

Les performances, la santé, et les réponses immunitaires et métaboliques des porcs à un challenge sanitaire différent selon leur potentiel génétique d'efficacité alimentaire

Alexandra CHATELET (1), Florence GONDRET (1), Elodie MERLOT (1), Hélène GILBERT (2), Nathalie LE FLOC'H (1)

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

(2) GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, INPT, ENVT, 31326 Castanet-Tolosan cedex, France

Nathalie.lefloch@inra.fr

Avec la précieuse collaboration scientifique et technique des collègues de l'UMR PEGASE, de l'UE Porc Rennaise, de l'UE GENESI, de Mélynda HASSOUNA (UMR SAS Rennes) et Solène LAGADEC (CRAB Rennes)

Les performances, la santé, et les réponses immunitaires et métaboliques des porcs à un challenge sanitaire différent selon leur potentiel génétique d'efficacité alimentaire

La sélection sur des critères de performance pourrait diminuer la capacité des animaux à maintenir leur santé dans un environnement non optimal. Cette étude vise à comparer les performances de croissance, la santé et le métabolisme de deux lignées de porcs sélectionnées sur la consommation moyenne journalière résiduelle (CMJR) et soumises ou non à un challenge sanitaire basé sur la dégradation de l'hygiène. Cent soixante porcs issus de deux lignées divergentes (CMJR- vs. CMJR+: plus vs. moins efficaces) ont été placés dans deux conditions d'hygiène de logement (optimales vs. dégradées) pendant 6 semaines en début de période d'engraissement. Des prises de sang réalisées au démarrage, puis trois et six semaines après (S0, S3 et S6) ont permis le suivi d'indicateurs de l'immunité et des concentrations en métabolites sanguins. En fin de période, les porcs en conditions dégradées sont plus légers et ont plus de lésions pulmonaires. Le ralentissement de la croissance et la dégradation de l'indice de consommation sont plus accentués pour les porcs CMJR+. L'haptoglobine plasmatique a doublé entre S0 et S3 pour les deux lignées en conditions dégradées. De S3 à S6, en conditions dégradées, l'haptoglobine reste stable pour les porcs CMJR+ alors qu'elle diminue pour les CMJR-. Le challenge sanitaire a modifié les concentrations en métabolites plasmatiques notamment du glucose et des acides gras libres. La réponse du glucose plasmatique au challenge diffère entre lignées. En conclusion, la dégradation de l'hygiène est délétère pour les performances et la santé des porcs et les porcs de la lignée CMJR+ ont été plus affectés par le challenge sanitaire.

Performance, health, immune and metabolic responses of pigs during a sanitary challenge differed according to their potential for feed efficiency.

Genetic selection of pigs for greater performance may impair their ability to cope with an immune challenge. The aim of this study was to compare growth performance, metabolism, health, and immune traits during a sanitary challenge of two divergent pig lines selected for their residual feed intake (RFI). The 2x2 factorial design compared 160 pigs of two divergent lines (RFI- and RFI+, more or less feed efficient) reared for six weeks (W) at the beginning of the growing period in two contrasted hygiene of housing conditions (poor vs good). Fasting blood samples were taken at zero, three and six weeks (W0, W3, W6) after the beginning of exposure to hygiene conditions to assess blood metabolite concentrations and some immune indicators. At W6, pigs in poor housing conditions had higher lung lesion scores and were lighter than pigs in good conditions. Body weight reduction and gain-to-feed ratio degradation were less for RFI- than for RFI+ pigs. Plasma haptoglobin concentrations of pigs in poor conditions were twice the levels observed for pigs in good conditions at W3. In poor conditions, haptoglobin concentrations remained stable thereafter for RFI+ pigs, but decreased for RFI- pigs. Pig plasma blood metabolite concentrations such as glucose and free fatty acids were modified by the poor hygiene of the housing conditions. At W3, blood glucose levels of poor RFI+ pigs were higher than those observed for good RFI+ pigs. Altogether, these results showed that poor hygiene of housing conditions impaired pig performance and health and that the RFI+ line was more affected by the sanitary challenge.

INTRODUCTION

Obtenir des animaux à la fois performants et en bonne santé dans des environnements de production variés est un enjeu économique et sociétal majeur. La sélection génétique des porcs, basée uniquement sur des critères de production, pourrait affecter leur capacité à faire face à différentes contraintes environnementales. En effet, l'amélioration des performances de croissance s'est accompagnée de modifications de la composition corporelle et du métabolisme des porcs, favorisant l'accrétion protéique et diminuant les besoins d'entretien (Knap et Rauw, 2009). Différents facteurs de stress durant la période d'élevage vont solliciter les fonctions de défense et d'adaptation, fonctions souvent qualifiées de non productives et associées aux besoins d'entretien. Plusieurs auteurs ont véhiculé l'idée que les porcs les plus performants ne seraient pas en mesure de mobiliser les nutriments pour d'autres fonctions que la croissance, et en particulier pour la mise en œuvre d'une réponse immunitaire appropriée (Knap et Rauw, 2009). Cette hypothèse reste cependant à étayer par des résultats expérimentaux.

