



Prédiction de la température corporelle de truies gestantes à l'aide d'une caméra thermique

Maëva Durand, Patrick Gagnon, Laetitia Cloutier, Gabrielle Dumas,
Jean-Frederic Guay, Jean-Yves Dourmad, Charlotte Gaillard

► To cite this version:

Maëva Durand, Patrick Gagnon, Laetitia Cloutier, Gabrielle Dumas, Jean-Frederic Guay, et al.. Prédiction de la température corporelle de truies gestantes à l'aide d'une caméra thermique. 55. Journées de la Recherche Porcine (JRP), INRAE; Ifip, Jan 2023, Saint Malo, France. pp.371-376 | 698, 10.1016/j.anscip.2023.06.105 . hal-04047759

HAL Id: hal-04047759

<https://hal.inrae.fr/hal-04047759>

Submitted on 27 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



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

Prédiction de la température corporelle de truies gestantes à l'aide d'une caméra thermique

Maëva DURAND (1), Patrick GAGNON (2), Laetitia CLOUTIER (2), Gabrielle DUMAS (2), Frédéric GUAY (3),
Jean-Yves DOURMAD (1), Charlotte GAILLARD (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, Le Clos, 35590 Saint-Gilles, France

(2) Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ), 2590 bd Laurier, Québec, G1V 4M6, Canada

(3) Université Laval, Département des sciences animales, 2325 rue de l'Université, G1V 0A6, Québec, Canada

maeva.durand@inrae.fr

Avec la collaboration technique de Yannick Surel, Daniel Boutin de l'UE3P (France) et d'Éloïse Talbot-Pouliot, Allison Garand et Nancy Gendron du CDPQ (Canada)

Prédiction de la température corporelle de truies gestantes à l'aide d'une caméra thermique

La température corporelle est utilisée en élevage porcin afin de détecter des problèmes de santé, de bien-être ou des problèmes de thermorégulations. En pratique, elle est mesurée par un thermomètre rectal mais cette méthode est invasive pour l'animal et chronophage pour le manipulateur. La thermographie infrarouge présente de nombreux avantages et est en plein développement. Le but de cette étude était de prédire la température corporelle des truies au cours de leur gestation à l'aide d'une caméra thermique. L'étude comportait deux séries de mesures : une première réalisée en France sur 37 truies et une deuxième réalisée au Canada sur 109 truies. Les températures cutanées des truies ont été relevées à l'aide d'une caméra thermique mobile sur six zones : le globe oculaire, la base de l'oreille, le dos (rasé et non rasé), la vulve et entre les mamelles inguinales. Ces mesures ont été comparées à la température relevée à l'aide d'un thermomètre rectal, comme référence. De plus, la température et l'humidité relative de l'air ont été enregistrées à différents endroits des salles de gestation afin de calculer un index de température – humidité (THI). Les résultats ont montré une corrélation positive ($r = 0,31-0,32$, $P < 0,001$) entre les températures rectale et cutanée (toutes zones confondues), avec un effet du THI et des caractéristiques des truies (poids, condition corporelle, rang de portée). Les meilleurs modèles linéaires de prédictions ont pris en compte les températures de vulve, du dos rasé et de l'oreille avec des R^2 entre 0,41 et 0,63 et des RMSE inférieur à 0,5°C. Ces premiers résultats offrent des perspectives intéressantes pour prédire la température corporelle de la truie de manière non invasive.

Prediction of body temperature of gestating sows using a thermal camera

Body temperature is used on pig farms to detect health, welfare and thermoregulation problems. In practice, it is measured with a rectal thermometer, but this method is invasive for the animal and time consuming for the handler. Infrared thermography has many advantages and is currently being developed. The aim of this study was to predict the body temperature of sows during pregnancy using a thermal camera. The study consisted of two series of measurements: the first was carried out in France on 40 sows and the second in Canada on 109 sows. Skin temperature of the sows was taken using a mobile thermal camera on six areas: the eyeball, the base of the ear, the back (shaved and unshaven), the vulva and between the inguinal udders. These measurements were compared to the temperature taken with a rectal thermometer as a reference. In addition, temperature and relative humidity were recorded at different locations in the gestation rooms to calculate the temperature humidity index (THI). The results showed a positive correlation ($R = 0.31-0.32$, $P < 0.001$) between the rectal and skin temperatures (all areas combined), with an effect of the THI and sow characteristics. The best linear prediction models included the temperatures of the vulva, the shaved back and the base of ear, areas with R^2 between 0.41 and 0.63 and RMSE below 0.5°C. These initial results offer interesting prospects for predicting sow body temperature in a non-invasive and repeatable manner.

