

Climat tempéré vs tropical : étude des paramètres génétiques, des caractères de production et d'adaptation à la chaleur chez le porc en croissance

Thomas LOYAU (1), Roseline ROSE (1), Hélène GILBERT (2), David RENAUDEAU (3), Mario GIORGI (4), Yvon BILLON (5), Juliette RIQUET (2), Jean-Luc GOURDINE (1)

(1) URZ UR143, INRA, 97170, Petit-Bourg (Guadeloupe), France

(2) GenPhySE UMR1388, INRA, Université de Toulouse, INP, ENSAT, ENVT, 31326 Castanet Tolosan, France

(3) PEGASE UMR1348, INRA, Agrocampus Ouest, 35590 St Gilles, France

(4) PTEA UE1294, INRA, 97170 Petit-Bourg (Guadeloupe), France

(5) GenESI UE1372, INRA, 17700 Surgères, France

Thomas.Loyau@inra.fr

Avec la collaboration technique de K. Benony, D. Beramice, B. Bocage, M. Bructer et F. Silou de l'Unité Expérimentale PTEA (4) et F. Meslier, J. Bailly, P. Epagneaud et C. Lebourhis de l'Unité expérimentale GenESI (5)

Climat tempéré vs tropical : Etude des paramètres génétiques, des caractères de production et d'adaptation à la chaleur chez le porc en croissance

Pour caractériser le déterminisme génétique de l'adaptation à la chaleur chez le porc en croissance, 1253 animaux backcross (1/4 lignée Créole, 3/4 Large White) ont été élevés dans des conditions classiques d'élevage en milieu tempéré (TEMP : n=601 sur 11 bandes) ou tropical (TROP : n=652 sur 12 bandes). Les caractères de production ont été mesurés entre 11 et 23 semaines d'âge, et les températures rectales (TR) et cutanées (TC) à 19, 21 et 23 semaines d'âge, pour évaluer les capacités de thermorégulation des porcs. L'héritabilité de la TR est faible (TEMP $h^2 = 0,16 \pm 0,06$, TROP $h^2 = 0,10 \pm 0,04$). L'héritabilité de la TC est différente entre les deux environnements (TEMP $h^2 = 0,12 \pm 0,03$; TROP $h^2 = 0,36 \pm 0,14$) avec une corrélation génétique entre les deux environnements fortement négative ($-0,64 \pm 0,03$). Concernant les caractères de production, l'héritabilité du gain d'épaisseur de lard est plus élevée en TROP ($h^2 = 0,21 \pm 0,04$) qu'en TEMP ($h^2 = 0,11 \pm 0,03$). Les corrélations génétiques de la TC avec le poids vif à 23 semaines d'âge et l'épaisseur de lard dorsal sont positives en TEMP alors qu'elles sont négatives en TROP. Les mécanismes engagés pour dissiper la chaleur ou pour la croissance, en partie sous contrôle génétique, seraient différents entre environnements.

Temperate vs. tropical climate: Study of the genetic parameters of production and heat adaptation traits in growing pigs

The aim of this study was to characterize the genetic determinism of heat adaptation in growing pigs. A total of 1,253 Creole-Large White backcross pigs (1/4 Creole, 3/4 Large-White) were reared in classic conditions in temperate (TEMP; n=601; 11 batches) or tropical (TROP; n=652; 12 batches) climate. Production phenotypes were recorded between 11 and 23 weeks of age and rectal (RT) and cutaneous temperatures (CT) were recorded at 19, 21 and 23 weeks of age. Heritability of RT was low (TEMP $h^2 = 0.16 \pm 0.06$, TROP $h^2 = 0.10 \pm 0.04$). Heritability of CT was different between environments (TEMP $h^2 = 0.12 \pm 0.03$; TROP $h^2 = 0.36 \pm 0.14$) and genetic correlation between environments was negative (-0.64 ± 0.03). About production traits, we observed that the heritability of backfat thickness gain was higher in TROP ($h^2 = 0.21 \pm 0.04$) than in TEMP ($h^2 = 0.11 \pm 0.03$). Genetic correlation between body weight at 23 weeks of age, backfat thickness and TC are positive in TEMP whereas these values are negative in the TROP environment. Thus, these results suggest that pathways involved in heat dissipation partly under genetic control, may differ according to the environment.

