

Interactions génotype x environnement (climat tempéré vs. tropical) sur les caractères de production et de thermorégulation chez le porc en croissance

Roseline ROSE (1), Hélène GILBERT (2), David RENAUDEAU (3), Mario GIORGI (4), Yvon BILLON (5), Stéphane FERCHAUD (5), Juliette RIQUET (6), Jean-Luc GOURDINE (1)

(1) INRA, UR0143 URZ, 97170 Petit-Bourg, France

(2) INRA, UMR1388, GenPhyse, 31326 Castanet Tolosan, France

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

(4) INRA, UE503 PTEA, 97170 Petit-Bourg, France

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

(6) INRA, UMR444, LGC, 31326 Castanet Tolosan, France

Jean-luc.Gourdine@antilles.inra.fr

Avec le soutien financier de l'ANR (ANR-12 ADAP-0015 programme PigHeat 2012-2016),
Fonds social Européen et la Région Guadeloupe

Interactions génotype x environnement (climat tempéré vs. tropical) sur les caractères de production et de thermorégulation chez le porc en croissance

L'objectif de l'étude est d'évaluer les effets de deux environnements climatiques (tempéré, TEMP et tropical, TROP) sur les caractères de production et les réponses thermorégulatrices. Un dispositif familial a été produit entre des porcs Large White (LW), sensibles à la chaleur, et des porcs Créole (CR) plus thermotolérants. Dix verrats F1 LW x CR ont été croisés avec 65 truies LW apparentées dans chaque environnement afin d'obtenir 1253 animaux backcross (TEMP : n=601; TROP : n=652). Des pesées ont été réalisées tous les 15 jours de la 11^{ème} à la 23^{ème} semaine d'âge, et des épaisseurs de lard dorsal (ELD) ont été mesurées aux semaines 19 et 23. L'ingéré a été enregistré de 11 à 23 semaines d'âge. Le GMQ, la consommation journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) ont été estimés. La thermotolérance a été évaluée via des mesures de température cutanée (TC, semaines 19 et 23) et rectale (TR, semaines 19, 21 et 23). Le calcul de l'index THI, combinant les effets de la température et de l'hygrométrie, montre une différence de 2 à 3°C entre TEMP et TROP. Le GMQ et la CMJ en TROP sont plus faibles qu'en TEMP (760 vs. 830 g/j et 1,83 vs. 2,23 kg/j, $P < 0,001$). Les températures corporelles en TROP sont plus élevées qu'en TEMP (respectivement 35,9 vs. 34,8°C pour TC et 39,5 vs. 39,4°C pour TR, $P < 0,001$). La majorité des caractères (GMQ, CMJ, IC, TR, ELD) montrent une interaction famille x environnement ($P < 0,05$) avec des familles « robustes » et « sensibles ».

Genotype x environment interactions (temperate vs. tropical climate) on production and thermoregulation traits in growing pigs

The aim of this study was to evaluate the effect of two climatic environments (temperate, TEMP vs. tropical humid, TROP) on production and thermoregulation traits. A backcross design with Large White (LW, heat sensitive) and Creole (CR, heat tolerant) pigs was performed. Ten F1 LW x CR boars were mated with 65 LW sows per environment. A total of 1,253 backcross pigs (TEMP: n = 601 pigs from 11 batches; TROP: n = 652 pigs from 12 batches) were phenotyped for body weight (every 15 days from week 11 to week 23), feed intake (DFI, from week 11 to 23), backfat thickness (BFT, at weeks 19 and 23), cutaneous temperature (CT, at weeks 19 and 23) and rectal temperature (RT, at weeks 19, 21 and 23). Feed conversion ratio (FCR) was computed for the test period (11 to 23 weeks). The calculation of the temperature-humidity index (THI), which combines the effects of temperature and humidity, showed on average a difference from 2 to 3°C between TEMP and TROP. The ADG and DFI were higher in TEMP than in TROP (830 vs 760 g/d, 2.23 vs 1.83 kg/d, respectively, $P < 0.001$). Body temperatures were higher in TROP than in TEMP (35.9 vs 34.8°C for CT and 39.5 vs 39.4°C for RT, respectively, $P < 0.001$). Most of the studied traits (i.e. ADG, DFI, FCR, RT, BFT) were affected by family x environment interactions ($P < 0.05$) showing "robust" and "sensitive" families.