Afin d'apporter des réponses à cette question, nous disposons à l'INRA de deux lignées divergentes sélectionnées sur la Consommation Moyenne Journalière Résiduelle (CMJR). La CMJR représente la différence entre la Consommation Moyenne Journalière (CMJ) observée et la CMJ prédite en fonction des besoins d'entretien et de production. Ces deux lignées montrent des différences de compositions corporelles et de métabolisme énergétique (Gilbert, 2015).

Les objectifs de cette étude étaient de vérifier si une stimulation chronique des fonctions de défense des porcs lors d'un challenge sanitaire induit par une dégradation de l'hygiène de logement durant la phase de croissance affecte différemment la santé, les performances, et le métabolisme des deux lignées CMJR.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et dispositif expérimental

L'essai s'est déroulé à l'INRA de Saint-Gilles (35) sur la 8^{ème} génération des deux lignées divergentes de porcs Large White sélectionnés sur la CMJR. Les deux lignées ont une efficacité alimentaire contrastée : la lignée à faible CMJR (CMJR-), consomme moins que prédit et est plus efficace dans la conversion de l'aliment en tissu maigre, alors que la lignée à CMJR élevée (CMJR+), la moins efficace, consomme plus que prédit. En outre, les porcs CMJR- ont un besoin d'entretien réduit par rapport aux porcs CMJR+ (Gilbert, 2015).

L'expérience a été réalisée sur 160 porcs (mâles entiers et femelles) selon un dispositif factoriel 2x2 comparant les deux lignées et deux conditions d'hygiène de logement contrastées (conditions optimales/conditions dégradées). Au sein de chaque lignée, 80 paires de porcs (porcs de la même portée, de même sexe et de poids similaires) ont été constituées. Au sein de chaque paire, un animal a ensuite été réparti au hasard dans l'une des deux conditions d'hygiène décrites ci-après. Les quatre groupes expérimentaux ainsi constitués, CMJR+ en conditions dégradées ou optimales et CMJR- en conditions dégradées ou optimales, comprenaient 40 animaux chacun. À partir de 12 semaines d'âge (S0), les porcs ont été transférés en bâtiment de croissance-finition dans l'une ou l'autre des conditions d'hygiène du logement pour une durée de six semaines soit jusqu'à 18 semaines d'âge (S6).

1.2. Condition de logement et alimentation

Le modèle expérimental de challenge sanitaire basé sur la comparaison de deux conditions d'hygiène du logement contrastées a été décrit par Le Floc'h *et al.* (2014). Les conditions dégradées ont consisté en l'absence de nettoyage de la salle suite à son occupation par une bande précédente. Pendant la période expérimentale, les porcs en conditions dégradées étaient mélangés avec des porcs non expérimentaux. Les effluents n'ont pas été évacués, les loges n'ont pas été nettoyées, et le débit de ventilation de la salle a été diminué. À l'opposé, les conditions optimales ont consisté en l'application d'un vide sanitaire avant l'essai. Les effluents ont été régulièrement évacués et les loges nettoyées, l'aération a été contrôlée, et des mesures d'hygiène strictes ont été adoptées durant toute la période expérimentale. Aucun traitement systématique à base d'antibiotiques n'a été administré aux quatre groupes expérimentaux. Les porcs étaient vaccinés contre *Mycoplasma hyopneumoniae* en fin de post-sevrage. Pour chaque condition de logement, les porcs étaient logés dans une seule salle en loge individuelle (85 x 265 cm) et nourris à volonté avec un aliment croissance de composition standard (9,7 MJ/kg EN ; composition chimique : matières azotées totales : 155g/kg ; matières grasses : 30g/kg ; minéraux : 52g/kg ; cellulose brute : 43g/kg ; NDF : 158g/kg ; ADF : 56g/kg ; lysine : 9,7g/kg ; méthionine : 2,5g/kg ; calcium : 8,8g/kg, phosphore : 4,19g/kg et sodium : 1,9g/kg, valeurs reportées sur la base de l'aliment frais). Les porcs avaient un accès libre à l'eau.

1.3. Mesures d'ambiance

Les concentrations en dioxyde de carbone (CO₂, ppm), les températures (°C) et l'humidité relative (RH, %) ont été mesurées en continu dans chaque salle. Des mesures ponctuelles d'ammoniac (NH₃) (Drager, Draeger Accuro Manual Tube Pump) ont été réalisées en double, le matin de 8h00 à 9h00 avant l'ouverture des salles. Ces mesures ont été réalisées au début du challenge (S0) puis ensuite deux (S2) ou cinq semaines (S5) après, au centre et aux extrémités des deux salles. Les valeurs médianes des mesures obtenues sur l'ensemble de la période sont rapportées.

