies (Matthews *et al.*, 2016).

Les récents progrès en intelligence artificielle et en vision numérique ouvrent de nouvelles voies à l'analyse du comportement animal et permettent notamment d'identifier le niveau d'activité d'un groupe d'animaux et leur répartition dans l'espace. Les données collectées en élevage sont enregistrées en temps réel et mises à disposition de l'éleveur via une interface utilisateur. Elles peuvent être également analysées et utilisées pour l'automatisation, la prise de décision ou comme outil de diagnostic vétérinaire (Labrecque *et al.*, 2020).

La détection précoce des maladies dont les pathologies respiratoires comme la grippe récurrente semble être un bon compromis en matière de santé et de bien-être animal. En élevage porcine, lors de la détection de pathologie, une intervention rapide de l'éleveur est essentielle afin d'améliorer l'efficacité du traitement et de réduire l'impact sur le bien-être, les performances zootechniques et la santé des animaux.

Les changements de comportement qui précèdent ou accompagnent les signes subcliniques et cliniques peuvent avoir une valeur diagnostique. Ces changements peuvent être de différentes formes : changements dans les comportements d'alimentation, d'abreuvement, les comportements sociaux, ainsi que la locomotion et la posture. Ces changements subtils de comportement ne sont pas faciles à quantifier et nécessitent de longues observations de la part du personnel, ce qui n'est pas toujours évident. Les systèmes d'alerte précoce automatisés peuvent donc fournir une alternative en mesurant objectivement le comportement avec des capteurs pour surveiller et détecter automatiquement les changements de comportement (Matthews *et al.*, 2016).

La présente étude vise à tester l'intérêt d'un outil d'analyse d'image en temps réel capable de reconnaître des animaux potentiellement malades en post sevrage par leur comportement via le suivi de trois élevages présentant ou pas une clinique respiratoire récurrente.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental : Description des élevages

L'essai a eu lieu dans trois élevages naisseur-engraisseur bretons, deux affectés par les virus de la Grippe en post-sevrage (PS) et un élevage « témoin », sans circulation virale grippale :

- Elevage « A » (atteint) : naisseur-engraisseur de 650 truies conduit en 10 bandes de 65 truies ; les porcelets sont sevrés à 21 jours d'âge et sont logés dans des cases de 28 animaux ;
- Elevage « B » (atteint) : naisseur-engraisseur de 220 truies conduit en sept bandes de 32 truies ; les porcelets sont sevrés à 28 jours d'âge et sont logés en post sevrage à 33 jours d'âge dans des cases de 25 animaux ;
- Elevage « C » (contrôle) : naisseur-engraisseur de 600 truies conduites en 20 bandes de 30 truies ; les porcelets sont sevrés à 21 jours et sont logés dans des cases de 25 animaux.

L'élevage A est historiquement affecté par les virus de la Grippe (H1N1 et H1N2) qui en post sevrage se manifeste entre 6 et 8 semaines d'âge de façon récurrente. Le diagnostic de laboratoire (PCR et RT-PCR multiplex sur surnageant d'écouvillons naseaux selon protocole RESAVIP) réalisé avant l'inclusion a permis de confirmer la présence du virus lors d'épisodes cliniques caractéristiques.

L'élevage B présente une clinique respiratoire récurrente en post sevrage entre 5 et 8 semaines, d'apparition récente. Au moment de la réalisation de l'essai, cette clinique respiratoire n'était pas encore déterminée par un diagnostic de certitude à cause de la détection tardive des signes cliniques. Ceci ne permettait pas, selon le vétérinaire responsable du suivi, d'intervenir au moment opportun pour la réalisation de prélèvements pertinents.

L'élevage C n'a pas été sujet à des problématiques respiratoires particulières en post sevrage dans les trois dernières années et une visite préalable à l'inclusion a été réalisée avec pour objectif de garantir l'absence de clinique notable.

1.2. Description de la collecte des données

Dans chacun de ces élevages, des boîtiers Copeeks® dotés de caméras avec une optique de précision ont été installés dès l'entrée des porcelets dans une salle de post sevrage pendant la durée de leur présence sur une bande. Les images ont été analysées par un algorithme qui a été programmé sur la base d'un apprentissage supervisé préalable, lui permettant d'identifier des animaux couchés ou debout à un endroit prédéfini de la case (zone d'intérêt).