INTRODUCTION

Plus de 50% des producteurs mondiaux de porcs sont localisés dans les régions tropicales et subtropicales et plus particulièrement dans les régions du sud-est asiatique. Les prédictions montrent un accroissement des productions dans les régions chaudes (Bruisma, 2003). Paradoxalement, le porc est un animal sensible à la chaleur, et il est généralement admis que la température de confort se situe entre 22 et 25°C pour le porc en croissance.

Dans le même temps, le GIEC annonce une augmentation de la température mondiale de plus de 2,4°C avant la fin du XXI^{ème} siècle (IPCC, 2007). Le changement climatique impacte les producteurs implantés dans les pays chauds, mais aussi dans les pays tempérés qui voient se multiplier et s'intensifier les vagues de chaleur. Par exemple, l'impact économique du stress thermique sur la production porcine aux Etats-Unis serait d'environ 300 millions de dollars par an (St-Pierre *et al.*, 2003).

D'autre part, des différences de thermotolérance entre races ou lignées ont été rapportées dans différentes filières animales comme le porc, la vache laitière ou la volaille, suggérant un déterminisme génétique de la tolérance à la chaleur (Gourdine *et al.*, 2007; Hayes *et al.*, 2009; Mignon-Grasteau *et al.*, 2015). Les caractéristiques génétiques conduisant à la tolérance à la chaleur chez le porc ne sont pas clairement identifiées.

Un des objectifs du projet ANR « PigHeat » est d'identifier les QTL liés à la thermotolérance chez le porc. Dans ce cadre, un dispositif familial en rétrocroisement (backcross) a été produit entre des porcs Large White (LW), sensibles à la chaleur, et des porcs Créoles (CR) moins productifs mais plus thermotolérants (Renaudeau, 2005). Différentes mesures ont été réalisées de façon simultanée en milieu tempéré (INRA GenESI, Le Magneraud, 46°N, 0°W) et en milieu tropical humide (INRA PTEA, Guadeloupe, 16°N, 61°W) sur ce dispositif familial et une base de données phénotypiques a été constituée, non seulement pour les aptitudes de production, mais également pour les caractéristiques thermorégulatrices. Cet article propose une première analyse de ces données, en mettant l'accent sur les interactions famille x milieu de production.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Les données de cette étude ont été collectées entre novembre 2013 et octobre 2014. Les porcs sont issus d'un rétrocroisement entre 10 mâles F1 LW x CR et 130 femelles LW. Un total de 1253 animaux apparentés élevés dans deux environnements climatiques a été utilisé. Cela correspond à 601 animaux issus de 11 bandes en milieu tempéré et 652 animaux provenant de 12 bandes en milieu tropical. Les bandes étaient toutes espacées de 6 semaines pour permettre la réalisation de l'ensemble des mesures. Chaque verrat F1 a produit en moyenne 60 descendants dans les 2 environnements (Figure 1). Les porcs étaient sevrés à 4 semaines d'âge ($26,9 \pm 1,7$ j), élevés en post-sevrage jusqu'à 10 semaines d'âge, puis placés en loges par 10 pour le contrôle.

Pour chaque bande, l'expérimentation en croissance commençait à partir de la 11^{ème} semaine d'âge. Pour chaque bande, les animaux ont été pesés à 10 semaines d'âge et 60

animaux ont été sélectionnés en tenant compte de l'origine de père et du sexe afin d'obtenir 6 groupes homogènes de 10 animaux (30 mâles et 30 femelles). Les animaux ont eu libre accès à l'eau. Durant les 12 semaines d'engraissement, les animaux ont été nourris à volonté avec un aliment à base de céréales et de tourteau de soja (en moyenne 15,7 MJ ED/kg, 17 % protéines digestibles). Les aliments proviennent du commerce et ils sont formulés avec des matières premières différentes entre les deux milieux de production.