INTRODUCTION

La température corporelle des truies est un paramètre physiologique important, pouvant refléter une infection, une dérégulation thermique ou des événements physiologiques, tels que l'œstrus ou la parturition. La fièvre ou l'augmentation rapide de la température corporelle est un des principaux signes cliniques lors d'une inflammation ou d'une infection par un agent pathogène (Sorensen et Pedersen, 2015). Il est ainsi important de disposer des outils de suivi de la température corporelle des truies afin de surveiller leur état de santé. La mesure par caméra thermique est une méthode en développement, complémentaire au thermomètre rectal. Cette dernière est une mesure de référence chronophage qui peut augmenter le risque de propagation de pathogènes et aussi être stressante pour l'animal et l'observateur du fait de la manipulation et l'éventuelle contention du porc (Schmidt *et al.*, 2013).

La caméra thermique évalue la température cutanée à partir des émissions infrarouges du corps de l'animal, caractérisant les échanges de chaleur et la circulation sanguine, afin de déterminer la température corporelle. En effet, le porc ne transpire pas et il régule sa circulation sanguine périphérique afin de moduler les échanges thermiques avec l'air notamment sur certaines zones appelées « fenêtres thermiques » (Sorensen et Pedersen, 2015). Chez le porcelet nouveau-né, du fait de l'absence d'isolation, le corps entier constitue une fenêtre thermique et la température cutanée est entièrement homogène (Nielsen, 1997). Contrairement à la thermométrie infrarouge, la thermographie infrarouge (avec une caméra mobile, par exemple) présente l'avantage de détecter des anomalies et des différences de températures sur une surface et ainsi de pouvoir sélectionner des zones d'intérêts. La thermographie infrarouge est utilisée pour détecter des infections par des agents pathogènes (Islam *et al.*, 2015), de la fièvre (Cook *et al.*, 2015) ou des troubles digestifs (Wilcox, 2007). Toutefois, les études disponibles dans la bibliographie indiquent que la sensibilité des résultats varie selon les zones de mesures choisies et les conditions environnementales.

Le but de cette étude était de développer une méthode de prédiction de la température corporelle des truies gestantes à l'aide d'une caméra thermique (basée sur le principe de la thermographie infrarouge), en comparant différentes zones corporelles de mesures et en prenant en compte différents facteurs de variation. A la suite d'une étude préliminaire mesurant la température cutanée au niveau du dos, le choix a été fait de tester d'autres zones identifiées comme des fenêtres thermiques : le globe oculaire, la base de l'oreille, la vulve et la mamelle.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'étude comportait deux séries d'expérimentations : une première réalisée en France (expérimentation A) et une deuxième réalisée au Canada (expérimentation B ; Tableau 1).

1.1.1. Expérimentation A

L'étude portait sur 37 truies gestantes, croisées Large White x Landrace, issues de deux bandes de l'unité Expérimentale Physiologie et Phénotypage des Porcs (UE3P, INRAE, Rennes, France, doi : 10.15454/1.5573932732039927E12). Elles étaient logées en groupes de 17-20 animaux, à partir de 3 jours de

gestation, sur aire bétonnée partiellement paillée avec 3,1 m²/truie. Les truies étaient alimentées selon une stratégie d'alimentation de précision selon la méthode décrite par Gaillard *et al.* (2019) avec un mélange de deux aliments (un riche et un pauvre en nutriments).

La température de la salle de gestation a été modulée sur 4 semaines (à partir de 15 et 43 j de gestation selon la bande), avec une semaine « froide » en moyenne à 14 °C, une semaine « chaude » à 32 °C et deux semaines contrôles à 20 °C précédant les semaines « froide » et « chaude ». La période thermique froide a été obtenue en augmentant le niveau de ventilation minimal de 30 à 50 % et en ouvrant les fenêtres afin d'assurer une arrivée d'air froid dans la salle. La période thermique chaude a été obtenue à l'aide de deux chauffages additionnels et en abaissant le niveau maximal de ventilation de 100 à 80 %.

1.1.2. Expérimentation B

L'étude a porté sur 109 truies gestantes, croisées Large White x Landrace, issue de la maternité de recherche et de formation du CDPQ (Armagh, Québec, Canada). Elles étaient logées en groupe à partir de 35 j de gestation, dans deux parcs avec 2,45 m²/truie, sur caillebotis béton. Les truies étaient réparties de manière aléatoire entre cinq stratégies alimentaires (A, B, C, D et HT) décrites dans Galiot *et al.* (2023). La température de la salle de gestation n'a pas été modulée dans cet essai (en moyenne à 22,1°C) et est resté dans la zone de thermoneutralité de la truie.

Tableau 1 – Description des deux expérimentations (A et B).

	A	B
Périodes	02/2021	08/2021-10/2021
Nombre de truies	37	109
Nombre de bandes	2	1
Races	Large White x Landrace	
Température min, °C	13,1	18,5
Température max, °C	32,8	26,5
Humidité min, %	50,6	59,6
Humidité max, %	84,5	80,3
THI ¹ min	55,8	64,0
THI ¹ max	84,2	76,6
% Primipares	20	17
% Multipares	80	83
Poids truies moyen, kg	235,9	204,3

¹Index de température humidité, $THI = (1,8 \times T + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times HR) \times (1,8 \times T - 26)]$, où T est la température de l'air en °C et HR l'humidité relative de l'air en % (Weigner *et al.*, 2016).