La zone d'intérêt a été déterminée sur la base des critères de jugement de l'éleveur et de l'équipe de suivi (Figure 1) en partant de l'idée que les animaux malades ont tendance à se coucher aux extrémités des cases (abattement, recherche du frais).



Figure 1 – Exemples de représentation des « zones de couchage » correspondant aux « zones d'intérêt » (zones indiquées en rose)

L'algorithme a été testé à l'aide d'images dans lesquelles des porcelets étaient debout ou couchés dans la zone d'intérêt. Le tableau 1 présente la matrice de confusion obtenue à partir des prédictions de l'algorithme.

Cette matrice permet de comparer les prédictions de l'algorithme avec la réalité. L'algorithme a correctement identifié la posture des porcelets dans 7867 cas et des erreurs ont été constatées dans 830 cas sur un total 8697 cas.

Tableau 1 - Matrice de confusion pour l'algorithme de détection des porcelets dans la zone d'intérêt

Prédiction correcte de la posture du porcelet	Porcelet couché/debout dans la zone d'intérêt	Porcelet non présent dans la zone d'intérêt
Positive	7132	313
Négative	517	735

A partir de ces résultats, trois indicateurs sont calculés afin de mesurer la fiabilité de l'algorithme : la sensibilité (capacité à détecter correctement la position), la spécificité (capacité à détecter correctement l'absence de la position) et la précision (ratio des vrais positifs sur l'ensemble des éléments prédits comme positifs (vrais positifs et faux positifs)) de l'algorithme.

Pour cet algorithme, la sensibilité est de 93,2 %, la spécificité est de 58,7 % et la précision est de 95,8 %. L'algorithme donne donc des résultats corrects pour la détection des porcelets couchés ou debout dans la zone d'intérêt.

Chaque caméra, positionnée en hauteur, pouvait avoir une case de porcelets dans son champ de vision. Les caméras ont enregistré des photos à intervalles réguliers (intervalle de 5 minutes). Les images ont uniquement été enregistrées durant la principale période d'activité des animaux (14h-18h), déterminée sur la base du suivi de consommation d'eau par des compteurs connectés réalisé pendant 1 mois avant l'inclusion de l'élevage A.

Les images enregistrées sont transmises en 4G vers un cloud et ensuite sur une plateforme web qui stocke les photos. Les équipements de connectivité (modem 4G) sont connectés en USB à l'ordinateur contenu dans le boîtier. L'ordinateur communique avec une plateforme pour recevoir des ordres venant de l'utilisateur, afin de modifier son comportement en fonction du contexte.

La plateforme permet de dessiner une zone d'intérêt sur une photo, pour faire correspondre des zones de l'image, avec les bords de la case où sont les animaux. Cette zone d'intérêt a été appliquée automatiquement sur toutes les nouvelles photos.

A chaque photo, une tâche est créée et envoyée sur le cloud. En suit la récupération de la nouvelle photo, l'insertion de la zone d'intérêt et l'analyse par l'algorithme permettant d'identifier les porcs et de les discriminer en fonction de leur position. Le système renvoie à la plateforme le résultat de l'analyse (nombre d'animaux couchés dans chaque zone d'intérêt et nombre total d'animaux). L'ensemble de ces actions est réalisé automatiquement par le logiciel possédant l'algorithme.

Pour les trois élevages la collecte de données regroupe :

- Elevage A (atteint) : 5520 images prises sur une période allant du 22 mai 2019 au 10 Juillet 2019 à raison d'une moyenne de 122 images réalisées par jour. Deux caméras ont été installées, permettant de suivre quatre cases simultanément.
- Elevage B (atteint) : 4126 images prises sur une période allant du 25 août 2020 au 28 Septembre 2020 à raison d'une moyenne de 141 images réalisées par jour. Une caméra a été installée, permettant de suivre une case.
- Elevage C (contrôle) : 2455 images prises sur une période allant du 22 janvier 2020 au 19 Mars 2020 à raison d'une moyenne de 129 images réalisées par jour. Une caméra a été installée, permettant de suivre deux cases simultanément.