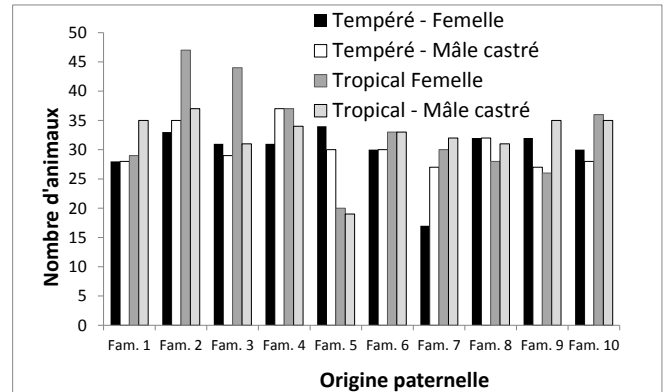


Figure 1 – Distribution du nombre de porcs en fonction du sexe et de l'origine paternelle (n = 10, Fam.1 à Fam. 10)

1.2. Mesures en ferme expérimentale

Les températures ambiantes et les humidités relatives journalières ont été enregistrées sur les deux unités expérimentales. Ces mesures ont été effectuées grâce à un enregistreur de données USB pour température et humidité (EL-USB-2+) placée dans la salle d'engraissement à l'INRA-GENESI et une station de météo Campbell (Campbell Scientific Ltd Shephed UK) à l'INRA-PTEA. Le bâtiment expérimental en milieu tempéré est fermé alors qu'en milieu tropical, les animaux sont élevés dans un bâtiment semi-ouvert soumis aux fluctuations du milieu extérieur (variation journalière de la température ambiante et de l'humidité relative extérieures).

Tous les animaux ont été pesés à la naissance, une semaine avant le sevrage (3^{ème} semaine), au sevrage (4^{ème} semaine), en semaine 10 et ensuite toutes les 2 semaines depuis le début de l'engraissement (11^{ème} semaine) jusqu'à la fin du contrôle (23^{ème} semaine), sans mise à jeun préalable. Pour des raisons techniques, 49 animaux n'ont pas pu être pesés en semaine 11. Le poids a été alors estimé par interpolation linéaire à partir des poids et âges en semaines 10 et 13. L'épaisseur de lard a été mesurée grâce à une sonde ultrason (EL-USB-2+, Lascar, Beauvais) aux semaines 19 et 23. Chaque animal a été équipé d'une bague d'identification à l'oreille permettant l'identification par le distributeur électronique (DAC, Acema 128, Acemo, Pontivy). Après une semaine d'adaptation au DAC (semaine 10), la consommation des animaux était enregistrée en alternance toutes les deux semaines sur la moitié des animaux en DAC, les autres porcs étant nourris par des nourrisseurs collectifs. Nous disposons ainsi des données de consommation sur les semaines 11-12, 15-16 puis 19-20 pour la moitié des animaux et sur les semaines 13-14, 17-18 et 21-22 pour l'autre moitié.

Les températures corporelles ont été enregistrées aux semaines 19, 21 et 23 pour la température rectale et en semaines 19 et 23 pour la température cutanée, respectivement à l'aide d'un thermomètre digital et d'une sonde thermique posé sur le dos de l'animal.

1.3. Analyses statistiques

Un index de température et d'humidité (THI) a été calculé afin de prendre en considération à la fois l'effet de la température ambiante (T), de l'humidité relative (RH) et de leur interaction (NOAA, 1976 ; cité par Zumbach et al. (2008)) :

$$THI = T - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (T - 14.5)$$

Les températures ambiantes, cutanées et rectales ont été incorporées dans un unique indice, l'indice de circulation thermique (ICT ; Renaudeau et al., 2008). Cet indice est utilisé comme un indicateur des transferts de chaleur de la peau vers le milieu extérieur. Pour chaque animal et pour chaque période de mesure (semaines 19 et 23), un tel indice a été calculé, en

Tableau 1 – Données climatiques moyennes dans les deux environnements

Climat ⁽¹⁾	Tempéré			Tropical humide		
	Minimale	Maximale	Moyenne	Minimale	Maximale	Moyenne
Température, °C	20,5	27,7	25,1	22,9	28,5	26,2
Hygrométrie, %	46,2	74,8	61,2	75,3	93,0	84,4
THI, °C ⁽²⁾	19,5	25,5	22,9	22,0	27,4	25,2