INTRODUCTION

La sélection génétique des animaux d'intérêt agronomique est le plus souvent réalisée dans un environnement optimal (ration riche en nutriments, pression faible en pathogènes, thermoneutralité) pour favoriser l'expression du potentiel génétique de l'animal. Ainsi, lorsque le milieu d'élevage s'éloigne des conditions dans lesquelles l'animal a été sélectionné, on observe généralement une diminution de son niveau de performance.

Aujourd'hui, environ 50% de la production porcine mondiale est réalisée en zone tropicale ou sub-tropicale (Bruisma, 2003). Dans ces conditions, des solutions (modification de la conduite alimentaire ou de l'ambiance des bâtiments d'élevage) ont été proposées pour atténuer le stress thermique chez le porc (Mandonnet *et al.*, 2011). Cependant, ces méthodes sont parfois techniquement et économiquement difficiles à mettre en place, notamment en zones tropicale et sub-tropicale. Dans ces régions, la sélection génétique pour améliorer l'adaptation des animaux à leur environnement s'avère une option plus prometteuse et durable pour les élevages porcins.

Néanmoins, en amont de la définition d'objectifs de sélection, il est important de comprendre le déterminisme génétique des caractères de thermorégulation et d'adaptation à la chaleur chez le porc. Dans cette perspective, différentes mesures ont été réalisées de façon simultanée en milieu tempéré et en milieu tropical humide sur un dispositif familial connecté dans les deux environnements. Une base de données phénotypiques a été constituée comprenant à la fois les aptitudes de production et de thermorégulation. Les données zootechniques ont été présentées lors des JRP 2016 (Rosé *et al.*, 2016), montrant des différences de performances selon l'environnement climatique.

L'objectif de cette étude est d'estimer les paramètres génétiques des différents phénotypes étudiés dans chaque élevage séparément, puis dans une analyse conjointe, afin de mettre en évidence des interactions entre le génotype et l'environnement climatique sur les caractères liés à l'adaptation à la chaleur.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Dans ce dispositif, 1253 porcs sont issus du croisement de 10 mâles F1 Large White (LW) x Créole (CR) avec 130 femelles LW distribuées sur les deux élevages.

En milieu tempéré (TEMP; INRA GenESI, Le Magneraud, 17700, Surgères, 46°N, 0°W), 601 animaux issus de 11 bandes ont été élevés en bâtiment conventionnel avec une température ambiante moyenne, minimale et maximale de respectivement 25,1, 20,5 et 27,7°C. L'hygrométrie moyenne est de 61,2%.

En environnement tropical (TROP; INRA PTEA, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, 16°N, 61°W), 652 animaux issus de 12 bandes ont été élevés avec une température ambiante moyenne, minimale et maximale de respectivement 26,2, 22,9 et 28,5°C. L'hygrométrie moyenne est de 84,4% (Rosé *et al.*, 2016). Le bâtiment en environnement tropical est semi-ouvert et les animaux sont soumis aux variations de la température et d'hygrométrie ambiante.

Chaque verrat F1 a produit en moyenne 60 descendants dans chaque environnement. Les porcelets ont été sevrés à

4 semaines d'âge. A l'entrée en engraissement (à 10 semaines d'âge), les animaux ont été répartis en 6 groupes de 10 porcs. La mise en lot a pris en compte l'origine de père, le sexe et le poids à 10 semaines d'âge. Le contrôle en croissance commençait à 11 semaines d'âge et finissait à 23 semaines d'âge. Les animaux avaient un accès libre à l'eau et à l'aliment. Pendant l'engraissement, ils étaient nourris avec un aliment commercial contenant 15,7 MJ ED/kg et 17% de protéines digestibles.

1.2. Phénotypage

Tous les animaux ont été pesés à 11 semaines d'âge (PV11) et à 23 semaines d'âge (PV23), sans mise à jeun préalable. Le gain moyen quotidien (GMQ) a été calculé entre 11 et 23 semaines d'âge. L'épaisseur de lard dorsal (ELD) a été mesurée par échographie à 19 (ELD19) et 23 semaines d'âge (ELD23). La moyenne des ELD aux deux stades a été calculée (ELDMoy), et le gain relatif d'ELD entre 19 et 23 semaines d'âge (GELD) a été estimé grâce à l'équation (1) :