1.2. Mesures expérimentales

1.2.1. Expérimentation A

Les truies ont été pesées à l'aide d'une bascule électronique (Schippers, Pays-Bas, précision à ± 0,5 kg) au début de chacune des périodes thermiques. Les températures cutanées des truies ont été mesurées journalièrement à l'aide d'une caméra thermique mobile (Teledyne FLIR, E60, Oregon, États-Unis) sur une zone du dos (au niveau de la colonne vertébrale, perpendiculairement à la dernière côte) préalablement rasée. Les photos étaient toujours prises à un mètre de distance. Ces mesures ont été comparées à la température relevée au même moment sur la truie à l'aide d'un thermomètre rectal (après désinfection), utilisée comme référence. La posture de la truie lors de la mesure (debout ou couchée) a été enregistrée.

1.2.2. Expérimentation B

Les truies ont été pesées à l'aide d'une bascule (Pennsylvania Scale Company, États-Unis, précision à ± 0,2 kg) lors de la mise

en groupe et à 90 j de gestation. Les mesures de températures cutanées (caméra thermique Teledyne FLIR, E86, Oregon, Etats-Unis) étaient relevées hebdomadairement sur cinq zones corporelles non rasées : le globe oculaire, la base à l'arrière de l'oreille, le dos (au niveau de la colonne vertébrale, perpendiculairement à la dernière côte), au milieu de la vulve et entre les mamelles inguinales (Figure 1). Les photos étaient toujours prises à un mètre de distance. Ces mesures ont été comparées à la température rectale comme dans l'expérimentation A et la posture de la truie a été également enregistrée. Des mesures ont été répétées 10 fois sur 11 truies sur une même journée afin de déterminer la répétabilité des mesures.

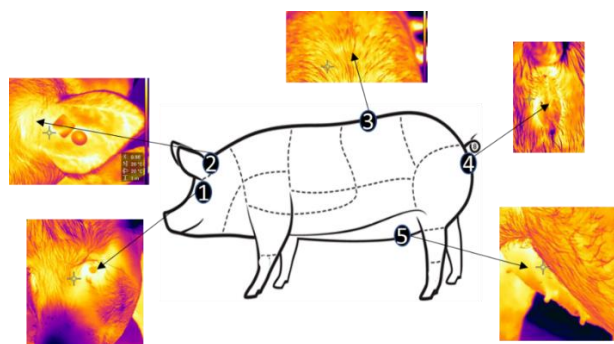


Figure 1 – Représentation schématique des zones où la température cutanée a été relevée par caméra thermique infrarouge (ir) : 1 : ir_oeil, 2 : ir_oreille, 3 : ir_dos, 4 : ir_vulve et 5 : ir_mamelle

1.2.3. Mesures environnementales

La température et l'humidité relative de l'air ont été enregistrées grâce à des capteurs (Lascar Electronics, Royaume-Uni, précision à $\pm 0,01$ °C) à différents endroits des salles de gestation, à 180 cm au-dessus du sol.

1.3. Extraction des données et analyses statistiques

Un total de 1447 images pour l'expérimentation A et 5733 pour la B ont été prises et analysées à l'aide du logiciel FLIR THERMAL STUDIO (Teledyne FLIR, Oregon, Etats-Unis) par le même observateur. L'émissivité de la peau, qui décrit sa capacité à émettre de l'énergie par radiation, était fixée à 0,97, comme déterminé dans l'étude de Sorensen *et al.* (2014). La température de l'air a été corrigée par celle enregistrée par les sondes au même moment. L'index THI (Temperature-Humidity Index) a été calculé à partir de l'équation suivante, déterminée par Wegner *et al.* (2016), où T est la température de l'air en °C et HR l'humidité relative de l'air en % :

$$THI = [(1,8 \times T) + 32] - [(0,55 \times (\frac{HR}{100})) \times [(1,8 \times T) + 32] - 58]$$

Les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel R studio (Version 4.1.2, R Core Team, 2022). Une première étape de pré-sélection des variables d'intérêt pour le modèle de prédiction a été réalisée comme suit. Des corrélations de Pearson ont été calculées entre les températures corporelles et les variables explicatives continues (poids, température et humidité de la salle de gestation). Des ANOVA ont été utilisées pour prédire l'effet des variables posture, rang de parité et de la zone de mesure sur les températures corporelles.

Puis, des modèles linéaires mixtes ont été construits afin de prédire la température rectale à partir de la température cutanée, séparément pour les truies primipares et multipares et pour chacune des zones de mesures cutanées. Ils prenaient en compte l'effet aléatoire de la truie et les effets fixes de THI (en

°C), du poids vif (en kg), de l'épaisseur de gras P2 (en mm), et de la posture de la truie (debout ou couchée). Trois modèles ont été construits pour prédire la température (rectale) de la truie avec les mesures de la caméra thermique : (A) l'un ne comprenant que les effets fixes, (B) un autre avec les effets fixes et interactions (avec la température cutanée), et le dernier (C) avec uniquement les effets et interactions significatives. Le meilleur modèle a été choisi à partir du package « performance » (Lüdtke *et al.*, 2021), en fonction de multiples indices de qualité et de prédiction (carré du coefficient de corrélation (R^2), écart quadratique moyen - RMSE, coefficient de corrélation intra-classe).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Corrélations entre températures corporelles

Les températures rectales avaient une gamme de variation entre 36,4 et 40,2 °C tandis que celle des températures cutanées étaient de 22,6 à 39,9 °C (Tableau 2). La zone de mesures cutanées influençait la température relevée ($P < 0,001$). Toutes les températures cutanées se distinguaient les unes des autres, sauf le dos non-rasé et le dos rasé ($P = 0,30$), ainsi que la mamelle et l'oreille ($P = 0,82$).