⁽¹⁾ Moyennes obtenues à partir des données climatiques journalières relevées à l'intérieur des bâtiments d'élevage entre novembre 2013 et octobre 2014. ⁽²⁾ THI : indice de température et d'humidité combinant la température, l'humidité et leur interaction, à partir de la formule suivante : $THI (°C) = T - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (T - 14.5)$ (NOAA, 1976 ; cité par Zumbach et al. (2008))

Les données de croissance ont été soumises à une analyse de variance (PROC GLM, SAS version 9.4, Inst. Inc. Cary, NC) avec en effets fixes, l'environnement (n=2 : Tempéré vs. Tropical), le sexe (n=2 : Femelle vs. Mâle castré), la bande intra environnement (n=11 en Tempéré, n=12 en Tropical), l'origine paternelle (n=10) et les interactions. Le poids au sevrage a été utilisé comme covariable. Les données avec plusieurs mesures par animal (températures rectales et cutanées, ICT) ont été soumises à une analyse de variance (PROC MIXED) avec les mêmes effets fixes que précédemment, augmentés de l'effet fixe de la semaine de mesure (n=2 pour la température cutanée et l'ICT, n=3 pour la température rectale) et de l'animal en effet aléatoire afin de tenir compte de la répétition des mesures à des périodes différentes. La courbe de croissance (de la naissance à la semaine 23) a été modélisée de 3 manières différentes : i) une analyse de variance avec un ajustement par une équation polynomiale (modèle 1) :

$$PV(\hat{age}) = a + b \times \hat{age} + c \times \hat{age}^2.$$

ii) un modèle mixte linéaire (PROC MIXED) avec la semaine de mesure en effet fixe (modèle 2) et iii) un ajustement individuel des courbes de croissance par un modèle de Gompertz (PROC NLIN) suivi d'une analyse de variance sur les paramètres de la fonction de Gompertz (PROC GLM) (modèle 3). Le modèle de Gompertz employé est le suivant :

$$PV(\hat{age}) = PV_2 \cdot \left(\frac{PV_1}{PV_1} \right) \cdot e^{\left(\frac{-\left(e^{-k \times (\hat{age}_2 - \hat{age}_1)} - e^{-k \times (\hat{age} - \hat{age}_1)} \right)}{-1 + e^{-k \times (\hat{age}_2 - \hat{age}_1)}} \right)}$$

où PV_1 et PV_2 sont les poids vifs à deux âges (\hat{age}_1 et \hat{age}_2) et k est la variable de précocité. Les variables PV_2 et \hat{age}_1 sont des constantes correspondant au poids vif en semaine 23 et à l'âge en semaine 11.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. L'environnement de production

Une analyse en composantes principales des paramètres climatiques par bande (sans *a priori* sur l'origine environnementale) suivie d'une analyse de classification

remplaçant la température ambiante dans la formule initiale par le THI afin de tenir compte de l'effet combiné de la température ambiante et de l'hygrométrie ambiante :

$$ICT = (TC - THI) / (TR - TC)$$

où TC représente la température cutanée, TR la température rectale et THI l'indice de température et d'humidité moyenne calculé le jour de la mesure. La consommation moyenne journalière (CMJ) est calculée comme la moyenne des quantités mesurées quand le porc était en DAC. L'indice de consommation est calculé comme le rapport entre la CMJ et le gain moyen quotidien sur la totalité de la période d'engraissement (de la semaine 11 à la semaine 23).

hiérarchique nous a permis de confirmer la distinction entre environnement tempéré et tropical (résultats non présentés).

Les résultats concernant les paramètres climatiques moyens sont présentés dans le Tableau 1. Les températures moyennes sont de 25,1 et 26,2°C, respectivement, pour l'environnement tempéré et l'environnement tropical. L'amplitude de la température ambiante moyenne est plus élevée en milieu tempéré qu'en milieu tropical (7,2 vs. 5,6°C). L'humidité relative moyenne est plus élevée en milieu tropical (84,4 vs. 61,2%). Notons que l'humidité relative journalière minimale en milieu tropical est plus élevée que la valeur maximale obtenue en milieu tempéré. Par conséquent, l'écart de THI entre environnement est plus important (+2,3°C) que l'écart de température ambiante (+1,1°C).