$$GELD = [ELD23 - ELD19] / ELD19 \quad (1)$$

Chaque porc a été identifié avec une puce électronique RFID à l'oreille permettant l'identification individuelle par le distributeur d'aliment concentré (DAC, Aema 128, Acemo, Pontivy). Après une semaine d'adaptation au DAC (à 10 semaines d'âge), la consommation individuelle des animaux a été enregistrée sur trois séries de 2 semaines, sur la moitié des animaux à la fois, l'autre moitié étant nourrie à l'aide de trémies collectives conventionnelles. Les données de consommation individuelle sont donc disponibles pour les semaines d'âge 11-12, 15-16 et 19-20 (période 1) pour une moitié des animaux, et 13-14, 17-18, 21-22 (période 2), pour l'autre moitié. Ces données ont permis le calcul de la consommation moyenne journalière (CMJ) des animaux, de l'indice de consommation (IC), et de la consommation moyenne journalière résiduelle (CMJR).

La CMJR est la résiduelle du modèle de la CMJ obtenue à l'aide la procédure GLM de SAS (SAS version 9.4, Inst. Inc. Cary, NC) :

$$CMJ_{ijkmn} = \mu + S_i + B_j(S_i) + S_k + P_n + GMQ_m + ELD23_m + P60_m + e_{ijkmn} \quad (2)$$

où CMJ est la consommation moyenne journalière de l'animal m , μ la moyenne générale, S_i l'effet fixe du site i (TEMP ou TROP), $B_j(S_i)$ l'effet de la bande intra site (12 niveaux en TROP et 11 niveaux en TEMP), S_k l'effet du sexe k de l'animal (femelle ou mâle castré), P_n la période de consommation de l'animal (période 1 ou 2), $ELD23$ l'épaisseur de lard dorsal à 23 semaines d'âge, $P60_m$ le poids métabolique de l'animal m et e_{ijkmn} la résiduelle du modèle. $P60$ est calculé selon l'équation (3) :

$$P60 = (PV23^{1.6} - PV11^{1.6}) / 1.6 * (PV23 - PV11) \quad (3)$$

Les températures rectales (TR) ont été enregistrées aux semaines d'âge 19, 21, 23 à l'aide d'un thermomètre digital, et les températures cutanées (TC) ont été mesurées aux semaines d'âge 19 et 23 à l'aide d'une sonde thermocouple posée sur le dos de l'animal (site P2).

1.3. Analyses génétiques

Une analyse de variance préliminaire en utilisant la procédure GLM de SAS (SAS version 9.4, Inst. Inc. Cary, NC) a été réalisée pour sélectionner les effets fixes à inclure dans le modèle animal. A partir de cette première étape, les analyses génétiques ont été réalisées avec le modèle (4) pour PV11, PV23, GMQ, GELD, ELDMoy, avec le modèle (5) pour les caractères impliquant des mesures d'ingéré CMJ, CMJR, IC, et

avec le modèle (6) pour les données répétées ELD19, ELD23, TR19, TR21, TR23, TC19 et TC23 :

$$y_{ijkm} = \mu + S_i + B_j(S_i) + S_k + A_m + e_{ijkm} \quad (4)$$

$$y_{ijkmn} = \mu + S_i + B_j(S_i) + S_k + P_n + A_m + e_{ijkmn} \quad (5)$$

$$y_{ijkmn} = \mu + S_i + B_j(S_i) + S_k + A_m + ST_n + e_{ijkmn} \quad (6)$$

où y_{ijkm} ou y_{ijkmn} est la performance de l'animal m , μ la moyenne générale, S_i l'effet fixe du site i (TEMP ou TROP), $B_j(S_i)$ l'effet de la bande intra site, S_k l'effet du sexe k de l'animal (femelle ou mâle castré), P_n la période de consommation de l'animal (période 1 ou 2), A_m l'effet génétique additif de l'animal m , e_{ijkm} ou e_{ijkmn} l'effet résiduel, et ST_n le stade correspondant au moment de la mesure n (semaines d'âge 19, 21 ou 23). L'effet portée n'a pas été retenu dans ces premières analyses, il est donc vraisemblable que les héritabilités, en particulier pour les caractères les plus précoces, ont été légèrement surestimés. Le fichier pedigree comprenait 1253 animaux issus de 10 verrats et 120 truies (environ 60 truies par environnement). Les phénotypes mesurés en environnement TEMP et TROP ont été analysés avec des modèles multivariés pour estimer les corrélations génétiques entre les environnements pour ces caractères. Les analyses génétiques ont été réalisées avec le logiciel VCE6.0 (Neumaier et Groeneveld, 1998 ; Groeneveld *et al.*, 2010). Comme tous les phénotypes ne pouvaient être inclus dans une analyse unique, des analyses bivariées ou multivariées à quatre caractères ont été réalisées. Un test unilatéral de Student a été réalisé pour déterminer si les paramètres génétiques étaient différents de zéro ou de 1. Quand un phénotype apparaît dans différentes analyses, le résultat présenté est la moyenne des estimations du paramètre génétique correspondant.