1.3. Division de la phase de post sevrage en trois périodes

A partir de la littérature et des expériences terrain (Trombani *et al.*, 2019), la phase de présence des porcelets en post sevrage a pu être divisée en trois périodes :

- La période 1 d'une durée de 10 jours fait référence à la phase d'adaptation des animaux en post-sevrage (Orgeur *et al.*, 1998).
- La période 3 débute à partir du moment où l'éleveur ou le vétérinaire de suivi de l'élevage remarque la présence d'animaux manifestant un comportement pouvant évoquer l'expression de la pathologie. Cette période se termine le jour de l'entrée en engraissement. Pour l'élevage A, un prélèvement de fluides oraux a été réalisé lors de la détection du démarrage de la clinique par l'éleveur (à 52 jours d'âge des animaux) dans les quatre cases suivies en posant deux cordes dans chaque case (une corde pour 14 animaux). La PCR individuelle Grippe a été réalisée sur les huit fluides oraux par pool de deux (chaque pool représentant une case) et a donné un résultat positif. Pour l'élevage B, la surveillance rapprochée de l'évolution du ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case a permis au vétérinaire d'intervenir au moment opportun (à 48 jours d'âge des animaux) pour la réalisation des prélèvements permettant une mise en évidence de la pathologie respiratoire
- La période 2 a été déterminée par défaut entre la fin de la période 1 et le début de la période 3.

Concernant l'élevage C, le début de la période 3 a été déterminé à l'aide de la bibliographie concernant l'âge fréquent de détection de la clinique grippale récurrente en post sevrage c'est-à-dire entre 5 et 8 semaines d'âge (Cador *et al.*, 2016 a, b).

1.4. Analyses statistiques

La variable « ratio du nombre de porcelets couchés sur nombre total de porcelets de la case » a été créée à partir du nombre d'individus couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre d'animaux présents dans la case. Ce nombre d'individus a été déterminé automatiquement pour chaque image par le logiciel d'analyse. Cette valeur permet de suivre avec plus de précision l'évolution du nombre d'individus couchés dans la zone d'intérêt prédéfinie.

Pour les analyses statistiques, une moyenne du « ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case » a été calculée par case et par période.

La case constitue l'unité expérimentale. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 3.6.0). Pour les élevages A et C, une analyse de la variance (ANOVA) sur mesures répétées a été réalisée intra élevage en prenant comme effet fixe le temps (les périodes) et comme effet aléatoire la case. Pour l'élevage B, les données ont également été traitées par ANOVA avec le temps (les périodes) comme effet fixe. Un test de Tukey a ensuite permis de comparer les moyennes deux à deux entre périodes. Les résultats sont considérés comme significatifs à $P < 0,05$.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Evolution du « ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case » des trois élevages étudiés

2.2.1 Elevage A

Pour l'élevage A, les animaux ont manifesté un comportement pouvant évoquer l'expression de pathologie respiratoire à 7,5 semaines d'âge, ce qui est en adéquation avec la littérature (Cador *et al.*, 2016 a et b).

Tableau 2 - Effet de la période sur le ratio « porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case » pour l'élevage A

Période	Nombre d'images par groupe	Durée de la période (jours)	Moyennes brutes du ratio ¹
Période 1	2064	10	0,06 a
Période 2	2470	22	0,13 b
Période 3	986	18	0,17 c
ETR ²			0,012
Analyse statistique			$P < 0,001$ Tukey $P < 0,05$

¹Ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case.²ETR : Ecart-type résiduel ; les valeurs non suivies d'une même lettre sont différentes pour le test de Tukey.

Le traitement statistique montre une différence significative de la moyenne du ratio nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total d'animaux dans les cases entre la période 2, en absence présumé de signes cliniques, et

la période 3 qui est caractérisée par la présence de la clinique grippale (Tableau 2, Figure 2).