Quoique les températures critiques de la zone de thermoneutralité (zone dans laquelle le métabolisme de l'animal est relativement constant) soient dépendantes de nombreux facteurs (alimentation, conduite d'élevage, type génétique...), il est généralement admis que cette zone est autour de 22-25°C chez le porc en croissance. Sur cette base, la température ambiante moyenne en milieu tropical étant supérieure à 25°C, on peut considérer que les porcs en croissance sont plus souvent en situation de stress thermique qu'en milieu tempéré.

2.2. Aperçu général des performances de croissance et de thermorégulation

Les résultats concernant les performances de croissance sont présentés dans le Tableau 2.

Conformément à ce qui est généralement reporté dans la littérature (Renaudeau et al., 2011), il y a un effet du sexe et de l'environnement de production sur les performances de croissance des porcs. Les porcs élevés en milieu tempéré ont un poids en début et en fin d'engraissement plus élevé que ceux élevés en milieu tropical (+6 kg et +13 kg, respectivement, $P < 0,001$), ce qui se traduit par des différences de GMQ entre environnements de production de 66 g/j pour les femelles et de 56 g/j pour les mâles castrés ($P <$

0,001) et une plus forte adiposité en milieu tempéré qu'en milieu tropical (+4,6 mm, $P < 0,001$). Cette réduction du GMQ de l'ordre de 27 g/j/°C de THI est en accord avec les résultats obtenus dans la méta-analyse de Renaudeau et al. (2011), où une diminution de l'ordre de 25 g/j/°C de température ambiante est reportée pour les publications les plus récentes. Sur la base des quantités alimentaires consommées en DAC (mesurées en alternance), la CMJ a été affectée par l'environnement de production, avec des consommations significativement plus élevées en milieu tempéré qu'en milieu tropical (+400 g, $P < 0,001$). En relation avec des températures ambiantes et des THI plus élevées, les porcs élevés en milieu tropical ont des températures cutanées et rectales plus

importantes que ceux élevés en milieu tempéré (+1,1 et +0,2°C, respectivement, $P < 0,001$). Cela se traduit par des ICT significativement plus importants en milieu tropical qu'en milieu tempéré (+0,4, $P < 0,001$). Ce résultat semble être en contradiction avec la littérature, qui montre une diminution de l'ICT avec l'élévation de la température ambiante (Renaudeau et al., 2008).

En réalité, dans nos conditions expérimentales, l'écart de température ambiante ou de THI est trop faible, et les fluctuations climatiques dans la journée sont trop importantes (résultats non présentés) pour pouvoir être comparées avec les données de la littérature, dont la majorité est obtenue en chambre climatique.

Tableau 2 – Effet de l'environnement sur les performances de croissance et les réponses thermorégulatrices (moyennes ajustées)

Environnement	Tempéré		Tropical		ETR	Effets ⁽¹⁾
Sexe	Femelle	Mâle castré	Femelle	Mâle castré		
Nb observations	298	303	330	322		
Performances de croissance						
Poids vif initial, kg ⁽²⁾	29,4 ^a	29,9 ^a	23,0 ^b	23,0 ^b	3,0	E**,F**,B(E)** ,PSev**, ExF**
Age initial, j ⁽²⁾	74,4 ^a	74,3 ^a	73,8 ^b	74,0 ^b	1,3	E**,F**,B(E)** ,PSev**, ExF**
Poids vif final, kg ⁽²⁾	99,2 ^a	103,0 ^b	85,9 ^c	90,0 ^d	8,1	E**,F**,B(E)** ,S**,PSev**, ExF**
Age final, j ⁽²⁾	161,0 ^a	160,9 ^a	158,1 ^b	158,3 ^b	1,3	E**,F**,B(E)** ,PSev**, ExF**
Épaisseur de lard final, mm ⁽²⁾	19,3 ^a	21,6 ^b	15,0 ^c	16,7 ^d	2,8	E**,F**,B(E)** ,S**,PSev**, ExF**
Consommation d'aliment, kg/j ⁽³⁾	2,13 ^a	2,32 ^b	1,75 ^c	1,91 ^d	0,42	E**,F**,B(E)** ,S**,PSev**, ExF**
Vitesse de croissance, g/j ⁽²⁾	806,5 ^a	845,1 ^b	740,6 ^c	788,7 ^d	77,5	E**,F**,B(E)** ,S**,PSev**, ExF**
Indice de consommation ⁽²⁾	2,65 ^a	2,76 ^b	2,37 ^c	2,43 ^d	0,50	E**,F**,B(E)** ,S*, ExF*
Thermorégulation						
Température cutanée, °C ⁽⁴⁾	34,8 ^a	34,8 ^a	35,9 ^b	35,9 ^b	0,5	E**,F**,B(E)** ,St**, ExSt*
Température rectale, °C ⁽⁴⁾	39,3 ^a	39,4 ^b	39,5 ^c	39,6 ^d	0,1	E**,F**,B(E)** ,S**,St**, ExF**,ExSt*
ICT ^(4,5)	2,8 ^a	2,7 ^b	3,2 ^c	3,0 ^d	0,6	E**,F**,B(E)** ,S**,St**