Tableau 1 – Héritabilités et corrélations génétiques des paramètres de production entre milieux tempéré et tropical

Phénotypes	Héritabilité en milieu TEMP	Héritabilité en milieu TROP	Corrélation génétique
PV11	0,88 ± 0,18	0,87 ± 0,14	0,80 ± 0,16‡
PV23	0,63 ± 0,16	0,65 ± 0,10	0,63 ± 0,13
CMJ	0,19 ± 0,07	0,27 ± 0,08	0,29 ± 0,08
CMJR	0,08 ± 0,05*	0,11 ± 0,05	0,94 ± 0,06‡
IC	0,13 ± 0,05	0,15 ± 0,02	0,82 ± 0,02
ELD 19	0,48 ± 0,05	0,36 ± 0,07	0,43 ± 0,07
ELD 23	0,53 ± 0,06	0,49 ± 0,06	0,31 ± 0,04
GELD†	0,11 ± 0,03	0,21 ± 0,04	0,46 ± 0,07
ELDMoy	0,47 ± 0,11	0,37 ± 0,06	0,64 ± 0,08
GMQ	0,50 ± 0,11	0,55 ± 0,13	0,60 ± 0,07

†Héritabilités significativement différente entre environnement tempéré et tropical ($P < 0,05$). *Héritabilité non significativement différente de zéro ($P < 0,05$).

‡Corrélation génétique non significativement différente de 1 ($P < 0,05$). PV11 et PV23 : Poids vif à 11 et 23 semaines d'âge ; CMJ : consommation moyenne journalière entre les semaines 11 et 23 et mesurée individuellement et de manière continue pendant 15 jours sur 3 périodes : soit en semaines d'âge 11-12, puis 15-16, puis 19-20 ; soit en semaines d'âge 13-14, puis 17-18 et 21-22 ; CMJR : consommation moyenne journalière résiduelle entre les semaines d'âge 11 et 23 ; IC : indice de consommation entre les semaines d'âge 11 et 23 ; ELD19 et ELD23 : épaisseur de lard dorsal à 19 et 23 semaines d'âge ; GELD : gain relatif d'épaisseur de lard dorsal entre les semaines d'âge 19 et 23 ; ELDmoy : moyenne des ELD à 19 et 23 semaines d'âge ; GMQ : gain moyen quotidien entre les semaines 11 et 23.

2.2. Héritabilités des paramètres de thermorégulation et corrélations génétiques entre milieux tempéré et tropical

Les résultats des estimations des héritabilités en milieu TEMP et TROP pour les variables liées aux réponses de thermorégulation ainsi que les corrélations génétiques entre environnements TROP et TEMP sont présentés dans le Tableau 2.

Quel que soit l'environnement, l'héritabilité de TR à 19, 21 et 23 semaines d'âge sont faibles (de 0,04 à 0,09). A notre connaissance, il s'agit des premières estimations d'héritabilité de la température rectale chez le porc en croissance. Elles suggèrent une très forte régulation de ce paramètre physiologique chez le porc en croissance, même en conditions tropicales. Ces valeurs sont dans la tranche basse des

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Héritabilités et corrélations génétiques entre milieux tempéré et tropical des caractères de production

Les estimations d'héritabilité pour les différents caractères mesurés sont présentées dans le Tableau 1. Les estimations d'héritabilités pour GMQ, CMJ et ELD23, sont concordantes avec celles reportées dans différents types génétiques de porcs en croissance (Saintilan *et al.*, 2013).

Seule l'héritabilité du GELD est plus élevée en milieu tropical qu'en milieu tempéré. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le métabolisme lipidique et le dépôt de gras sont plus sollicités dans un contexte de stress thermique que de thermoneutralité, maximisant les différences entre les animaux.