Tableau 2 – Moyenne, écart type et gamme de variation des températures corporelles des deux séries de mesures (expérimentation A et B).

	Expérimentation	Moyenne $\pm$ Ecart-type	Gamme [Min ; Max]
T_rectale, °C	A et B	38,0 $\pm$ 0,51	[36,4 ; 40,2]
Ir_oeil, °C	B	32,7 $\pm$ 1,48	[28,2 ; 37,7]
Ir_oreille, °C	B	34,3 $\pm$ 1,12	[30,7 ; 37,9]
Ir_dos, °C	B	31,7 $\pm$ 1,83	[25,2 ; 39,9]
Ir_dos rasé, °C	A	31,9 $\pm$ 3,23	[22,6 ; 31,9]
Ir_vulve, °C	B	34,7 $\pm$ 1,10	[30,3 ; 37,9]
Ir_mamelle, °C	B	34,2 $\pm$ 1,18	[30,5 ; 38,2]

En moyenne la température rectale est comparable aux valeurs mesurées dans la bibliographie (Sorensen et Pedersen, 2015). Toutefois la gamme des températures mesurées montre une certaine variabilité avec ponctuellement des valeurs supérieures à 39 °C symptomatiques de fièvre. Le minimum (36,4 °C) est un peu faible et pourrait provenir d'erreurs de mesure (faible pénétration du thermomètre). La variabilité des mesures de température cutanée est plus élevée que pour la température rectale, les variations les plus importantes étant observées pour la mesure au niveau de dos après rasage des soies.

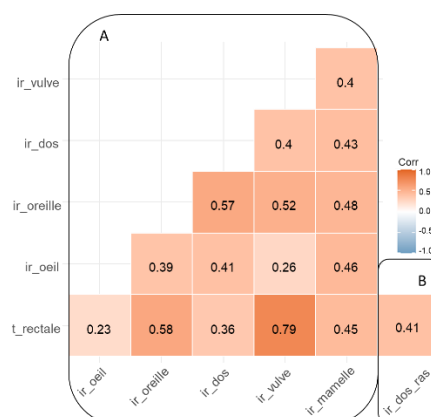


Figure 2 – Matrice des corrélations de Pearson ($P < 0,001$) pour les truies primipares entre les différentes températures corporelles des deux expérimentations (A et B).

La température rectale est positivement corrélée avec la température cutanée aussi bien chez les primipares ($r = 0,31$, $P < 0,001$, Figure 2) que les multipares ($r = 0,32$, $P < 0,001$, Figure 3).

Les corrélations les plus élevées avec la température rectale sont observées pour la vulve et l'oreille, suivies de la mamelle. Concernant la mesure au niveau du dos la corrélation est plus élevée lorsqu'il est rasé. Les corrélations obtenues pour la mamelle et le globe oculaire sont moins élevées que celles obtenues par Traulsen *et al.* (2010) et Malmkvist *et al.* (2012). D'autres études se sont intéressées au coin interne de l'œil (*inner canthus*) chez le porc et l'homme, avec de bonnes corrélations et une facilité d'accès contrairement au globe oculaire. Mais il s'agit d'une zone, à l'inverse de la cornée, qui peut être sale (en particulier avec la présence de larmes brunes) et qui nécessite une caméra avec une haute résolution spatiale et une forte précision (Soerensen et Pedersen, 2015). La base de l'oreille et la vulve semblent être les zones les plus prometteuses, avec des corrélations plus élevées que celles des études de Zinn *et al.* (1985) et Traulsen *et al.* (2010). La présence de poils lors de la mesure au niveau du dos réduit la qualité de la prédiction. De plus, toutes les truies n'ont pas le même degré de pilosité qui varie notamment selon l'âge, ce qui peut également impacter la mesure.

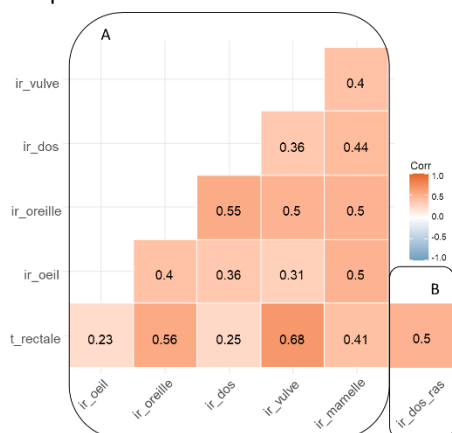


Figure 3 – Matrice des corrélations de Pearson pour les multipares entre les différentes températures corporelles. Toutes les corrélations sont significatives ($P < 0,001$).