⁽¹⁾ Les valeurs sur une même ligne indexées par une lettre différente sont significativement différentes: ** : $P < 0,01$, * $P < 0,05$. ETR : écart type résiduel.

⁽²⁾ Analyse de variance prenant en compte les effets de l'environnement (E, n=2 : Tempéré vs. Tropical), du sexe (S, n=2 : Femelle vs. Mâle castré), de la bande intra environnement (B(E), n=11 en Tempéré, n= 12 en Tropical), de la famille de père (F, n=10) et des interactions. Le poids au sevrage a été utilisé comme covariable (PSev). ⁽³⁾ La consommation alimentaire journalière a été mesurée individuellement et de manière continue pendant 15 jours sur 3 périodes : soit en semaines 11-12, puis 15-16, puis 19-20 ; soit en semaines 13-14, puis 17-18 et 21-22. ⁽⁴⁾ Analyse de variance avec les mêmes effets fixes que (2), l'effet de la semaine de mesure (St, n=2 pour la température cutanée, n=3 pour la température rectale) et de l'animal en effet aléatoire pour tenir compte des mesures de température sur un même animal à des périodes différentes. ⁽⁵⁾ ICT : indice de circulation thermique : $ICT = (TC - THI)/(TR - TC)$ où TC représente la température cutanée, TR la température rectale et THI l'indice de température et d'humidité.

2.3. Interaction origine paternelle x environnement de production sur les performances de croissance et de thermorégulation

Le Tableau 3 présente les effets obtenus sur la modélisation de la croissance en fonction du modèle d'ajustement. Les effets significatifs sont en accord avec ceux obtenus en considérant les données de manière transversale (poids en début et en fin d'engraissement, GMQ ; voir Tableau 2).

Quelle que soit la méthode utilisée pour modéliser la croissance, il y a un effet significatif de l'interaction origine paternelle x environnement de production sur la courbe de croissance.

Ces effets sont illustrés dans la Figure 2 pour le poids et l'ELD en semaine 23 et dans la Figure 3 pour le GMQ et la température rectale.

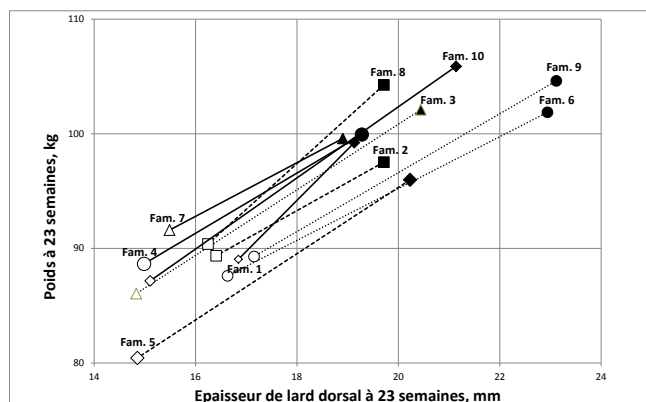


Figure 2 – Interactions famille x environnement (Tempéré en foncé ; Tropical en clair) sur le poids et l'épaisseur de lard à 23 semaines d'âge

Dans ce qui suit, nous définissons une famille comme la plus robuste (et inversement la plus sensible) pour un caractère donné comme celle pour qui la différence entre milieu tempéré et milieu tropical est minimale (et inversement maximale).