Les héritabilités pour l'indice de consommation et la consommation résiduelle sont faibles par rapport aux valeurs rapportées dans la littérature, probablement en raison de la précision de la mesure (en effet les mesures d'ingéré d'un animal sont disponibles que sur 50% de la durée totale d'engraissement).

Nos résultats montrent que les corrélations génétiques entre le milieu TEMP et TROP sont positives et différentes de 1 sauf pour le PV11. Cela suggère que les mécanismes génétiques sous-jacents à ces caractères sont partiellement différents entre les deux environnements, et que l'ensemble du progrès génétique réalisé grâce à une sélection en milieu TEMP ne se retrouve pas complètement en milieu TROP.

estimations d'héritabilité de températures internes obtenues chez les bovins ou les volailles en situation de stress ou de thermoneutralité (de 0,06 à 0,49, Tixier-Boichard *et al.*, 1995, Dikmen *et al.*, 2012, Loyau *et al.*, 2013). Ces résultats sont néanmoins plus faibles que ceux reportés chez la truie en lactation en milieu tropical (0,35 ± 0,09 ; Gourdine *et al.*, 2016). Cette différence entre stades physiologiques peut être en lien avec le cycle hormonal de la truie. En période de lactation, le métabolisme des truies est fortement sollicité. Ces mécanismes ayant un contrôle génétique prépondérant, il semble cohérent que l'héritabilité soit plus élevée.

Les estimations d'héritabilités pour la TC19 et TC23 sont faibles en environnement TEMP (respectivement 0,06±0,03 et 0,08±0,03) et modérées en environnement TROP

(respectivement $0,25 \pm 0,10$ et $0,38 \pm 0,12$), avec une différence significative d'héritabilité entre les deux environnements ($P < 0,05$). Les estimations en milieu tropical sont concordantes avec celles obtenues chez la truie en lactation ($0,34 \pm 0,12$; Gourdine et al., 2016) et chez la poule pondeuse mesurés par caméra infrarouge ($0,20 \pm 0,04$; Loyau et al., 2016).

La température cutanée est un indicateur de la capacité d'un animal à dissiper de la chaleur au travers de la peau. Nous montrons ici une corrélation génétique négative entre les deux environnements de $-0,67$ et $-0,72$ respectivement pour TC19 et TC23 suggérant que le déterminisme génétique de la dissipation de chaleur diffère fortement selon l'environnement climatique.

Tableau 2 – Héritabilités et corrélations génétiques des paramètres de thermorégulation entre milieux tempérés et tropical

Phénotypes	Héritabilité en milieu TEMP	Héritabilité en milieu TROP	Corrélation génétique
TR19	$0,04 \pm 0,03^*$	$0,06 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,03$
TR21	$0,08 \pm 0,06^*$	$0,08 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,02^*$
TR23	$0,07 \pm 0,04$	$0,09 \pm 0,04$	$0,04 \pm 0,01$
TC19†	$0,06 \pm 0,03$	$0,25 \pm 0,10$	$-0,67 \pm 0,04$
TC23†	$0,08 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,12$	$-0,72 \pm 0,08$

†Héritabilités significativement différentes entre environnements tempérés et tropical ($P < 0,05$). * Héritabilité ou corrélation non significativement différente de zéro ($P < 0,05$). TR19, TR21 et TR23 : température rectale à 19, 21 et 23 semaines d'âge, TC19 et TC23 : température cutanée à 19 et 23 semaines d'âge.

2.3. Corrélations génétiques entre température cutanée et caractères de production

Compte tenu de la faible héritabilité de TR, nous rapportons dans cette partie uniquement les corrélations génétiques entre TC19 ou TC23 et les caractères de production ou TR19, TR21 et TR23 (Tableau 3).

En environnement TEMP, les corrélations entre la température cutanée (TC19 ou TC23) et le PV23, la CMJ, la CMJR ou le GMQ sont positives. Ces corrélations suggèrent une relation favorable entre le niveau de production ou le métabolisme de l'animal et sa capacité à dissiper la chaleur.

Au contraire, les corrélations génétiques entre TC19 ou TC23 avec les caractères de production PV23, la CMJ, les ELD ou le GMQ sont négatives en environnement TROP, suggérant un antagonisme entre le niveau de production de l'animal et sa capacité à dissiper de la chaleur par voie sensible.