1.4. Etat de santé des animaux

Les signes cliniques ont été régulièrement notés (toux, étournements, problèmes articulaires, diarrhées). À l'issue des 6 semaines d'expérimentation (S6), la moitié des animaux a été abattue à un poids moyen de 47 kg (+/- 10 kg). La carcasse, le tube digestif, les poumons et le groin des animaux ont été inspectés. La prévalence des pneumonies a été évaluée en notant les lésions obtenues sur les sept lobes pulmonaires avec un score compris entre zéro et quatre pour chacun des lobes. Un score de 0 à 28 a été calculé pour chaque porc à partir de la somme des scores obtenus. Les porcs avec des scores supérieurs ou égaux à six ont été considérés comme étant atteints de pneumonie (Corrége, 2004).

1.5. Mesures, prélèvements sanguins et dosages

Chaque semaine, la consommation alimentaire individuelle a été estimée en mesurant la différence entre les apports et les refus. Les porcs ont été pesés toutes les 3 semaines (S0, S3 et S6) après une mise à jeun la veille au soir. Des prélèvements sanguins à la veine jugulaire ont été réalisés les jours des pesées entre 8h00 et 10h00. Le sang a été collecté sur tubes héparinés

ou EDTA, maintenus dans la glace à l'exception de ceux prévus pour la réalisation des formules sanguines. Le plasma a été collecté après centrifugation du sang et conservé à -75°C pour les analyses.

La formule sanguine a été déterminée sur sang total à l'aide d'un automate calibré pour les analyses hématologiques de porcs (MS9R, Melet Schloesing laboratories, Osny, France). Les concentrations plasmatiques en haptoglobine, une protéine inflammatoire, ont été mesurées par colorimétrie. Les protéines plasmatiques totales, le glucose et les acides gras libres (AGL) ont été mesurés à l'aide de kits commerciaux. Toutes les analyses ont été réalisées avec un automate multiparamétrique (Konélab 20 ; ThermoFisher Scientific, Courtaboeuf, France).

1.6. Analyses statistiques

La CMJ, le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) des animaux ont été calculés sur la totalité de la période expérimentale. Ces critères ainsi que les scores de lésions pulmonaires ont été analysés à l'aide d'une analyse de variance (PROC MIXED SAS Inst.Inc., Version 9.4, Cary, NC) utilisant la lignée, les conditions d'hygiène de logement et le sexe, ainsi que toutes les interactions significatives comme effets fixes, et la paire en effet aléatoire. Le nombre de granulocytes et les concentrations plasmatiques en haptoglobine, protéines, glucose et AGL ont été transformés (racine carrée) et les mesures répétées au cours du temps ont été analysés par la procédure MIXED de SAS.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Impact des conditions d'hygiène du logement sur la santé et l'immunité

Les deux conditions optimales et dégradées ont des valeurs médianes en température (21°C vs 20.7°C), CO_2 (1186 ppm vs 1060 ppm) et NH_3 (3,5ppm vs 7,25ppm) globalement similaires. Ces valeurs sont inférieures aux seuils de 11 ppm pour NH_3 et de 1540 ppm pour le CO_2 considérés comme critiques pour la santé des porcs (Murphy, 2011). La RH est numériquement plus élevée en conditions dégradées qu'en conditions optimales (74,5% vs 54,5%). Dans le cas présent, il est donc probable que le modèle expérimental de challenge sanitaire basé sur des conditions d'hygiène du logement dégradées induise une augmentation de la charge microbienne (Banzhani *et al.*, 2008) pouvant conduire à une altération de la santé et des performances des porcs (Le Floc'h *et al.* 2014).

En effet, les conditions dégradées ont altéré la santé des porcs. Les scores de lésions pulmonaires sont de 7,1 (+/-4,2) en conditions dégradées contre 1,9 (+/-1,4) pour les conditions optimales ($P < 0,001$). La prévalence des pneumonies en conditions dégradées est également plus élevée (51% contre 8% des porcs en conditions optimales, $P < 0,001$). Les maladies respiratoires du porc en croissance sont d'origines multifactorielles et les conditions d'hygiène du logement seraient effectivement impliquées dans l'expression et la sévérité des lésions pulmonaires (Fablet *et al.*, 2012a). Sur la base de la sérologie, le troupeau dont sont issus les porcs de cette étude est négatif à des agents pathogènes responsables de maladies respiratoires (*Actinobacillus*, SDRP) mais positif au coronavirus respiratoire et à *Mycoplasma hyopneumoniae*. Les mesures réalisées dans cette étude ne nous permettent pas de conclure avec certitude quant à l'origine vaccinale ou non des

anticorps dirigés contre *Mycoplasma hyopneumoniae* et l'origine infectieuse des lésions pulmonaires observées ne peut donc pas être exclue. En effet, *Mycoplasma hyopneumoniae* interagirait en synergie avec d'autres agents pathogènes conduisant à une augmentation des risques de développement de pneumonies (Fablet *et al.*, 2012b).