Les différences de poids final entre environnement est de 8 kg pour la famille la plus robuste (famille n°7 avec un poids moyen à 23 semaines d'âge de 100 kg en milieu tempéré) et de 19 kg pour la famille la plus sensible (famille n°10 avec un poids moyen à 23 semaines d'âge de 106 kg en milieu tempéré). Les différences de GMQ entre environnement est de 10 g/j pour la famille la plus robuste (famille n°2) et de 97 g/j pour la famille la plus sensible (famille n°10) pour des GMQ moyens en milieu tempéré de 790 et 857 g/j, respectivement. On constate un reclassement de certaines familles. Par exemple, en milieu tempéré, les porcs issus du père n°10 font partie des 3 premiers rangs pour le poids final (1^{er} rang : 106

kg), l'adiposité (3^{ème} rang : 21 mm) et le GMQ (3^{ème} rang : 857 g/j), et le 5^{ème} rang sur la température rectale (39,4°C). Par contre, leurs demi-frères en milieu tropical font partie des 3 derniers rangs concernant le poids à 23 semaines d'âge (8^{ème} rang : 87 kg) et le GMQ (8^{ème} rang : 761 g/j), l'épaisseur de lard (7^{ème} rang : 15 mm) et le 3^{ème} rang pour la température rectale (39,6°C).

En revanche, quel que soit l'environnement de production, les porcs issus du verrat n°5 sont robustes mais moins productifs pour le poids final et le GMQ. En effet, ils occupent le dernier rang pour le poids final (96 et 80 kg, en milieu tempéré et en milieu tropical, respectivement) et le GMQ (773 et 659 g/j, en milieu tempéré et en milieu tropical, respectivement). Paradoxalement aux faibles performances de croissance, les porcs issus du père n°5 ont en moyenne de fortes températures rectales (3^{ème} rang en milieu tempéré : 39,4°C ; 1^{er} rang en milieu tropical : 39,6°C).

Tableau 3 – Effets de l'environnement de production, du sexe, de l'origine familiale sur la courbe de croissance (de la naissance à 23 semaines d'âge) en fonction des modèles d'ajustement

Paramètres	ETR	Effets ¹
Modèle mixte linéaire		
Modèle 1: polynomiale ^(2,3,4)	6,3	E**,F**,B(E)**,age**,ExF*,ExAge**,FxAge**,ExFxAge**,Age ² **,ExAge ² **,FxAge ² **,ExFxAge ² **
Modèle 2 ^(2,3,4)	4,9	E**,F**,B(E)**,St**,ExF*,ExSt**,FxSt**,ExFxSt**
Modèle 3 ^(2,5)		
K, %	0,29	E**,F**,B(E)**,S*,ExF**
Age à 100kg, j	1,9	E**,F**,B(E)**,S*,ExF**
Poids à 70 j, kg	3,4	E**,F**,B(E)**,S*,ExF**

^{(1)**} . $P < 0,01$, * $P < 0,05$. ETR : écart type résiduel ; ⁽²⁾ Effets fixes utilisés : l'environnement (E, n=2 : Tempéré vs. Tropical), du sexe (S, n=2 : Femelle vs. Mâle castré), de la bande intra environnement (B(E), n=11 en Tempéré, n= 12 en Tropical), de la famille de père (F, n=10) ; ⁽³⁾ L'animal est testé en effet aléatoire pour tenir compte des mesures de température sur un même animal à des périodes différentes ; ⁽⁴⁾ Analyse de variance (PROC MIXED) prenant en compte les effets fixes précisés dans (2) et l'âge et l'âge² comme covariable et les interactions entre effets fixes, âge et âge² ; ⁽⁴⁾ Analyse de variance prenant en compte les effets fixes précisés dans (2) et du stade de pesée (St, n=11) et les interactions ; ⁽⁵⁾ Analyse en deux temps : 1) ajustement individuel des courbes de croissances par l'équation de Gompertz ; 2) analyse de variance (PROC GLM) sur les paramètres de l'équation de Gompertz prenant en compte les effets fixes précisés dans (2) et les interactions.