Il est possible qu'en milieu tropical, les animaux ayant un poids élevé favorisent d'autres mécanismes pour dissiper de la chaleur, comme des mécanismes par voie latente, notamment l'hyperventilation respiratoire. Ainsi, les porcs capables de maintenir une température corporelle à un même niveau en milieu tropical seraient plus aptes à atteindre des poids vifs élevés. Les résultats à 19 semaines d'âge sont difficiles à expliquer, mais ceux à 23 semaines d'âge concordent avec les mécanismes potentiels développés ci-dessus pour le milieu tropical.

En milieu TEMP, les températures cutanées sont peu corrélées avec les températures rectales. En milieu tropical, les corrélations entre températures cutanées et rectales sont modérées à élevées et positives. Il a été montré dans la littérature que la température cutanée est fortement corrélée avec la capacité de survie des animaux lors d'un stress thermique (Yamamoto et al., 1971).

Tableau 3 – Corrélations génétiques entre températures cutanées, caractères de production et de température rectale

Phénotypes	TC19 TEMP	TC23 TEMP	TC19 TROP	TC23 TROP
PV11	$-0,19 \pm 0,04$	$0,40 \pm 0,04$	$-0,16 \pm 0,03$	$-0,04 \pm 0,02$
PV23	$0,50 \pm 0,05$	$0,64 \pm 0,06$	$-0,24 \pm 0,05$	$-0,23 \pm 0,05$
CMJ	$0,48 \pm 0,04$	$0,45 \pm 0,03$	$0,01 \pm 0,06^*$	$-0,18 \pm 0,04$
CMJR	$0,25 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,02$	$0,24 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01$
IC	$-0,04 \pm 0,02$	$-0,24 \pm 0,02$	$0,18 \pm 0,10$	$0,12 \pm 0,04$
ELD 19	$0,10 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,02$	$-0,42 \pm 0,03$	$-0,19 \pm 0,03$
ELD 23	$0,05 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$-0,24 \pm 0,02$	$-0,32 \pm 0,02$
GELD	$0,08 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$	$0,35 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,01$
ELDMoy	$0,18 \pm 0,04$	$0,01 \pm 0,05^*$	$-0,24 \pm 0,05$	$-0,28 \pm 0,05$
GMQ	$0,56 \pm 0,05$	$0,77 \pm 0,05$	$-0,20 \pm 0,04$	$-0,20 \pm 0,05$
TR19	$-0,04 \pm 0,03$	$-0,04 \pm 0,04^*$	$0,36 \pm 0,08$	$0,20 \pm 0,04$
TR21	$0,28 \pm 0,06$	$-0,11 \pm 0,04$	$0,75 \pm 0,03$	$0,60 \pm 0,02$
TR23	$0,36 \pm 0,03$	$0,23 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,06$	$0,38 \pm 0,02$

*Héritabilité ou corrélation non significativement différente de zéro ($P < 0,05$). PV11 et PV23 : Poids vif à 11 et 23 semaines d'âge, CMJ : consommation moyenne journalière, CMJR : consommation moyenne journalière résiduelle, IC : indice de consommation, ELD 19 et ELD23 : épaisseur de lard dorsal à 19 et 23 semaines d'âge, GELD : gain relatif d'épaisseur de lard dorsal entre les semaines d'âge 19 et 23, ELDmoy : moyenne des ELD à 19 et 23 semaines d'âge, GMQ : gain moyen quotidien.

CONCLUSION

Ces premiers travaux d'estimation des paramètres génétiques liés à l'adaptation à la chaleur sur le porc en croissance mettent en évidence que la dissipation de chaleur est en partie sous contrôle génétique.

La température rectale est un caractère moins héritable que la température cutanée, même en environnement tropical où les animaux sont soumis à des conditions qui devraient accentuer la variabilité inter-individuelle.

Les techniques de mesures de la température interne pourraient être améliorées pour affiner le phénotype, notamment à l'aide de capteurs de température insérés en sous-cutané. Cela permettrait de déterminer si, en améliorant

la précision de la mesure, on améliorerait l'héritabilité du caractère. Cette technique est actuellement expérimentée par notre laboratoire et elle permet d'appréhender la cinétique de la température interne.

Les mesures de température cutanée semblent prometteuses d'un point de vue génétique, étant proches de la capacité des animaux à s'adapter à leur environnement, et héréditaires. Nous montrons aussi que les corrélations génétiques entre environnements tempéré et tropical sont souvent différentes de 1 pour les caractères de production. Cela suggère qu'il est nécessaire d'inclure des stratégies de sélection dédiées à l'amélioration des performances en milieu tropical pour répondre à l'extension de la production porcine dans les régions tropicales et sub-tropicales.