2.2. Influence de facteurs externes et internes à la truie (pré-sélection des variables)

2.2.1. Température et humidité de la salle de gestation

Les températures rectales ($r = 0,23$, $P < 0,001$) et cutanées ($r = 0,40$, $P < 0,001$) étaient corrélées positivement avec la température de la salle, avec une plus forte corrélation pour les mesures sur le dos rasé ($r = 0,77$, $P < 0,001$). Les mesures de température au niveau de l'oreille et du dos étaient les plus fortement corrélées avec la température de la salle (respectivement, $r = 0,34$ et $0,42$, $P < 0,001$).

La température rectale était peu corrélée avec l'humidité relative ($r = 0,08$, $P = 0,002$), contrairement aux températures cutanées ($P = 0,14$). Le THI était corrélé positivement avec la température rectale ($r = 0,23$, $P < 0,001$) et les températures cutanées ($r = 0,40$, $P < 0,001$, Figure 4).

La température de la salle semble donc influencer modérément à fortement la température rectale et les températures cutanées, avec un très faible effet de l'humidité relative. De même, Jia *et al.* (2020) observaient une influence modérée de la température et de l'humidité relative de la salle sur les températures cutanées relevées à l'oreille, au dos et à l'œil.

D'autres paramètres environnementaux devraient être également explorés, comme la vitesse de l'air (Ramirez, 2017).

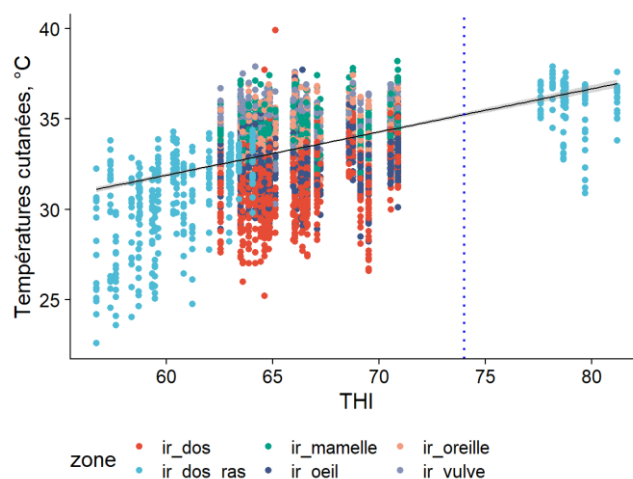


Figure 4 – Évolution de la température cutanée en fonction du THI (Wegner *et al.*, 2016) et des zones de mesures. La ligne pointillée bleue correspond à la limite d'un stress thermique (supérieure à un THI de 74) pour les porcs.

2.2.2. Poids et condition corporelle de la truie

La température rectale était corrélée négativement avec le poids des truies ($r = -0,21$, $P < 0,001$), mais pas avec l'épaisseur de gras dorsal ($P = 0,30$). La température cutanée était également corrélée négativement avec le poids des truies ($r = -0,08$, $P < 0,001$) et avec l'épaisseur de gras dorsal ($r = -0,07$, $P < 0,001$).

Le poids, ou plus exactement le ratio volume/poids est un paramètre à prendre en compte pour calculer les échanges thermiques entre le porc et l'environnement (Ramirez, 2017). Ainsi, le poids peut influencer la température cutanée, en impactant la production de chaleur comme montré chez le porc à l'engraissement en relation avec l'ingestion alimentaire (van Milgen *et al.*, 1998).

2.2.3. Rang de portée

Les primipares avaient une température rectale plus élevée que les multipares ($38,2$ vs. $37,9 \pm 0,45$ °C, $P < 0,001$) tandis qu'elles présentaient une température cutanée (toute zone confondue) inférieure ($33,2$ vs. $33,4 \pm 1,52$ °C, $P < 0,001$). Cheng (2020) a montré que la mesure de température cutanée à la vulve était significativement plus élevée chez les truies primipares et de rang 2 que chez les truies plus âgées. Il est probable qu'une partie de cet effet rang de portée soit liée à l'évolution pondérale des truies.

2.2.4. Stratégie alimentaire

La stratégie alimentaire testée dans l'essai B chez les multipares n'a eu pas d'effet significatif sur la température rectale ($P = 0,47$), alors qu'elle influençait la température cutanée ($P < 0,001$).

Pour mieux caractériser cet effet, d'autres paramètres pourraient également être explorés tels que la consommation d'aliment ou d'eau pour chaque truie, ou le temps écoulé entre la mesure de température et le dernier repas. En effet, Cheng (2020) a montré que le comportement alimentaire et ses variations diurnes impactent les mesures de température cutanée sur le milieu du dos, des mamelles, de la base des oreilles et de la vulve chez des truies après sevrage. De même, la consommation d'aliment, les phénomènes digestifs et le métabolisme produisent de l'extra chaleur (van Milgen *et al.*, 1998) qui pourrait influencer la température cutanée. De plus,

l'apport de sang vers le tractus digestif peut réduire la quantité de sang vers la surface.