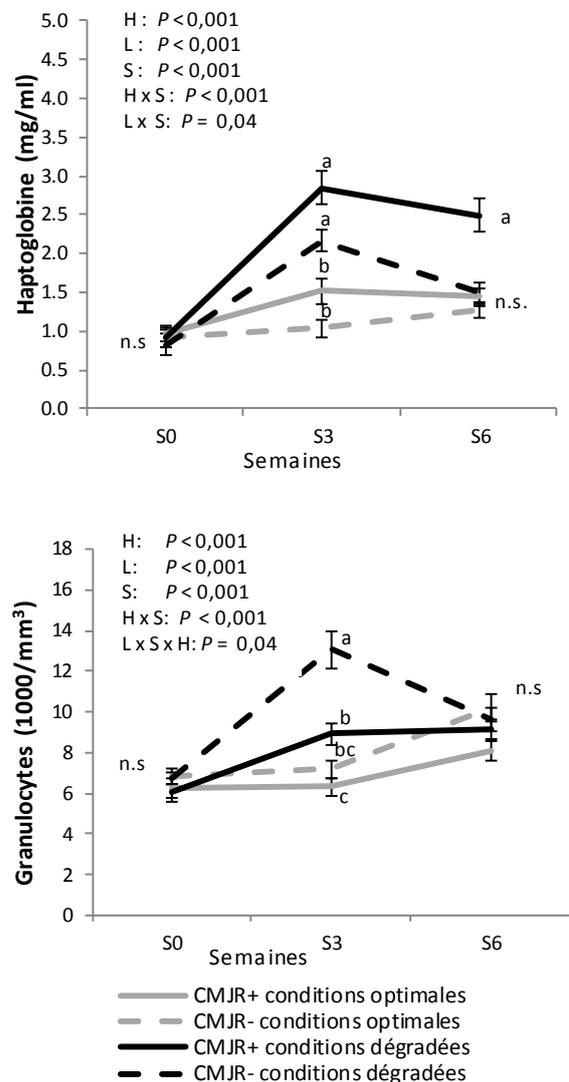


Figure 1 – Évolution des concentrations plasmatiques en haptoglobine (mg/ml) et du nombre de granulocytes (M/mm^3) pour deux lignées de porcs (CMJR+/CMJR-) placées six semaines dans des conditions d'hygiène du logement contrastées (conditions dégradées/conditions optimales).

Les valeurs présentées sont les moyennes arithmétiques avec les erreurs standards de la moyenne pour chaque groupe expérimental. À chaque temps de prélèvement, des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes, n.s. non significatif. Probabilité pour l'effet de la lignée (L), des conditions d'hygiène (H), de la semaine (S) et leurs interactions.

Indépendamment des conditions de logement, les porcs CMJR- ont des lésions pulmonaires moins sévères comparativement aux porcs CMJR+ (scores respectivement de 3,4 et 5,4 ; $P = 0,03$). Cependant, l'interaction entre les conditions et la lignée sur ce critère n'est pas significative.

L'altération de la santé des porcs en conditions dégradées s'est accompagnée de modifications importantes de l'expression d'indicateurs immunitaires et inflammatoires tels que le nombre de granulocytes dans le sang et les concentrations plasmatiques en haptoglobine (Figure 1).

Au début de l'expérimentation, à S0, les quatre groupes expérimentaux ont des concentrations plasmatiques en haptoglobine et un nombre de granulocytes similaires.

Les concentrations plasmatiques en haptoglobine augmentent ensuite ($P < 0,001$) pour les deux lignées après trois semaines en conditions dégradées, et une légère augmentation est également observée sur cette même période pour les porcs CMJR+ en conditions optimales ($P = 0,03$). À ce stade (S3), les concentrations en haptoglobine des animaux en conditions dégradées sont supérieures à celles observées pour les animaux en conditions optimales et ce, pour les deux lignées ($P < 0,001$). Les concentrations en haptoglobine ont significativement diminué entre S3 et S6 pour les animaux CMJR- en conditions dégradées ($P = 0,005$). De fait, les CMJR- en conditions optimales et dégradées ont des concentrations en haptoglobine similaires à l'issue du challenge, même si elles restent plus élevées que celles mesurées au démarrage de l'expérimentation. Ceci n'est pas le cas pour les animaux CMJR+, pour lesquels les concentrations en haptoglobine sont restées supérieures en conditions dégradées à celles en conditions optimales ($P = 0,006$) durant toute la période. L'haptoglobine est une protéine de l'inflammation et un marqueur aspécifique de différentes pathologies infectieuses ou non chez le porc. La diminution de leurs concentrations plasmatiques a été proposée comme un prédicteur de guérison chez certaines espèces animales (Eckersall et Bell, 2010). L'absence de différences de concentrations en haptoglobine pour la lignée CMJR- à la fin du challenge sanitaire pourrait donc indiquer une meilleure capacité de cette lignée (la plus efficace) à contrôler la réponse inflammatoire.