Ces premières données permettront d'évaluer les perspectives d'inclusion des paramètres de thermorégulation dans les schémas de sélection pour l'élevage en zone tropicale et subtropicale.

Nos résultats pourraient suggérer des recrutements de mécanismes différents entre milieu tempéré et tropical pour dissiper la chaleur. De plus, en environnement tropical, la corrélation génétique négative entre la température cutanée et PV23 semble aller dans le sens de la théorie de l'allocation des nutriments (Rauw, 2008). Cette théorie suggère qu'il existe un équilibre entre les fonctions d'adaptation - ici estimées via les températures corporelles - de croissance et d'entretien.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du programme PigHeaT (ANR-12 ADAP-0015, 2012-2016), le fond social Européen et la Région Guadeloupe pour le financement de ce projet, dans le cadre du projet AgroEcoDiv.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bruinsma J., 2003. World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. Available at <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e00.htm>
- Dikmen S., Cole J.B., Null D.J., Hansen P.J., 2012. Heritability of rectal temperature and genetic correlations with production and reproduction traits in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 95, 3401-3405.
- Gourdine J-L., Mondonnet N., Giorgi M., Renaudeau D., 2016. Genetic parameters for thermoregulation and production traits in lactating sows reared in tropical climate. *Anim.*, 5, 1-10.
- Groeneveld E., Kovac M., Mielenz M., 2010. VCE user's guide and reference manual version 6.0. Available at <ftp://ftp.tzv.fal.de/pub/vce6/doc/vce6-manual-3.1-A4.pdf>
- Loyau T., Berri C., Bedrani L., Métayer-Coustard S., Praud C., Duclos M.J., Tesseraud S., Rideau N., Everaert N., Yahav S., Mignon-Grasteau S., Collin A., 2013. Thermal manipulation of the embryo modifies the physiology and body composition of broiler chickens reared in floor pens without affecting breast meat processing quality. *J. Anim. Sci.*, 91, 3674-3685.
- Loyau T., Zerja T., Rodenburg T.B., Fablet J., Tixier-Boichard M., Pinard-Van-Der-Laan M.H., Mignon-Grasteau S., 2016. Heritability of body surface temperature in hens estimated by infrared thermography at normal or hot temperatures and genetic correlations with egg and feather quality. *Anim.*, 10, 1594-1601.
- Mondonnet N., Tillard E., Faye B., Collin A., Gourdine J-L., Naves M., Bastianelli D., Tixier-Boichard M., Renaudeau D., 2011. Adaptation des animaux d'élevage aux multiples contraintes des régions chaudes. *INRA Prod. Anim.*, 24, 41-64.
- Neumaier A., Groeneveld E., 1998. Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genet. Sel. Evol.*, 1,3-26.
- Rauw W.M., 2009. Part I. Resource Allocation - Introduction, *in* Resource Allocation Theory Applied to Farm Animal Production, ed. W. M. Rauw (Wallingford, UK: CABI Publishing), 1-21.
- Rosé R., Gilbert H., Renaudeau D., Giorgi M., Billon Y., Ferchaud S., Riquet J., Gourdine J-L., 2016. Interactions génotype x environnement (tempéré vs. tropical) sur les caractères de production et de thermorégulation chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 48, 257-262.
- Saintilan R., Mérour I., Brossard L., Tribout T., Dourmad J-Y., Sellier P., Bidanel J-P., Van Milgen J., Gilbert H., 2013. Genetics of residual feed intake in growing pigs: relationships with production traits, and nitrogen and phosphorus excretion traits. *J. Anim. Sci.*, 91, 2542-2554.
- Tixier-Boichard M., Boichard D., Groeneveld E., Bordas A., 1995. Restricted maximum likelihood estimates of genetic parameters of adult male and female Rhode Island Red chickens divergently selected for residual feed consumption. *Poultry Sci.*, 74, 1245-1252.
- Yamamoto S., Tokoro K., Tomishima N., Ito T., Mimura K., 1971. Studies on the effective temperature for farm animals. II Effective temperature for pigs, with special reference to the influence of dry and wet bulb temperatures on the physiological reactions in rearing pigs. *Japanese J. Zootech. Sci.*, 42, 609-616.