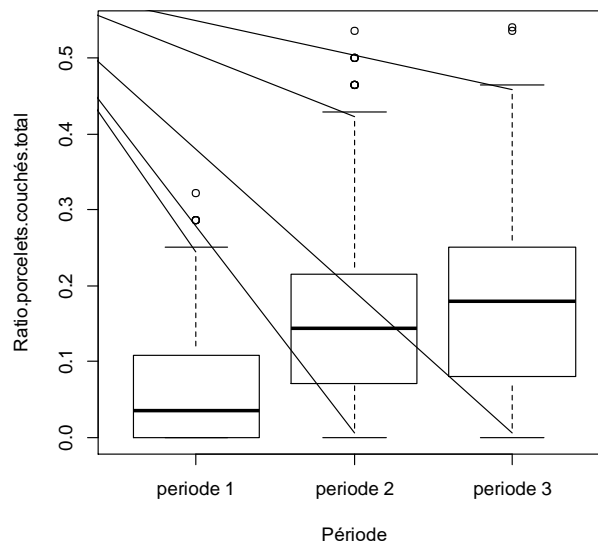


Figure 2 – Diagramme en boîte du ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case en fonction des différentes périodes pour l'élevage A

2.2.2 Elevage B

En ce qui concerne l'élevage B, la détection tardive des symptômes évocateurs de pathologie respiratoire par l'éleveur n'avait pas encore permis au vétérinaire de suivre de l'élevage d'établir un diagnostic de certitude de présence de grippe récurrente en post sevrage par la réalisation de prélèvements. Cependant, grâce à la mise en place de l'outil d'analyse d'image dans le cadre de cette étude, le vétérinaire, via le suivi quotidien du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt, a pu intervenir au moment adéquat pour confirmer la présence de grippe dans cet élevage. L'intervention du vétérinaire a été déclenchée par une augmentation brutale du nombre de porcelets couchés au niveau de la zone d'intérêt. En effet, en 24 heures, le ratio du nombre de porcelets couchés sur le nombre total de porcelets dans la case est passé de 0,24 à 0,72. Le ratio a donc triplé en 24h.

Tableau 3 - Effet de la période sur le ratio « porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case » pour l'élevage B

Période	Nombre d'images par groupe	Durée de la période (jours)	Moyennes brutes du ratio ¹
Période 1	336	10	0,13 a
Période 2	475	7	0,32 b
Période 3	3315	35	0,40 c
ETR ²			0,059
Analyse statistique			$P < 0,001$ Tukey $P < 0,05$

¹Ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case.²ETR : Ecart-type résiduel ; les valeurs non suivies d'une même lettre sont différentes pour le test de Tukey.

Le modèle statistique a également permis de mettre en évidence un effet de la période sur le « ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case ». L'évolution du ratio entre période est

identique à celle constatée au niveau de l'élevage A. En effet, une différence significative est également constatée entre la période 2 et la période 3. (Tableau 3, Figure 3)

Pour cet élevage, les animaux ont manifesté un comportement pouvant évoquer l'expression de pathologie respiratoire à 6,8 semaines d'âge.

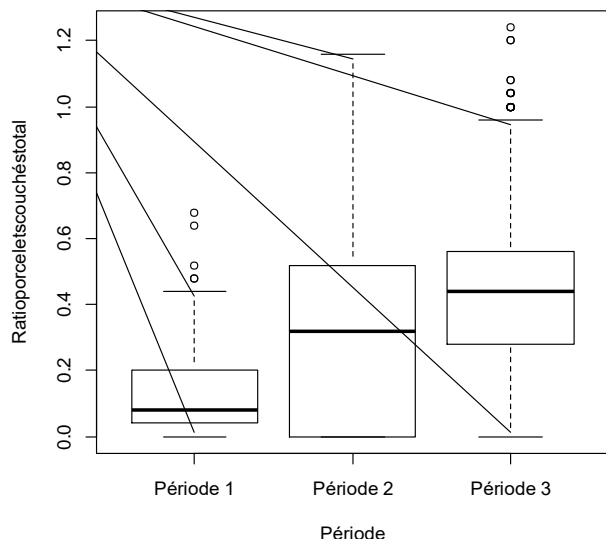


Figure 3 – Diagramme en boîte du ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets en fonction des différentes périodes pour l'élevage B

L'outil d'analyse d'image a permis de détecter l'augmentation du nombre de porcs couchés dans la zone d'intérêt au fil des jours pendant les trois périodes avec une augmentation particulière de ce nombre de porcelets couchés au moment où le vétérinaire a observé la clinique respiratoire.

Dans les élevages « atteints », l'augmentation du nombre d'animaux couchés au niveau de la zone d'intérêt peut être une conséquence possible de la clinique grippale.