Comme pour l'haptoglobine, le nombre de granulocytes augmente chez les porcs en conditions dégradées pour les deux lignées ($P < 0,001$) entre S0 et S3, mais pas chez les porcs en conditions optimales. La différence de réponse entre les porcs en conditions optimales et dégradées est cependant plus importante pour la lignée CMJR- que pour la lignée CMJR+ (respectivement, +81%, $P < 0,001$ et +42%, $P = 0,04$ en S3). Le nombre de granulocytes diminue ensuite entre S3 et S6 pour les porcs CMJR- en conditions dégradées ($P = 0,004$) alors que ce nombre augmente pour les CMJR- en conditions optimales. Tous les groupes expérimentaux présentent alors les mêmes niveaux de granulocytes à la fin du challenge. Une augmentation des granulocytes neutrophiles, qui représentent le type cellulaire majoritaire au sein des granulocytes, est généralement considérée comme un indicateur d'infections bactériennes. Nos résultats viendraient donc à l'appui de notre hypothèse supposant une augmentation de la pression bactérienne en réponse à une dégradation de l'hygiène des salles. Le fait que les animaux CMJR- présentent des niveaux supérieurs en granulocytes trois semaines après avoir été logés dans de mauvaises conditions d'hygiène pourrait être le signe d'une plus forte réponse du système immunitaire des porcs CMJR-. Cependant, l'étendue des lésions pulmonaires des animaux CMJR- est moins importante que celle observée sur les porcs CMJR+, suggérant que la sélection sur l'efficacité alimentaire n'a pas affecté le rôle protecteur de cette réponse immunitaire chez les porcs CMJR-.

La plus forte teneur en granulocytes des porcs CMJR- pourrait aussi s'interpréter comme une réponse plus efficace contre d'éventuels agents bactériens pathogènes ou opportunistes.

L'étude de Dunkelberger *et al.* (2014) a d'ailleurs montré une plus forte augmentation de la production d'anticorps contre le virus SDRP chez une lignée sélectionnée pour une faible CMJR suggérant une plus forte réactivité immunitaire de ces derniers en réponse à une primo exposition au virus.

Au final, les conditions d'hygiène dégradées ont induit une augmentation du nombre de granulocytes et des concentrations plasmatiques en haptoglobine chez tous les porcs durant les trois premières semaines de challenge. Une réponse similaire a été précédemment observée sur des porcs en croissance exposés aux mêmes conditions expérimentales (Le Floc'h *et al.*, 2014). Cependant, la santé pulmonaire et l'immunité de ces deux lignées sont différemment affectées par le challenge sanitaire, la lignée CMJR- semblant plus apte à faire face à des conditions d'hygiène défavorables

2.2. Influence des conditions d'hygiène du logement sur le métabolisme

Le fait que les prises de sang aient été réalisées après une nuit de jeûne nous permet de discuter les variations des concentrations plasmatiques en métabolites comme étant principalement d'origine métabolique. Les concentrations en protéines plasmatiques sont peu affectées par les conditions d'hygiène ou par la lignée (Figure 2). Elles augmentent entre S0 et S3 chez tous les porcs ($P = 0,001$), à l'exception des animaux CMJR- en conditions optimales ($P = 0,3$). De S3 à S6, les concentrations en protéines n'évoluent plus pour l'ensemble des groupes expérimentaux. Durant les 6 semaines de challenge sanitaire, les porcs conservent des concentrations plasmatiques en protéines totales similaires suggérant que ces dernières sont peu affectées par l'augmentation des protéines inflammatoires induites par les conditions d'hygiène dégradées. En effet, les protéines inflammatoires, telles que l'haptoglobine, ne représentent que 2 à 4 % des protéines totales dans notre étude.