2.2.5. Posture

Les truies en position couchée présentaient une température cutanée plus élevée que celles en position debout ($33,8^{\circ}\text{C}$ vs. $33,1 \pm 1,50^{\circ}\text{C}$, $P < 0,001$), tandis que leur température rectale était moindre ($37,9$ vs. $38,0 \pm 0,45^{\circ}\text{C}$, $P = 0,02$).

L'influence de la posture de l'animal lors de la mesure de température cutanée a déjà été montrée par Traulsen *et al.* (2010) mais sans explication physiologique. Ces résultats peuvent être liés également à la position du porc avant la mesure (contact avec une surface froide, par ex.) ou le comportement des truies à être préférentiellement en position couchée lors de température élevée.

2.3. Répétabilité des mesures corporelles

L'écart-type intra-truie et intra-observateur était de $0,39^{\circ}\text{C}$ pour la mesure de température rectale. Les écarts types pour les températures cutanées étaient de $1,64^{\circ}\text{C}$ pour l'œil, de $1,12^{\circ}\text{C}$ pour l'oreille, de $1,70^{\circ}\text{C}$ pour le dos non rasé, de $0,93^{\circ}\text{C}$ pour la vulve et de $1,20^{\circ}\text{C}$ pour la mamelle. Aucun effet de l'ordre des mesures sur les températures rectales ou cutanées n'a été démontré.

La répétabilité des mesures est globalement bonne (variation inférieure à 5 %) et doit être également liée avec la praticité des mesures. En effet, la prise de clichés de l'œil est particulièrement compliquée pour les truies en liberté élevées en groupe. De même, selon la posture de la truie et la propreté de la salle, les zones vulve et mamelle sont plus au moins accessibles et propres. De plus, il serait intéressant pour la suite de tester la cohérence des résultats entre différents observateurs pour la phase de collecte et d'extraction à partir des clichés de la température corporelle. Cela n'a pas été possible dans cet essai puisque toutes les images étaient traitées par le même observateur.

2.4. Prédiction de la température rectale à partir de la température cutanée

2.4.1. Pour les truies primipares

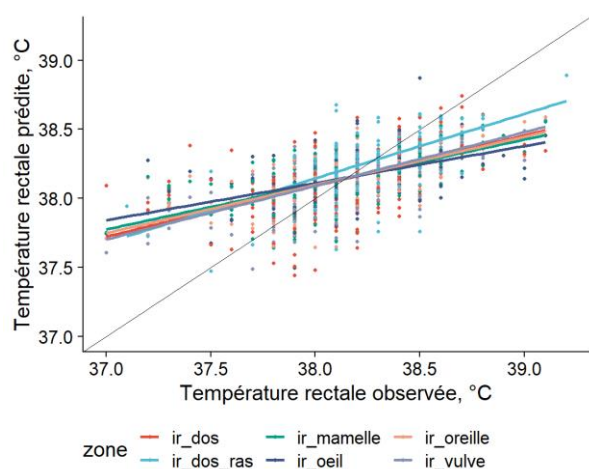


Figure 5 – Température rectale prédite par le modèle C, avec uniquement les effets et interactions significatives, en fonction de la température observée pour les truies primipares

Les résultats des différents modèles de prédiction de la température rectale en fonction de la température cutanée sont rapportés dans le tableau 3. Les meilleurs modèles de

prédiction sont obtenus pour une mesure de température cutanée sur la vulve ($R^2 = 0,63$ et $\text{RMSE} = 0,23^{\circ}\text{C}$), le dos rasé ($R^2 = 0,53$ et $\text{RMSE} = 0,28^{\circ}\text{C}$), et l'oreille ($R^2 = 0,45$ et $\text{RMSE} = 0,29^{\circ}\text{C}$, Tableau 3). Comme on peut le voir sur la figure 5, les valeurs sont moins bien prédites pour des valeurs extrêmes observées (en-dessous de $37,5^{\circ}\text{C}$ et au-dessus de $38,7^{\circ}\text{C}$). Cette moindre précision peut être liée à des erreurs de prise de température rectale pour les températures basses et au fait que très peu de truies ont présenté de la fièvre pour les températures élevées.

2.4.2. Pour les truies multipares

De même que pour les truies primipares, les meilleurs modèles de prédiction de la température rectale sont obtenus pour une mesure de température cutanée sur la vulve ($R^2 = 0,55$ et $\text{RMSE} = 0,30^{\circ}\text{C}$), le dos rasé ($R^2 = 0,47$ et $\text{RMSE} = 0,43^{\circ}\text{C}$) et l'oreille ($R^2 = 0,43$ et $\text{RMSE} = 0,35^{\circ}\text{C}$, Tableau 3). Toutefois, les prédictions sont un peu moins bonnes (R^2 plus faibles et RMSE plus élevées) que chez les primipares. Le manque de précision sur les valeurs extrêmes est également présent (Figure 6).