2.2.3 Elevage C

Tableau 4 - Effet de la période sur le ratio « porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case » pour l'élevage C

	Nombre d'images par groupe	Durée de la période (jours)	Moyennes brutes du ratio ¹
Période 1	532	10	0,28 ab
Période 2	698	18	0,3 a
Période 3	1225	24	0,26 b
ETR ²			0032
Analyse statistique			P < 0,01 Tukey P < 0,05

¹Ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets dans la case ; ²ETR : Ecart-type résiduel ; les valeurs non suivies d'une même lettre sont différentes pour le test de Tukey.

Pour l'élevage C, non concerné par de la clinique respiratoire en post sevrage, le modèle statistique n'a pas permis de mettre en évidence une augmentation du « ratio du nombre porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre de

porcelets total » entre la période 1 et 3 ainsi qu'entre la période 1 et 2 contrairement à ce qui a été constaté au niveau des élevages « atteints » (Tableau 4, Figure 4).

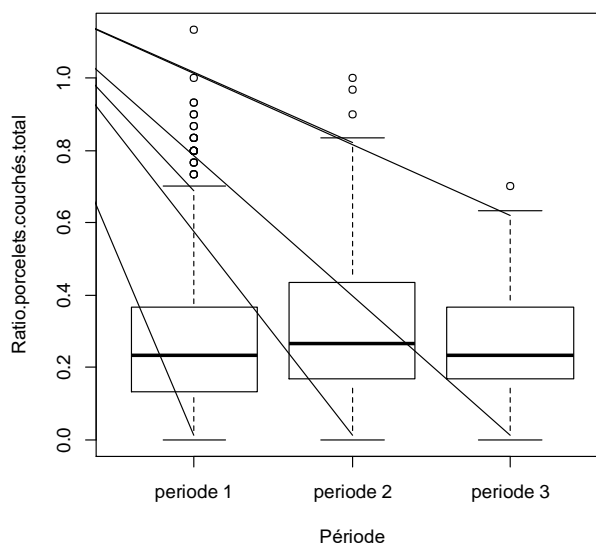


Figure 4 – Diagramme en boîte du ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre total de porcelets en fonction des différentes périodes pour l'élevage C

Afin de confirmer notre hypothèse de capacité de détection de la clinique grippale récurrente en élevage porcin, d'autres facteurs pouvant potentiellement expliquer cette évolution du ratio du nombre de porcelets couchés dans la zone d'intérêt sur le nombre de porcelets total dans la case ont été explorés.

Tout d'abord, la densité et la surface par animal sont équivalentes dans les trois élevages suivis lors de cet essai. Dans ces trois élevages, les bâtiments de post sevrage présentent une gestion de la ventilation centralisée. La bonne gestion de la ventilation a été contrôlée au préalable de l'essai dans les trois bâtiments afin d'assurer un réglage identique et conforme aux normes zootechniques.

En ce qui concerne l'alimentation, la présentation de l'aliment est identique également pour les trois élevages (présentation de l'aliment sous forme de farine avec un accès au nourrisseur de 4 cm par porcelet). Les aliments utilisés dans le cadre de cet essai dans les trois élevages présentent une formulation identique (valeurs nutritionnelles et profil de matières premières). La courbe d'alimentation est également identique et permet une alimentation *ad libitum*.

Le nombre d'abreuvoir par porc ainsi que le débit de ces abreuvoirs ont également été vérifiés dans les trois élevages et sont conformes aux exigences zootechniques.

Cette absence de différence de pratique dans les trois élevages suivis lors de cet essai conforte le bon fonctionnement de l'outil d'analyse d'images.

CONCLUSION

L'outil a montré sa capacité à détecter une augmentation du nombre d'animaux couchés aux extrémités des cases au niveau de la zone d'intérêt, à la recherche d'endroits frais, manifestation clinique pouvant évoquer une infection grippale. Ces derniers essais en élevages atteints ou pas par de la clinique respiratoire récurrente ont été utiles pour conforter la robustesse de l'outil ; l'idée étant que ce système puisse devenir une aide pour l'éleveur dans l'optimisation du suivi en

élevage autant par l'éleveur que par le vétérinaire et les conseillers techniques.