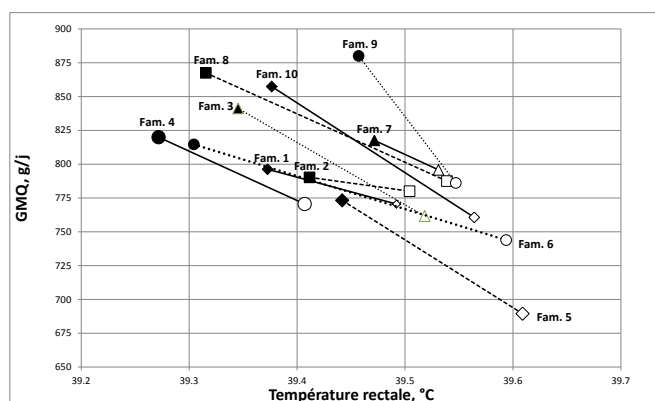


Figure 3 – Interactions famille x environnement (Tempéré en foncé ; Tropical en clair) sur le GMQ et la température rectale

Les porcs issus du père n°8 sont robustes comme ceux de la famille n°5. Cependant, leurs performances sont meilleures. En effet, quel que soit le milieu de production, les animaux de la famille n°5 font partie des 3 meilleures familles quant au poids final (104 kg - 3^{ème} rang en milieu tempéré et 90 kg - 2^{ème} rang en milieu tropical) et au GMQ (2^{ème} rang : 867 g/j en milieu tempéré ; 787 g/j en milieu tropical) et ils occupent des rangs similaires pour le lard dorsal final (6^{ème} rang en milieu tempéré : 20 mm ; 5^{ème} rang en milieu tropical: 16 mm).

Ces porcs ont en moyenne une température rectale plus faible que la moyenne en milieu tempéré (8^{ème} rang : 39,3°C) et intermédiaire en milieu tropical (5^{ème} rang : 39,5°C).

CONCLUSION

Cette étude confirme que les performances de croissance diminuent en milieu tropical en comparaison d'une production en milieu tempéré (exemple : une réduction du GMQ de l'ordre de 7,5 %) alors que les réponses thermorégulatrices sont plus importantes en milieu tropical.

Nos analyses phénotypiques montrent des différences entre origines paternelles en fonction du milieu de production avec un reclassement de certaines familles pour la majorité des caractères étudiés. Ces interactions origine paternelle x milieu de production obtenues au niveau phénotypique restent à être confirmées au niveau génétique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche (ANR PigHeat, ANR-12-ADAP-0015), le Département de Génétique Animale de l'INRA (AO2012 PhenoHeat) pour le

soutien financier apporté au projet et la Région Guadeloupe et la Communauté Européenne (FSE) pour la contribution financière à la bourse de thèse doctorale.

Les auteurs remercient le personnel des installations expérimentales de l'Unité GenESI au Magneraud et de l'Unité PTEA en Guadeloupe pour leur collaboration technique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bruinsma, J., 2003. World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective.
- Gourdine, J.L., Bidanel, J.P., Noblet, J., Renaudeau, D., 2007. Rectal temperature in lactating sows: effects of breed, season, and parity in tropical humid climate. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 20, 832-841.
- Hayes, B.J., Bowman, P.J., Chamberlain, A.J., Savin, K., van Tassell, C.P., Sonstegard, T.S., Goddard, M.E., 2009. A validated genome wide association study to breed cattle adapted to an environment altered by climate change. *Plos One* 4.
- IPCC, 2007. The Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Report., t.A. (Ed.). Intergovernmental Panel on Climate Change: AR4. Jackson Institute, University College, London.
- Mignon-Grasteau, S., Moreri, U., Narcy, A., Rousseau, X., Rodenburg, T.B., Tixier-Boichard, M., Zerjal, T., 2015. Robustness to chronic heat stress in laying hens: a meta-analysis. *Poult. Sci.* 94, 586-600.
- Renaudeau, D., 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Carribean (Creole) restrictively fed growing pigs. *Anim. Res.* 54, 81-93.
- Renaudeau, D., Gourdine, J.-L., St-Pierre, N.R., 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 2220-2230.
- Renaudeau, D., Kerdoncuff, M., Anais, C., Gourdine, J.L., 2008. Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs. *Anim.* 2, 1619-1626.
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B., Schnitkey, G., 2003. Economic losses from heat stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.* 86, E52-E77