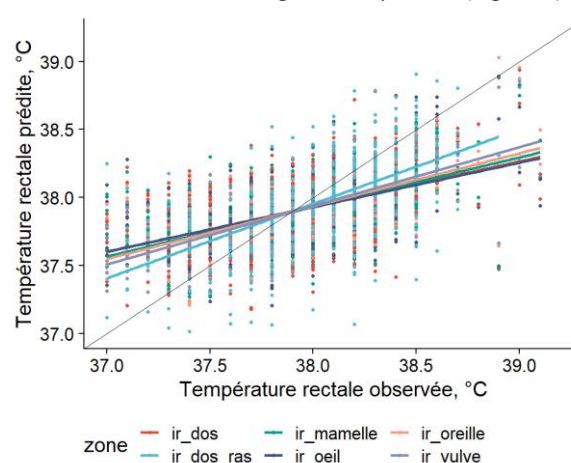


Figure 6 – Température rectale prédite par le modèle C, avec uniquement les effets et interactions significatives, en fonction de celle observée pour les truies multipares.

CONCLUSION

Cette étude montre que l'utilisation d'une caméra thermique pour prédire la température corporelle de la truie au cours de la gestation semble prometteuse, notamment à partir des mesures au niveau de la vulve ou de la base de l'oreille ou encore au niveau du dos préalable rasé. En effet, il existe des corrélations plus ou moins fortes entre les différentes zones testées au cours de l'étude et la température rectale, avec de bonnes répétabilité. Afin d'améliorer la prédiction, des modèles non linéaires pourraient être testés afin de mettre en évidence des liens plus complexes entre la température corporelle, les caractéristiques de la truie (poids, condition corporelle, parité) et les facteurs abiotiques (température et taux d'humidité de l'air), et ainsi pouvoir automatiser la mesure.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié de bourses de mobilité sortantes de l'école doctorale EGAAL, de Rennes Métropole et de l'État gérée par l'ANR au titre du programme d'Investissements d'avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004 (#Digitag) ; ainsi que l'aide de David RENAudeau, de Jean-Gabriel TURGEON.

Tableau 3 –Qualité de la prédiction de la température rectale de truies primipares et des multipares à partir de températures cutanées mesurées avec une caméra thermique

			P-values						R ²	RMSE
	Mod ¹		IR	THI	Pds	Pos	G	Int.		
<i>Primipares</i>										
Ir_oeil	A	$T = (34,6 0,1) + 0,1 \text{ IR} + 0,0004 \text{ THI} + 0,001 \text{ Pds} + 0,3 \text{ Pos} - 0,005 \text{ G}$	***	ns	ns	***	ns	-	0,22	0,34
Ir_oreille	A	$T = (32,2 0,01) + 0,2 \text{ IR} - 0,02 \text{ THI} - 0,001 \text{ Pds} + 0,2 \text{ Pos} + 0,01 \text{ G}$	***	**	ns	**	ns	-	0,45	0,29
Ir_dos	C	-	ns	-	-	*	ns	Pos	0,29	0,32
Ir_dos rasé	C	$T = (38,9 0,12) - 0,1 \text{ IR} - 0,0004 \text{ THI} - 0,02 \text{ Pds} + 0,04 \text{ G}$	***	ns	**	-	ns	-	0,53	0,28
Ir_vulve	A	$T = (27,7 0,04) + 0,3 \text{ IR} - 0,001 \text{ THI} - 0,001 \text{ Pds} + 0,03 \text{ Pos} + 0,01 \text{ G}$	***	ns	ns	ns	ns	-	0,63	0,23
Ir_mamelle	A	$T = (33,2 0,1) + 0,1 \text{ IR} - 0,001 \text{ THI} - 0,001 \text{ Pds} + 0,21 \text{ Pos} - 0,001 \text{ G}$	***	ns	ns	***	ns	-	0,30	0,32
Toutes zones confondues ²	A	$T = (32,7 0,2) + 0,1 \text{ IR} - 0,01 \text{ THI} - 0,001 \text{ Pds} + 0,2 \text{ Pos} + 0,0001 \text{ G}$	***	***	ns	***	ns	-	0,33	0,30
<i>Multipares</i>										
Ir_oeil	A	$T = (34,1 0,2) + 0,1 \text{ IR} + 0,01 \text{ THI} - 0,0001 \text{ Pds} + 0,1 \text{ Pos} + 0,01 \text{ G}$	***	ns	ns	**	ns	-	0,22	0,41
Ir_oreille	C	$T = (19,5 0,1) + 0,5 \text{ IR} + 0,6 \text{ G} - 0,02 \text{ IRxG}$	***	-	-	-	**	G	0,41	0,35
Ir_dos	A	$T = (35,1 0,2) + 0,1 \text{ IR} + 0,002 \text{ THI} - 0,00003 \text{ Pds} + 0,02 \text{ Pos} + 0,02 \text{ G}$	***	ns	ns	ns	ns	-	0,22	0,41
Ir_dos rasé	C	$T = (43,3 0,2) - 0,1 \text{ IR} - 0,04 \text{ Pds} + 0,2 \text{ G} + 0,001 \text{ IRxPds} - 0,01 \text{ IRxG}$	0,06	-	***	-	*	Pds G	0,47	0,43
Ir_vulve	C	$T = (14,7 0,1) + 0,7 \text{ IR} - 0,06 \text{ Pds} - 0,001 \text{ IRxPds}$	***	-	*	-	-	Pds	0,54	0,31
Ir_mamelle	A	$T = (30,8 0,2) + 0,2 \text{ IR} + 0,01 \text{ THI} - 0,0003 \text{ Pds} + 0,1 \text{ Pos} + 0,02 \text{ G}$	***	ns	ns	**	ns	-	0,30	0,39
Toutes zones confondues ²	A	$T = (34,8 0,2) + 0,1 \text{ IR} - 0,005 \text{ THI} - 0,001 \text{ Pds} + 0,01 \text{ Pos} - 0,01 \text{ G}$	***	*	ns	ns	ns	-	0,37	0,37

IR = température cutanée infrarouge ; Pds = Poids vifs de la truie ; Pos = posture de la truie ; G = épaisseur de gras dorsal ; Int = Interactions significatives ; THI=Temperature humidity index $= [(1,8 \times T) + 32] - [(0,55 \times (HR/100)) \times ((1,8 \times T) + 32) - 58]$, où T est la température de l'air en °C et HR l'humidité relative de l'air en %. R² = carré du coefficient de corrélation (plus il est élevé, plus la performance de prédiction est bonne). RMSE = écart quadratique moyen (plus il est élevé, plus les erreurs de prédiction sont grandes). ¹Modèle choisi (A, B et C) parmi les modèles linéaires mixtes (avec effet aléatoire de la truie). Les «-» correspondent aux effets non présents dans le modèle. P-values > 0,05 : ns ; < 0,05 : * ; < 0,01 : ** ; < 0,001 : *** - ²La zone étant ajoutée comme effet fixe (P < 0,001)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cook N.J., Chabot B., Lui T., Bench C.J., Schaefer A.L., 2015. Infrared thermography detects febrile and behavioural responses to vaccination of weaned piglets. *Animal*, 9, 339-346.
- Cheng R.C., 2020. Variations in the body surface temperature of sows during the post weaning period and its relation to subsequent reproductive performance. *Asian-australas. J. Anim. Sci.*, 33, 1138-1147.
- Galiot L., Cloutier L., Guay F., Dumas G., Gaillard C., Dourmad J.Y., Simongiovanni, A., Gagnon P., 2023. Impact de l'alimentation de précision et d'un surplus d'aliment en fin de gestation sur les performances et l'état corporel de truies suivies pendant leurs deux premiers cycles de gestation et lactation. *Journées Rech. Porcine*, 55, 183-188.
- Islam M.M., Ahmed S.T., Mun H.S., Bostami A.B.M.R., Kim Y.J., Yang C.J., 2015. Use of thermal imaging for the early detection of signs of disease in pigs challenged orally with *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli*. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 9, 1667-1674.
- Lüdecke D., Ben-Shachar M.S., Patil I., Waggoner P., Makowski D. 2021. performance: An R Package for Assessment, Comparison and Testing of Statistical Models. *J. Open Source Softw.* 6:60, 3139.
- Malmkvist J., Pedersen L.J., Kammergaard T.S., Jorgensen E., 2012. Influence of thermal environment on sows around farrowing and during the lactation period. *J. Anim. Sci.*, 90, 3186–3199.
- Nielsen K.S., 1997. *Animal physiology – adaptation and environment*. New York Cambridge University Press.
- Ramirez B.C., 2017. A novel approach to measure, understand, and assess the thermal environment in grow-finish swine facilities. Thèse de doctorat. Iowa State Univ., United States, 198p.
- Soerensen D.D., Clausen S., Mercer J.B., Pedersen L.J., 2014. Determining the emissivity of pig skin for accurate infrared thermography. *Comput. Electron. Agric.*, 109, 52-58.
- Soerensen D.D., Pedersen L.J., 2015. Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: a review. *Acta Vet. Scand.*, 57, p
- Traulsen I., Naunin K., Muller K., Krieter J., 2010. Untersuchungen zum einsatz der infrarotthermographie zur messung der körpertemperatur bei sauen. *Zuchtungskunde*. 82, 437–446.
- Van Milgen J., Bernier J.F., Lecozler Y., Dubois S., Noblet J., 1998. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *Br. J. Nutr.*, 79, 509-517.
- Wegner K., Lambert C., Das G., Reiner G., Gauly M., 2016. Effects of temperature and temperature-humidity index on the reproductive performance of sows during summer months under a temperate climate. *Anim. Sci. J.*, 87, 1334-1339.
- Wilcox S., 2007. Thermographic evaluation of metabolic changes in swine. *Thermology int.*, 17, 133-136.