Les concentrations plasmatiques en AGL diminuent de façon similaire pour les deux lignées entre S0 et S3 ($P=0,002$). Cependant, la diminution est plus marquée en conditions d'hygiène dégradées. À S3, ceci se traduit par des concentrations plasmatiques en AGL inférieures pour les porcs logés en conditions dégradées comparativement à celles observées en conditions optimales ($P < 0,001$). De S3 à S6, les concentrations plasmatiques en AGL ne varient plus pour les animaux en conditions dégradées ($P = 0,3$), mais continuent à diminuer pour les animaux en conditions optimales ($P < 0,001$). Ainsi, à S6, plus aucune différence n'est visible entre les quatre groupes expérimentaux. En accord avec notre étude, Mersmann et Mac Neil (1985) ont montré une diminution des concentrations en AGL plasmatiques à jeun avec l'âge des porcs. Les concentrations plasmatiques en AGL mesurées à jeun résultent de l'équilibre entre la lipolyse des tissus adipeux et la ré-estérification des acides gras en triglycérides. Le fait que les animaux en conditions dégradées voient leurs concentrations en AGL diminuer plus rapidement que pour les animaux en conditions optimales pourrait indiquer une modification d'une ou plusieurs voies du métabolisme des lipides induite par la dégradation de l'hygiène, et notamment une moindre mobilisation des lipides. Par exemple, Guo *et al.* (2015) ont montré que l'activité d'enzymes lipolytiques du tissu adipeux était réduite chez des porcs en croissance soumis à un challenge inflammatoire provoqué par une injection de lipopolysaccharide.

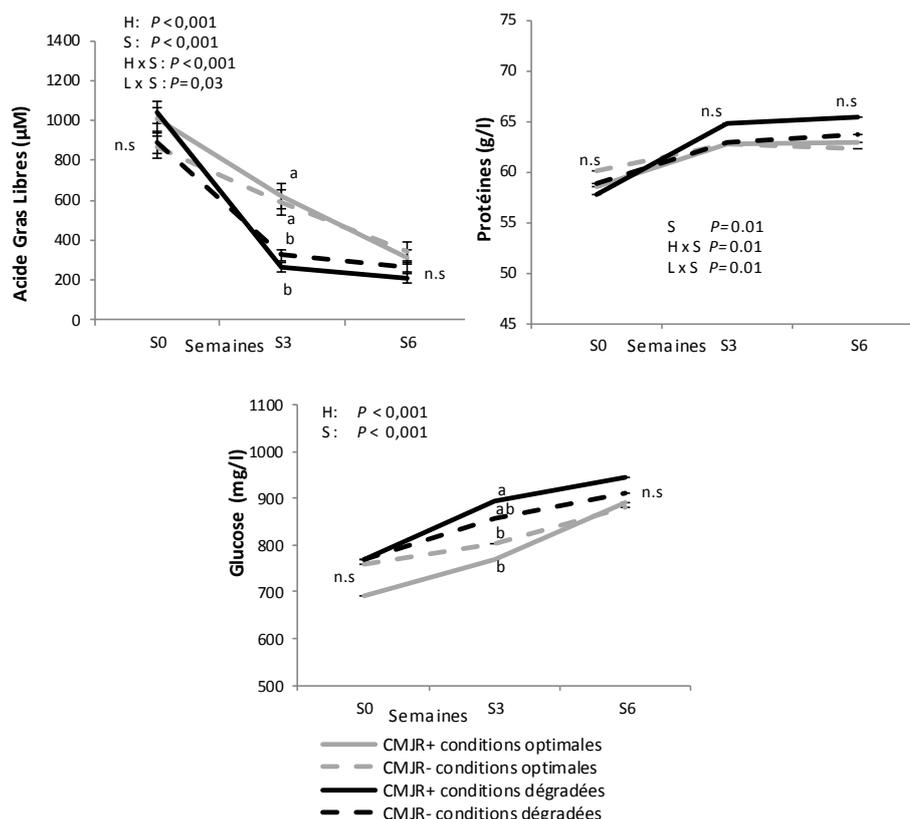


Figure 2 – Évolution des concentrations plasmatiques en Acides Gras Libres (μM), en Protéines et en Glucose (mg/l) pour deux lignées de porcs (CMJR+/CMJR-) placées six semaines dans des conditions d’hygiène du logement contrastées (conditions dégradées/conditions optimales).

Les groupes expérimentaux dont les moyennes sont significativement différentes pour une semaine donnée sont représentés par des lettres différentes, n.s. non significatif. Probabilité pour l’effet de la lignée (L), des conditions d’hygiène (H) de la semaine (S) et leurs interactions. Les valeurs présentées sont les moyennes arithmétiques avec les erreurs standards de la moyenne.

Les AGL pourraient également être utilisés comme substrat énergétique. En effet, certaines cellules de l’immunité telles que le lymphocyte T peuvent directement utiliser les AGL pour leur production d’énergie (O’Neill *et al.*, 2016).

De S0 à S3, en conditions dégradées, la glycémie augmente pour les porcs CMJR+ ($P = 0,006$) et tend à augmenter pour les porcs CMJR- ($P = 0,07$). En S3, la glycémie des porcs CMJR+ est supérieure en conditions dégradées à celle en conditions optimales ($P = 0,002$) alors qu’aucune différence n’est observée pour les porcs CMJR-. De S3 à S6, les glycémies des deux lignées

logées en conditions dégradées ne varient plus alors que la glycémie des porcs CMJR+ en conditions optimales augmente ($P = 0,006$). En S6, tous les groupes présentent des concentrations plasmatiques en glucose similaires. Nos résultats montrent donc que le métabolisme du glucose est affecté différemment par le challenge sanitaire selon la lignée.

Un état inflammatoire conduit généralement à des modifications métaboliques causées par l’activation de l’axe corticotrope et la sécrétion de certaines cytokines telles que l’IL6 ou le $\text{TNF}\alpha$ par les cellules immunitaires.

Tableau 1 – Performance de croissance¹ des porcs sur les six semaines d’expérimentation (S0 à S6)

Conditions d'hygiène	Conditions optimales		Conditions dégradées		ETR ²	Effets ³
	CMJR-	CMJR+	CMJR-	CMJR+		
GMQ (g/j)	778,8 ⁴ a	720,2 ^{ab}	669,9 ^b	478,2 ^c	123,3	L*** H*** L x H**
CMJ (kg/j)	1,85 ^{ab}	1,86 ^a	2,03 ^b	1,88 ^{ab}	0,181	L* H** L x H**
IC (kg/kg)	2,38 ^c	2,65 ^c	3,05 ^b	3,9 ^a	0,49	L*** H*** L x H**

¹ Moyennes ajustées des GMQ, CMJ et IC calculés sur les six semaines de l’essai

² Ecart type résiduel.

³ Probabilité pour l’effet de la lignée (L), des conditions d’hygiène (H) et des interactions lignées et hygiène (L x H) selon un modèle factoriel à deux niveaux incluant les conditions d’hygiène et la lignée. * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

⁴ Sur une même ligne, des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes

Cette situation métabolique se traduit notamment par une augmentation de la production de glucose par le foie chez des porcs à jeun en situation d’inflammation (Bruins *et al.*, 2003).

De plus, les cytokines pro-inflammatoires sont connues pour inhiber l’action de l’insuline et diminuer l’utilisation du glucose par les organes insulino-dépendants comme le muscle et le tissu

adipeux. Une augmentation plus importante de la glycémie est observée pour la lignée CMJR+ en conditions dégradées. En accord avec cette observation, une précédente étude (Merlot *et al.*, 2015) a montré que la glycémie postprandiale de la lignée CMJR+ en réponse à un challenge inflammatoire était plus élevée que celle des CMJR- pour une quantité d'aliment ingérée similaire. Des analyses complémentaires devront donc être menées pour déterminer si la variation de la glycémie en fonction des conditions d'hygiène du logement observée uniquement chez les porcs CMJR+ est le résultat d'une moindre capacité à réguler leur glycémie en raison d'une insulino-résistance transitoire. Dans leur ensemble, ces résultats soulignent l'intérêt d'explorer plus précisément les variations du métabolisme afin de déterminer le rôle du métabolisme dans l'expression des performances de croissance de ces deux lignées en réponse à un challenge immunitaire.

2.3. Effets des conditions d'hygiène du logement sur les performances de croissance

Les mauvaises conditions d'hygiène ont dégradé l'IC et le GMQ de tous les porcs (Tableau 1), comme rapportées précédemment (Le Floch *et al.*, 2014). Les porcs CMJR- ont cependant montré une meilleure capacité à maintenir leur croissance ainsi qu'une moindre dégradation de leur IC en conditions dégradées par rapport aux porcs CMJR+. L'IC des porcs en conditions dégradées est ainsi augmenté de 28% et de 47% respectivement pour les lignées CMJR- et CMJR+. Pour un poids initial identique, la croissance des deux lignées en réponse aux conditions d'hygiène du logement diffère à partir de S3 (Figure 3). Les poids vifs (PV) à jeun des porcs CMJR+ en conditions dégradées sont ainsi inférieurs, respectivement, de 5,4 kg ($P < 0,001$) et de 10,1kg ($P < 0,001$) en S3 et S6 relativement aux porcs CMJR+ en conditions optimales. À l'inverse, aucune différence de PV n'est observée pour la lignée CMJR- selon les conditions d'hygiène. Des résultats similaires ont été mis en évidence par Dunkelberger *et al.* (2014) qui ont montré une meilleure capacité de porcs CMJR- à préserver leur croissance lors d'un challenge viral.

Les porcs CMJR- en conditions dégradées ont une CMJ de 10% supérieure à celle des porcs CMJR- en conditions optimales ($P < 0,001$), mais aucune différence entre les deux conditions expérimentales n'est observée pour les porcs CMJR+. Cette augmentation de l'ingestion des animaux CMJR- est contradictoire avec l'ensemble des études portant sur l'exposition des porcs à des conditions sanitaires défavorables où il est généralement observé une baisse de l'ingestion consécutive à une stimulation du système immunitaire (Klasing *et al.*, 1997). Cependant, en accord avec nos résultats, une augmentation de la consommation alimentaire a été récemment rapportée chez des porcs en croissance nourris à volonté et atteints de lésions pulmonaires (Corrégé et Hémonic, 2016). Il est ainsi possible que les porcs CMJR- en conditions dégradées soient capables de moduler leur ingestion de façon à compenser le surcoût métabolique associé à la stimulation immunitaire et à maintenir leurs gains de poids.

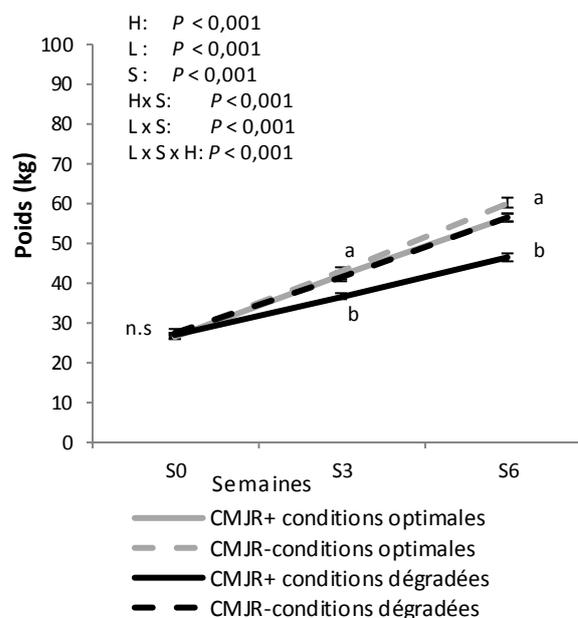


Figure 3 – Évolution des poids (kg) pour deux lignées de porcs (CMJR+/CMJR-) placées six semaines dans conditions d'hygiène du logement contrastées (conditions dégradées/conditions optimales).

Les valeurs présentées sont les moyennes arithmétiques avec les erreurs standards de la moyenne pour chaque groupe expérimental. A chaque temps de prélèvement, des lettres différentes indiquent que les moyennes sont significativement différentes, n.s. non significatif. Probabilité pour l'effet de la lignée (L), des conditions d'hygiène (H), de la semaine (S) et leurs interactions.

CONCLUSION

Dans nos conditions expérimentales, la sélection sur l'efficacité alimentaire des porcs n'a pas pénalisé la capacité des porcs à faire face à un challenge sanitaire basé sur la dégradation de l'hygiène des conditions de logement. Ainsi, les porcs CMJR- présentent notamment une meilleure capacité à maintenir leur croissance et leur santé pulmonaire n'est pas plus affectée que celle des porcs CMJR+. Les différences de réponses immunitaires et inflammatoires ainsi que les variations d'ingestion d'aliment et de métabolisme observées entre lignées suggèrent qu'elles sont différemment affectées et/ou qu'elles mettent en œuvre différentes stratégies de défense suite à une contrainte environnementale causée par une augmentation de la pression microbienne. Les porcs étant susceptibles d'être exposés à des conditions d'hygiène variées au sein des élevages commerciaux, affiner l'identification des mécanismes nutritionnels et métaboliques capables d'expliquer la meilleure capacité de la lignée CMJR- à préserver sa croissance et sa santé est une première étape dans l'objectif d'obtenir des animaux plus robustes.

REMERCIEMENT

Ces travaux ont reçu le soutien financier du 7^{ème} programme cadre européen (FP7, projet PROHEALTH, subvention no. 613574).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Banhazi T., Seedorf J., Rutley D., Pitchford W., 2008. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 2. Airborne pollutants. *J Agric Saf Health*, 14, 21-39.
- Bruins M.J., Deutz N.E., Soeters P.B., 2003. Aspects of organ protein, amino acid and glucose metabolism in a porcine model of hypermetabolic sepsis *Clin. Sci*, 104, 127-141.
- Corrége I., 2004. Le contrôle des lésions respiratoires du porc à l'abattoir Intérêt dans le suivi d'élevage et mise en œuvre pratique. *Techniporc*, 27,15-20
- Corrége I. and Hémonic A. (2016) Influence de l'intensité des lésions de pneumonie sur les performances des porcs en croissance *Journées Rech Porcine*, 48, 359-360
- Dunkelberger J.R., Boddicker N.J., Serão N.V.L., Young J.M., Rowland R.R.R., Dekkers J.C.M., 2015. Response of pigs divergently selected for residual feed intake to experimental infection with the PRRS virus. *Livestock Science*,
- Eckersall P., Bell R., 2010. Acute phase proteins: Biomarkers of infection and inflammation in veterinary medicine. *Vet J*, 185, 23-27.
- Fablet C., