

# Évaluation de l'impact d'une exposition à un challenge thermique simulant une vague de chaleur estivale sur les performances et les réponses physiologiques des porcs en finition

David RENAUDEAU (1)

(1) PEGASE, INRAE, Agrocampus-Ouest, 35590 Saint-Gilles, France

(2) UE3P 35590 Saint-Gilles, France

david.renaudeau@inrae.fr

Avec la collaboration technique de Alain CHAUVIN (2), Mikaël GENISSEL (2), Julien GEORGE (2), Francis LE-GOUEVEC (2), Régis JANVIER (2), Vincent PIEDVACHE (2), Eric BOBILLIER (2), Marcel PENARD (2) et Serge DUBOIS (2).

## Évaluation de l'impact d'une exposition à un challenge thermique simulant une vague de chaleur estivale sur performances et les réponses physiologiques des porcs en finition

L'augmentation de la fréquence et de la sévérité des vagues de chaleur estivales d'ici 2050 est une des conséquences du réchauffement climatique. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact d'un challenge thermique simulant une vague de chaleur estivale sur les performances et les réponses physiologiques des porcs en finition. Au total, 45 porcs mâles castrés repartis en trois répétitions de 15 animaux ont été suivis pendant 42 jours entre 110 et 152 jours d'âge. Le lot TTT a été maintenu à la thermoneutralité (22°C) pendant la totalité de l'essai. Les lots CTT, TCT et TTC ont été soumis à un challenge simulant une vague de chaleur (5 jours à 32°C) respectivement à partir de 113, 127 ou 141 j d'âge. Le lot CCC a été exposé aux trois challenges successifs à 113, 127 et à 141 j d'âge. Sur l'ensemble de la période expérimentale, la vitesse de croissance (GMQ) est réduite pour le lot CCC par rapport aux lots TTT, CTT et TTC (1090 vs. 1248 g/j ;  $P < 0,05$ ) ; un GMQ intermédiaire est rapporté pour le lot TCT (1184 g/j). La réduction significative de la consommation d'aliment (CMJ) sous l'effet de la température dépend de l'âge des animaux (-12, -20 et -27% respectivement à 113, 127 et 141 j d'âge) et n'est que très partiellement compensée pendant les 7 jours post-challenge. L'augmentation de la température ambiante en début de challenge cause une élévation brusque de la température interne des animaux. Dans la période post challenge, les animaux préalablement exposés à la chaleur développent une hypothermie significative que pour les lots CTT et CCC. Sur la base des mesures de CMJ et de la température interne, une exposition préalable à une température élevée permet aux animaux du lot CCC de mieux tolérer le stress thermique.

## Impact of a short-term heat challenge mimicking a summer heat wave on thermoregulatory responses and performances in finishing pigs

Based on predicted consequences of climate change, regional warming will increase the frequency, intensity and duration of summer heat waves in many countries. The objective of the present study was to describe the impact of a thermal challenge simulating a summer heat wave on performance and physiological responses of finishing pigs. A total of 45 pigs divided into three consecutive replicates of 15 castrated male pigs were studied for 42 days from 110-152 days of age. The TTT group was maintained at thermoneutrality (22°C) during the entire experimental period. The CTT, TCT and TTC groups were subjected to a challenge simulating a heat wave (5 days at 32 °C) respectively at 113, 127 or 141 days of age. The CCC group was exposed to three successive heat challenges at 113, 127 and 141 days of age. Over the entire experimental period, average daily gain was reduced for the CCC pigs compared to the TTT, CTT and TTC pigs (1,090 vs. 1,248 g / d;  $P < 0.05$ ); an intermediate value was reported for the TCT group (1,184 g/d). Effects of heat stress on daily feed intake (DFI) depended on animal age (-12%, -20% and -27% respectively at 113, 127 and 141 d of age); this lower DFI was compensated only partially during the 7 days of recovery. An increase in ambient temperature on the first day of the thermal challenge caused a sudden increase in internal body temperature ( $T_{int}$ ) followed by a gradual decrease. In the post-challenge period, pigs previously exposed to the heat challenge developed significant hypothermia, especially during the first measurement period. Based on DFI and  $T_{int}$  measurements, multiple exposures to elevated temperature allowed animals in the CC groups to cope better with thermal heat stress.