Dans un second temps, des travaux futurs viseront à déterminer des systèmes d'alerte précoce. Ces derniers pourraient avoir plusieurs utilités dont notamment la formation des éleveurs à la reconnaissance des signes précoces de maladie.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement les éleveurs, Stéphanie Bougeard de l'ANSES Ploufragan ; Mélanie Liber de la société vétérinaire BREIZHPIG à Landivisiau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Borchers M.R., Chang Y. M., Proudfoot K.L., Wadsworth B.A., Stone A. E., Bewley J. M., 2017. Machine-learning-based calving prediction from activity, lying, and ruminating behaviors in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 100, 5664-5674.
- Cador C., S Hervé, M Andraud, S Gorin, F Paboeuf, N Barbier, S Queguiner, C Deblanc, G Simon, N Rose, 2016a. Maternally-derived antibodies do not prevent transmission of swine influenza A virus between pigs. *Vet. Res.*, 47, 86.
- Cador C., N Rose, L Willem, M Andraud. 2016b, Maternally derived immunity extends swine influenza A virus persistence within farrow-to-finish pig farms: insights from a stochastic event-driven metapopulation model. *PLoS One*, 11 (9), e0163672.
- Cihan P., E Gökçe, O Kalipsiz. 2017, A review of machine learning applications in veterinary field. *J. Fac. Vet. Med., Kafkas University*, 23, 673-680.
- Deblanc C., Gorin S., Quéguiner S., Gautier-Bouchardon A.V., Ferré S., Amenna N., Cariolet R., Simon G., 2012. Pre-infection of pigs with *Mycoplasma hyopneumoniae* modifies outcomes of infection with European swine influenza virus of H1N1, but not H1N2, subtype. *Vet. Microbiol.*, 157, 96-105.
- Fablet C., Simon G., Dorenlor V., Eono F., Eveno E., Gorin S., Quéguiner S., Madec F., Rose N., 2013. Different herd level factors associated with H1N1 or H1N2 influenza virus infections in fattening pigs. *Prev. Vet. Med.*, 112, 257-265.
- Hervé S., Deblanc C., Gorin S., Cador C., Andraud M., Queguiner S., Barbier N., Paboeuf F., Rose N., Simon G., 2018. Infection grippale en post-sevrage : impact de l'âge et interférence de l'immunité passive du porcelet sur les paramètres cliniques, virologiques et sérologiques après challenge par un virus H1N1. *Journées Rech. Porcine*, 50, 189-194.
- Labrecque J., Gouineau F., Rivest J., Germain G., 2020. Suivi individuel des porcs et collecte de métriques comportementales en temps réel avec des caméras de sécurité. *Journées Rech. Porcine*, 52, 379-384.
- Matthews S.G., Miller A.L., Clapp J., Plotz T., Kyriazakis I., 2016. Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs. *Vet. J.*, 217, 43-51.
- Orgeur P., Chéreau E., Levy F., Nowak R., Panthou K., Shaal B., Venturi E., 1998. Conséquences comportementales d'un sevrage ultra-précoce chez le porcelet Large-White. *Journées Rech. Porcine*, 30, 383- 388.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rose N., Hervé S., Eveno E., Barbier N., Eono F., Dorenlor V., Andraud M., Camsusou C., Madec F., Simon G., 2013. Dynamics of influenza a virus infections in permanently infected pig farms: Evidence of recurrent infections, circulation of several swine influenza viruses and reassortment event s. *Vet. Res.*, 44 (1), 72.
- Simon-Grife M., Martin-Valls G.E., Vilar M.J., Busquets N., Mora-Salvatierra M., Bestebroer T.M., Fouchier R.A., Martin M., Mateu E., Casal J., 2012. Swine influenza virus infection dynamics in two pig farms; results of a longitudinal assessment. *Vet. Res.*, 43, 24.doi: 10.1186/1297-9716-43-24
- Trombani C., Richer L., Brunon M., 2019. Suivi de la clinique grippale récurrente en post sevrage : intérêt d'un outil d'analyse d'image en temps réel. *Proc. Congrès de l'Association Vétérinaire de Médecine Vétérinaire Porcine*, Rennes, pp. 103-104.
- Valletta J.J., Torney C., Kings M., Thornton A., Madden J., 2017. Applications of machine learning in animal behaviour studies. *Anim. Behav.*, 124, 203-220.