## INTRODUCTION

La température ambiante est un facteur environnemental qui impacte significativement les performances des porcs quand elle varie au-delà des limites inférieures ou supérieures de leur zone de thermoneutralité. Les effets d'une exposition chronique à la chaleur sur les performances et le comportement des porcs sont particulièrement renseignés dans la littérature. Au-delà de 25°C, une augmentation de la température ambiante pendant tout ou partie de la période de croissance se traduit par une réduction curvilinéaire de la consommation moyenne journalière (CMJ), du gain de poids vif (PV) et, en cas de chaleur extrême, une dégradation de l'indice de consommation (IC) (Renaudeau *et al.*, 2011). Ces effets varient selon le PV des animaux, les conditions d'alimentation et de logement mais également selon le potentiel génétique des animaux. Les vagues de chaleur estivales sont préoccupantes pour les filières animales au regard de leur vulnérabilité face à ce type d'évènements climatiques extrêmes et de l'évolution attendue de la fréquence et de l'intensité de ce type d'évènements climatiques au cours du siècle (Mayorga *et al.*, 2018a). Ces vagues de chaleur dont la probabilité d'occurrence a fortement augmenté avec la hausse des températures estivales sous l'effet du changement climatique pourront devenir communes en Europe avec une fréquence qui devrait doubler d'ici 2050 (Soubeyroux *et al.*, 2016). De manière surprenante, très peu d'études ont porté sur les effets à court et à long termes d'une exposition à une vague de chaleur sur les performances des porcs. Le premier objectif de ce travail est de décrire l'évolution des performances zootechniques et des réponses de thermorégulation pendant et après un challenge thermique mimant une vague de chaleur estivale. Le second objectif est d'évaluer si ces réponses varient quand les animaux sont exposés plusieurs fois à ces vagues de chaleur.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Dispositif expérimental

Selon l'organisation mondiale de météorologie, une vague de chaleur est définie comme une période de 3 à 6 jours consécutifs où la température maximale journalière dépasse de 5 à 6°C la température maximale normale mesurée entre 1960 et 1990. Pour notre étude, nous avons choisi d'exposer de manière répétée ou pas les animaux à une température de 32°C maintenue constante au cours du nyctémère pendant 4 jours consécutifs.

L'expérimentation s'est déroulée en trois répétitions successives d'une durée de 8 semaines chacune. Pour chaque répétition, 3 blocs de 5 porcs mâles castrés Piétrain × (Landrace × Large White) ont été constitués sur la base de l'origine de la portée et du PV (58,5 kg en moyenne). Les animaux ont été logés dans deux salles climatisées composées de 9 (salle 1) ou 6 loges (salle 2) individuelles (1.00 × 2.30 m) sur caillebotis métalliques. Chaque loge était équipée d'une auge et d'une sucette réglée pour éviter le gaspillage d'eau. Les performances et les réponses de thermorégulation des animaux ont été mesurées au cours de 3 périodes consécutives de 14 jours. Pour chaque période, les animaux ont été maintenus à 22°C pendant les 14 jours (lot T) ou exposés à un challenge thermique (4 jours à 32°C, lot C) destiné à mimer les effets d'une vague de chaleur estivale, suivis de 7 jours à 22°C. Au total, 5 modalités ont été étudiées. Les animaux du traitement TTT ont été élevés à 22°C

entre 110 et 152 jours d'âge. Les animaux des lots CTT, TCT et TTC ont été exposés au challenge thermique à 113, 127 ou 141 jours d'âge. Les animaux du lot CCC ont été exposés au challenge thermique successivement à 113, 127 et 141 jours d'âge (Figure 1). En pratique, la salle 1 a été maintenue à 22°C pendant la totalité de la période expérimentale. Pour chaque période, la température de la salle 2 était fixée à 22°C pendant 3 jours, puis à 32°C pendant 5 jours avant un retour à 22°C pour les 7 derniers jours. Les transitions entre 22 et 32°C (J0) ou entre 32 et 22°C (J5) ont débuté à 09h00 à un rythme de 2°C/heure. Selon les traitements, les animaux changeaient de salle au moment de la pesée en début et fin de chaque période. La période expérimentale a été précédée d'une période d'adaptation de 2 semaines pendant lesquelles les animaux ont été habitués aux conditions de logement, aux déplacements entre les deux salles et aux mesures nécessitant des interactions entre l'animal et l'expérimentateur.

Les animaux étaient nourris à volonté avec un aliment standard utilisé dans l'unité expérimentale (9,6 MJ EN/k, 8,1 g/kg de lysine digestible) distribué en 2 repas (09h00 et 16h30).

### 1.2. Mesures

Les porcs ont été pesés une semaine avant de début de l'essai, à J-3, J0, J5 et J11. Les quantités d'aliment offertes ont été pesées chaque jour et un échantillon représentatif de l'aliment distribué a été prélevé chaque période pour la détermination de la matière sèche (MS) par passage à l'étuve à 103°C pendant 24h. Les refus ont été collectés tous les matins à 08h00 et leur teneur en MS a été déterminée. La CMJ ajustée pour une MS de 88% a été calculée à partir de la quantité de MS ingérée et refusée. Dix jours avant le début de l'essai, les porcs ont été équipés d'un capteur permettant une mesure en continu (1 mesure/2 min) de leur température interne ( $T_{int}$ ). Après avoir été pesés, les porcs sont anesthésiés en utilisant un protocole associant de la Xylazine (2 mg/kg PV) et de la Kétamine (15 mg/kg PV) en intramusculaire. Dans le cas d'un réveil prématuré de l'animal pendant l'opération, l'anesthésie est maintenue par inhalation de gaz (max 1 min à 1% Isoflurane). Les capteurs stériles sont implantés à 3-4 cm de profondeur dans le muscle brachio-céphalique au niveau du cou de l'animal. La durée moyenne des opérations est de 5 minutes. La localisation des capteurs (absence de migration) est vérifiée au moment de l'abattage à l'issue de la période expérimentale.

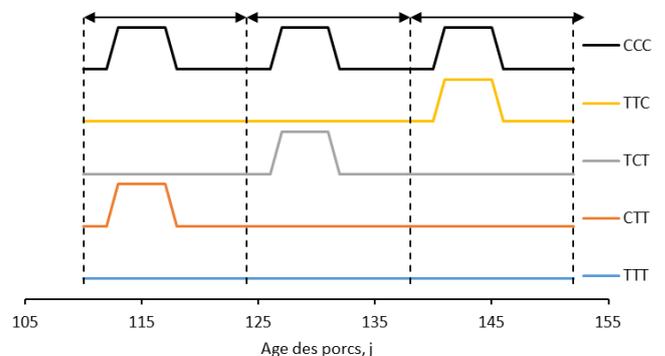


Figure 1- Description des traitements thermiques (22 ou 32°C) appliqués à chaque groupe expérimental.

### 1.3. Calculs et analyses statistiques

Les performances zootechniques ont d'abord été calculées sur l'ensemble de la période expérimentale. Les données ont été analysées pour tester les effets du lot (n=5), de la répétition

(n=3), de l'effet bloc intra répétition (n=3) et leurs interactions dans un modèle linéaire (PROC GLM, SAS 9.4, 2016). Les moyennes de la CMJ, la vitesse de croissance (GMQ) et l'indice de consommation (IC) ont ensuite été calculées pour chaque période de challenge entre J-3 et J0, J0 et J5, et entre J5 et J11. L'analyse statistique a été réalisée en utilisant un modèle mixte (PROC MIXED, sas 9.4) prenant en compte les effets fixes du lot, du temps (n=3), de la répétition, des interactions et un effet aléatoire reflétant les corrélations entre les mesures réalisées sur un même animal (Option «repeated»). Enfin, les évolutions journalières de la CMJ et de  $T_{int}$  des animaux pendant les 6 semaines de l'essai ont été analysées avec un modèle mixte similaire au précédent mais avec un effet « temps ». Pour ces 3 modèles, les moyennes ajustées ont été calculées à l'aide de l'option « LSMEANS » et elles ont été comparées entre elles (2 à 2 ou à l'aide de contrastes) par un test de Tukey.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances de croissance

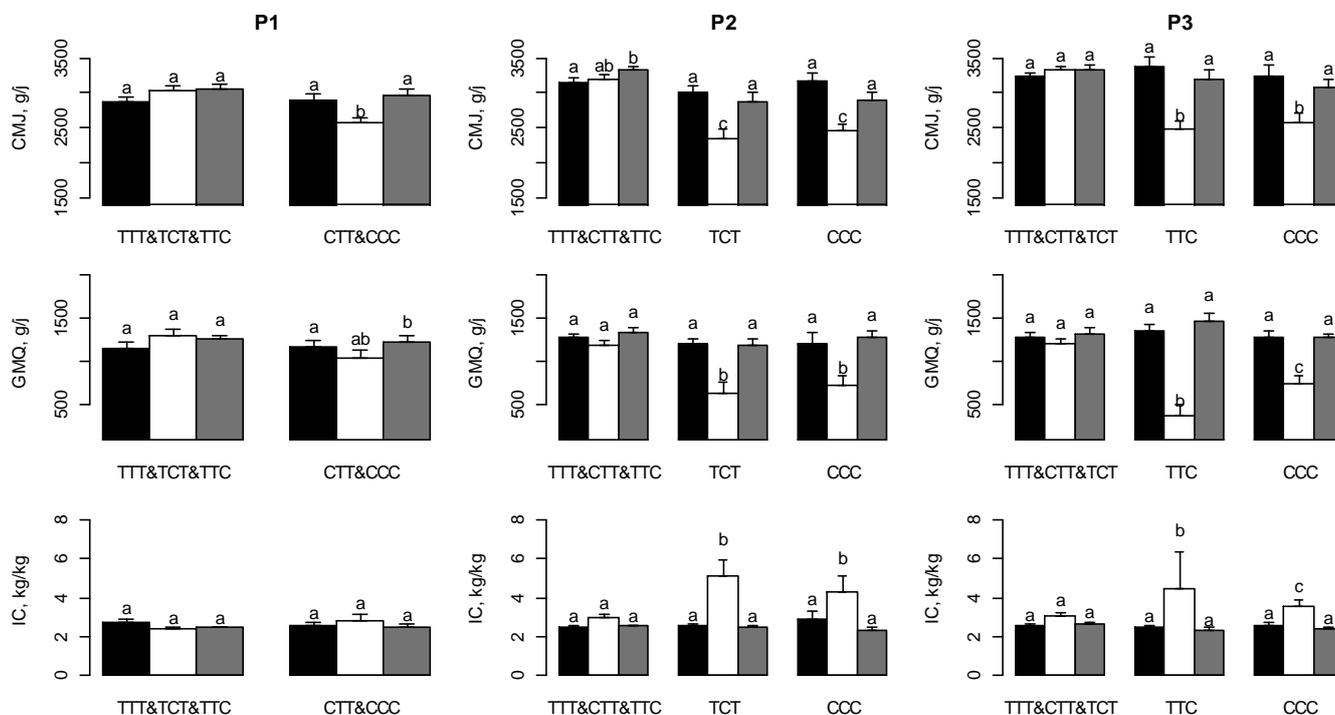
**Tableau 1** – Performances zootechniques globales selon le traitement expérimental

Item <sup>1</sup>	Groupe expérimental					ETR <sup>2</sup>
	TTT	CTT	TCT	TTC	CCC	
Nb. porcs	9	9	9	9	9	
PV Initial, kg	68,2	69,4	67,6	69,7	68,2	4,3
PV final, kg	122,0	121,4	117,3	121,1	115,5	6,3
CMJ, kg/j	3,22 <sup>a</sup>	3,15 <sup>a</sup>	2,95 <sup>ab</sup>	3,13 <sup>a</sup>	2,86 <sup>b</sup>	0,22
GMQ, g/j	1280 <sup>a</sup>	1240 <sup>a</sup>	1184 <sup>ab</sup>	1223 <sup>a</sup>	1090 <sup>b</sup>	92
IC, g/g	2,51	2,54	2,50	2,57	2,62	0,2

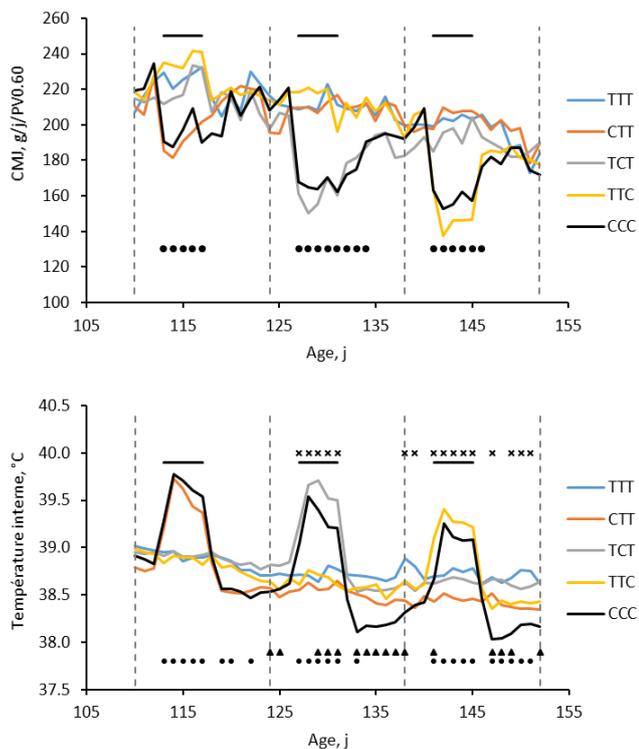
<sup>1</sup>PV : Poids Vif, CMJ : Consommation moyenne journalière, GMQ : Gain de PV moyen quotidien, IC : indice de consommation.

<sup>2</sup>ETR : Ecart type résiduel d'un modèle d'analyse de variance prenant en compte les effets du groupe expérimental, de la répétition, du bloc et des interactions entre ces effets fixes. <sup>a,b</sup> pour une ligne donnée des lettres différentes indiquent que les moyennes des performances diffèrent ( $P < 0,05$ ) selon le groupe expérimental.

Les performances zootechniques des animaux mesurées sur l'ensemble de la période expérimentale sont présentées dans le Tableau 1. En moyenne, la CMJ et le GMQ sont inférieurs chez les porcs du lot CCC comparativement à ceux du lot TTT (respectivement -360 et -190 g/j ;  $P < 0,05$ ). Les performances des lots CTT et TTC ne diffèrent pas significativement de celles du lot TTT. En revanche, les porcs du lot TCT ont des performances intermédiaires par rapport à celles des lots TTT et CCC. L'indice de consommation global n'est pas influencé par le traitement expérimental (2,55 en moyenne ;  $P > 0,05$ ). Pour chaque période, les évolutions des performances entre J-3 et J-1, J0 et J4 et J5 et J11 sont décrites dans la Figure 2. Pour les trois périodes, les performances des animaux maintenus à la thermo neutralité ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ). Aussi, dans la Figure 2, seules les moyennes des trois lots T sont représentées et comparées aux deux autres lots qui ont été exposés au challenge thermique. Pour la période 1 et les lots CTT et CCC, la CMJ et le GMQ sont significativement réduits (d'environ 12% pour les deux paramètres) au cours du challenge thermique comparativement à celles mesurées entre J-3 et J-1. L'IC demeure stable à une valeur moyenne de 2,58. Pendant la phase de récupération (J5 à J11), la CMJ et le GMQ des lots CTT et CCC sont similaires ( $P > 0,05$ ) aux valeurs mesurées avant le début du challenge et ne diffère pas de valeurs des lots T. Au cours de la période 2, l'évolution des performances est similaire dans les lots TCT et CCC. La CMJ et le GMQ diminuent respectivement de 22% et 43% au cours du challenge thermique. L'exposition à la chaleur se traduit par une élévation significative de l'IC par rapport à la valeur mesurée avant le challenge (2.55 vs. 5.15 kg/kg et 2.90 vs. 4.30 kg/kg, respectivement pour les lots TCT et CCC). Comme pour la période 1, aucune compensation n'est observée dans ces deux lots au cours de la phase de récupération.



**Figure 2** - Évolution de la consommation moyenne journalière (CMJ), de la vitesse de croissance (GMQ) et de l'indice de consommation (IC) des animaux selon le traitement expérimental et la période de mesure (P1 entre 110 et 123, P2 entre 124 et 137, P3 entre 138 et 152). Chaque période de mesure est subdivisée en 3 sous périodes : barres noires : entre j-3 et j-1, barres blanches : entre J0 et J4, barres grises : entre J5 et J11, avec J0 comme le jour de transition entre 22 et 32°C pour les groupes soumis au challenge thermique. Pour chaque période, les performances des animaux maintenus à la thermo neutralité sont moyennées.



**Figure 3** – Évolution de la consommation moyenne quotidienne (CMJ) et de la température interne ( $T_{int}$ ) des animaux selon le traitement expérimental et l'âge des animaux. Les symboles indiquent les jours quand la CMJ ou la  $T_{int}$  sont différentes ( $P < 0,05$ ) entre au moins 2 des 3 groupes de porcs laissés à 22°C (x) et entre les 2 groupes exposés à 32°C pendant 5 jours ( $\blacktriangle$ ). Le symbole  $\bullet$  indique les jours où la CMJ ou la  $T_{int}$  est différente ( $P < 0,05$ ) entre les lots à 22°C et les lots challengés.

Pendant la période 3, les performances des lots exposés à 22°C (lots TTT, TCT, CTT) ne sont pas différentes ( $P > 0,05$ ). Comparativement aux performances mesurées dans la phase pré-challenge, une exposition à 32°C pendant 5 jours réduit significativement la CMJ et le GMQ (3,38 vs. 2,47 kg/d ; -27% et 1351 vs. 376 g/d ; -72%,  $P < 0,01$ ), ce qui s'accompagne d'une augmentation de l'IC (2,50 vs. 4,50 kg/kg,  $P < 0,01$ ) chez les porcs du lot TTC. La même évolution des performances est observée pour le lot CCC mais avec un GMQ et un IC moins impactés (respectivement 1270 vs. 753 g/j et 2,60 vs. 3,68 kg/kg) par la chaleur comparativement au lot TTC.

L'évolution de la dynamique journalière de la CMJ (exprimée en g/j/kg PV<sup>0,60</sup>) est présentée dans la Figure 3. Quelle que soit la période, la CMJ des porcs appartenant aux lots n'ayant pas été soumis au challenge thermique n'est pas significativement différente ( $P > 0,05$ ). Pour les animaux des lots CTT en période 1, TCT en période 2, TTC en période 3 et CCC en période 1, 2, et 3, la CMJ chute très fortement dès les premiers jours d'exposition à 32°C. Cette chute initiale est généralement suivie par augmentation progressive de la CMJ entre le premier et le 5<sup>ème</sup> jour d'exposition au chaud. En période 1, cette élévation permet aux animaux des lots CTT et CCC de retrouver à la thermoneutralité des valeurs de CMJ comparables aux lots TTT, TCT et TTC dans les 2 jours qui suivent la fin du challenge. Pour les périodes 2 et 3, la CMJ des porcs des lots TCT, TTC et CCC reste inférieure aux lots témoins une fois la température revenue à la thermoneutralité. En période 2, la CMJ des lots TCT et CCC revient à des niveaux similaires aux lots TTT, CTT et TTC à partir du J8. Pour la période 3, la CMJ des lots TTC et CCC

revient à des niveaux similaires aux lots TTT, CTT et TCT à partir de J6. Bien que non significatives, les chutes de la CMJ au cours des 2<sup>nd</sup> et 3<sup>ème</sup> challenges sont numériquement plus faibles pour les porcs préalablement exposés à 32°C (lot CCC) par rapport aux lots « naïfs » (TCT, TTC).

## 2.2. Réponses de thermorégulation

La température interne est la résultante de l'ensemble des réponses de thermorégulation chez les espèces homéothermes comme le porc. Même si un large panel de réponses de thermorégulation a été mesuré dans cet essai, seules les variations de  $T_{int}$  sont rapportées dans ce papier. Au cours de la première période, l'exposition à 32°C se traduit par une élévation de la  $T_{int}$  pour les lots CTT et CCC par rapport aux autres lots expérimentaux. Cette variation de la  $T_{int}$  comporte deux phases avec une brusque élévation (+ 1,0°C en moyenne entre J-1 et J1) et une diminution progressive de 0,08°C/j entre J1 et J4. Une fois le challenge terminé, la  $T_{int}$  des lots CTT et CCC chute fortement et se stabilise à une valeur inférieure en moyenne de 0,28°C entre J6 et J10 par rapport à la moyenne des lots TTT, TCT et TTC. Cet effet n'est significatif ( $P < 0,05$ ) qu'à J6, J7 et J9. Dans la seconde période, la  $T_{int}$  est plus faible pour le lot CTT comparativement aux lots TTT et TTC; cet effet n'est significatif ( $P < 0,05$ ) qu'entre J0 et J4. Comme pour la période 1, les animaux exposés au challenge thermique au cours de la période 2 (TCT et CCC) voient leur  $T_{int}$  augmenter significativement entre J0 et J4. Les animaux exposés préalablement à 32°C (lot CCC) ont une  $T_{int}$  significativement plus faible avant (entre J-3 et J-2), pendant (entre J2 et J4) et après le challenge (entre J6 et J11) comparativement aux porcs du lot TCT. Au cours de la période 3, la  $T_{int}$  varie également entre les différents lots élevés à 22°C. Cet effet est en grande partie lié à une  $T_{int}$  plus faible pour le lot CTT. Pour les lots TTC et CCC, les réponses au challenge sont assez similaires à celles observées au cours des deux premières périodes. Les porcs exposés préalablement à 32°C au cours des 2 précédentes périodes (lot CCC) ont une  $T_{int}$  significativement plus faible pendant (à J0) et après le challenge (à J5, J6, J7 et J11) comparativement aux porcs du lot TTC.

## 3. DISCUSSION

L'augmentation de la température ambiante au-delà de la limite supérieure de la zone de thermoneutralité (# 25°C en moyenne chez le porc en croissance) se traduit par une réduction importante de la consommation d'aliment. Cette chute de la CMJ est classiquement interprétée comme une adaptation visant à réduire la production de chaleur liée à l'utilisation digestive et métabolique de l'aliment et permettre à l'animal de limiter les impacts de la chaleur sur sa température interne. La comparaison de la variation de la CMJ au chaud entre les lots CTT, TCT et TTC (respectivement -12, -20 et -27%) montre que les effets de la chaleur sur l'ingestion augmentent avec l'âge des animaux. Cet effet déjà rapporté dans des travaux précédents (Renaudeau *et al.*, 2011) pourrait s'expliquer par la réduction du seuil de sensibilité à la chaleur avec l'évolution du PV liée à la fois à une augmentation de la production de chaleur basale et à une réduction de la capacité des animaux à dissiper de la chaleur. Cette dernière serait à mettre en relation avec la réduction du rapport surface/masse corporelle des animaux et, dans une moindre mesure, une augmentation de l'isolation thermique des animaux liée à l'accroissement de leur épaisseur de lard avec le PV.

Logiquement, la réduction de la CMJ a des conséquences directes sur la vitesse de croissance des animaux pendant la période d'exposition à la chaleur. Comparativement à la CMJ, la réduction de GMQ est encore plus fortement dépendante de l'âge des animaux au moment du challenge thermique (-12, -43 et -72%, respectivement en période 1, 2 et 3 pour les lots CTT, TCT et TTC). Cet effet est vraisemblablement la conséquence de la part accrue de l'entretien dans les besoins des animaux dont l'appétit est contraint par les conditions climatiques et se traduit logiquement par une forte dégradation de l'IC.

A la thermoneutralité, une période de forte restriction alimentaire est généralement suivie par une période de réalimentation dans laquelle les animaux expriment une croissance compensatrice en partie liée à une augmentation de leur CMJ mais également de leur efficacité alimentaire (Prince *et al.*, 1983). Notre étude montre que les effets d'une restriction alimentaire induite par la chaleur ne sont pas compensés dans les 7 jours qui suivent la fin du challenge thermique. Des résultats similaires sont rapportés par Rauw *et al.* (2017) et Mayorga *et al.* (2018). Dans cette dernière étude, les auteurs ont également évalué les réponses pendant la période de récupération chez des porcs laissés à la thermoneutralité mais rationnés à un niveau similaire de leurs contemporains exposés au chaud (technique du « pair-feeding »). Contrairement aux porcs exposés au chaud, Mayorga *et al.* (2018) montrent que les porcs « pair-fed » sont capables d'exprimer une croissance compensatrice en période de récupération grâce à une augmentation très significative de leur CMJ. Ce résultat indique que les perturbations physiologiques induites au moment du challenge thermique pourraient empêcher les animaux de compenser rapidement la réduction momentanée de leur performance par une croissance accrue une fois les conditions thermiques redevenues normales. Les mécanismes potentiels d'action sont à ce jour mal connus. Un stress thermique aigu provoque une détérioration transitoire de l'épithélium intestinal sous l'effet d'une redistribution des flux sanguins des compartiments internes vers les compartiments externes afin d'augmenter les pertes de chaleur (Baumgard et Rhoads, 2013). Cette détérioration de la santé intestinale pourrait limiter la capacité des animaux à surconsommer pour compenser rapidement la période de restriction alimentaire causée par la chaleur.

Comme les autres animaux d'élevage (sauf le poisson), le porc est un animal homéotherme qui doit maintenir sa température interne relativement constante pour éviter toutes perturbations excessives de son métabolisme. L'évolution de la  $T_{int}$  est donc fonction de la chaleur accumulée et dissipée entre l'animal et son environnement. Dans notre étude, la variation de la  $T_{int}$  pendant le challenge thermique est bi-phasique avec une augmentation brusque de la  $T_{int}$  dans les 24-48 premières heures d'exposition suivie pas une réduction progressive synonyme de la mise de place de réponses d'acclimatation à la chaleur (Renaudeau *et al.*, 2010). Nos observations sur les indicateurs des pertes de chaleur (évolutions de la température cutanée et du rythme respiratoire (Renaudeau, 2020)) indiquent que cette réponse d'acclimatation n'est pas liée à une augmentation de la capacité des animaux à dissiper la chaleur. La réduction de la  $T_{int}$  serait liée d'abord à une diminution de leur production de chaleur métabolique basale (Renaudeau *et al.*, 2013) et pourrait expliquer pourquoi la CMJ ré-augmente au cours de cette phase d'acclimatation.

L'hypothermie observée pendant la phase de récupération (J5-J11) notamment au cours du premier challenge thermique est

un des résultats originaux de cette étude. Cette hypothermie post-stress thermique a préalablement été observée chez la volaille (Teeter *et al.*, 1992) et les rongeurs (Leon *et al.*, 2005) mais pas chez le porc (Mayorga *et al.*, 2018b). Toutefois dans cette dernière étude, la  $T_{int}$  était évaluée indirectement par des mesures ponctuelles (06h00, 12h00 et 18h00) de la température rectale. Dans notre étude, des mesures ponctuelles de la température rectale ont également été réalisées à 09h00 et 16h00 (résultats non présentés dans ce papier) et n'ont également pas permis de mettre en évidence cette hypothermie post stress thermique. En fait, l'hypothermie observée dans notre étude est essentiellement liée à une faible  $T_{int}$  pendant la période nocturne (en particulier entre 21h00 et 07h00). En conséquence, des mesures ponctuelles de la  $T_{int}$  pendant la journée ne permettent pas de la mettre en évidence. Ces observations indiquent que pour caractériser le plus précisément possible les réponses de thermorégulation, il est nécessaire de se donner le moyen de suivre la  $T_{int}$  sur l'ensemble du nyctémère. Les mécanismes sous-jacents à cette hypothermie post-challenge ne sont pas bien décrits. Les travaux réalisés chez les rongeurs suggèrent qu'elle pourrait résulter de dommages sur les centres nerveux de la thermorégulation liés au stress induit par l'exposition à la chaleur et/ou une conséquence de la mise en place des réponses d'acclimatation pendant dans le challenge thermique (Leon *et al.*, 2005). De manière surprenante, la mise en place de cette hypothermie post-challenge semble être âge-dépendante car elle est observée préférentiellement pour les animaux exposés au challenge thermique au cours de la première période. A ce stade, nous n'avons aucun élément pour expliquer ce résultat.

A la mise en place de cette étude, une de nos hypothèses était qu'une ou plusieurs expositions précoces à la chaleur pourraient aider les animaux à mieux tolérer une nouvelle exposition à une vague de chaleur. Sur la base des mesures en continu de la  $T_{int}$ , nos résultats indiquent que les porcs du lot CCC supportent mieux le challenge thermique que les animaux des lots non-acclimatés au cours de la période 2 (lot TCT) et de la période 3 (lot TTC). Chez l'homme, cette réduction apparente de la sensibilité à la chaleur suite à une exposition précoce est expliquée par une diminution de la température seuil à partir de laquelle les réponses d'acclimatation (notamment la sudation) sont mises en place par le centre nerveux de la thermorégulation (Horowitz, 2016). Dans notre étude, nous ne pouvons cependant pas exclure que l'amélioration de la tolérance à la chaleur pour les porcs du lot CCC ne soit pas liée à l'hypothermie mise en place à la suite de la première exposition au challenge thermique. L'amélioration de la tolérance à la chaleur des animaux du lot CCC se traduit par des meilleures performances de croissance notamment à la troisième exposition au challenge thermique. Même si la CMJ tend à être supérieure pour le lot CCC comparativement au lot TTC, l'amélioration du GMQ est en grande partie liée à une moindre dégradation de l'IC sous l'effet de la chaleur. La mise en place des réponses de thermorégulation et notamment l'augmentation de la fréquence des ventilations pulmonaires pour augmenter les pertes de chaleur par la voie évaporative représente une dépense énergétique non négligeable pour le porc (Renaudeau *et al.*, 2013). Ainsi, la dégradation plus importante de l'IC pour le lot TTC comparativement au lot CCC au cours du 3<sup>ème</sup> challenge pourrait être liée à une augmentation des besoins d'entretien liés aux réponses de thermorégulation.

## CONCLUSION

Cette étude représente une des premières tentatives pour décrire les effets des vagues de chaleur sur les performances du porc en croissance. Outre les effets classiques de la chaleur sur les performances et les réponses de thermorégulation des porcs pendant le challenge thermique, cette étude indique qu'au moins à court terme (dans les 7 jours qui suivent la fin du challenge), aucune compensation immédiate n'est observée pour la CMJ et le GMQ. Ce résultat est à prendre en compte dans les stratégies nutritionnelles qui pourraient être mises en place pour atténuer les effets des vagues de chaleur sur les performances des porcs, notamment en cas d'expositions

multiplés. Dans nos conditions expérimentales, les résultats de cette étude montrent que les porcs semblent mieux tolérer les effets d'une vague de chaleur quand ils ont été préalablement exposés à ce type d'évènement au cours de leur vie productive. Les mécanismes impliqués devront être précisés dans des travaux ultérieurs.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet PigChange financé par l'INRAE (Métaprogramme ACCAF) et du projet Feed-a-Gene financé par le programme H2020 de l'Union Européenne (N°633631).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baumgard L.H., Rhoads R.P., 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 1, 311-337.
- Horowitz M., 2016. Epigenetics and cytoprotection with heat acclimation. *J. Appl. Physiol.*, 120, 702-710.
- Leon L.R., DuBose D.A., Mason C.W., 2005. Heat stress induces a biphasic thermoregulatory response in mice. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 288, R197-R204.
- Mayorga E.J., Renaudeau D., Ramirez B.C., Ross J.W., Baumgard L.H., 2019. Heat stress adaptations in pigs. *Anim. Front.*, 9, 1, 54-61.
- Mayorga E.J., Kvidera S.K., Horst E.A., Al-Qaisi M., Dickson M.J., Seibert J.T., Lei S., Keating A.F., Ross J.W., Rhoads R.P., Rambo Z.J., Wilson M.E., Baumgard L.H., 2018. Effects of zinc amino acid complex on biomarkers of gut integrity and metabolism during and following heat stress or feed restriction in pigs. *J. Anim Sci.*, 96, 4173-4185.
- Prince T.J., Jungst S.B., Kuhlert D.L., 1983. Compensatory responses to short-term feed restriction during the growing period in Swine. *J. Anim Sci.*, 56, 846-852.
- Renaudeau D., 2020. Impact of single or repeated short-term heat challenges mimicking summer heat waves on thermoregulatory responses and performances in finishing pigs. *Translational Animal Science*, Volume 4, Issue 4, October 2020 (in press: <https://doi.org/10.1093/tas/txaa192>)
- Renaudeau D., Gourdine J.L., St-Pierre N.R., 2011. A meta-analysis of the effect of high ambient temperature on growing-finishing pigs. *J. Anim Sci.*, 89, 2220-2230.
- Renaudeau D., Anais C., Tel L., Gourdine J.L., 2010. Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *J. Anim Sci.*, 88, 3715-3724.
- Renaudeau D., Frances G., Dubois S., Gilbert H., Noblet J., 2013. Effect of thermal heat stress on energy utilization in two lines of pigs divergently selected for residual feed intake. *J. Anim Sci.*, 91, 1162-1175.
- Soubeyroux J.M., Ouzeau G., Schneider M., Cabanes O., Koukoku-Arnaud R., 2016. Les vagues de chaleur en France : analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*, 94, 45-51.
- Teeter R.G., Smith M.O., Wiernusz C.J., 1992. Research Note: Broiler Acclimation to Heat Distress and Feed Intake Effects on Body Temperature in Birds Exposed to Thermoneutral and High Ambient Temperatures. *Poult. Sci.*, 71, 1101-1104.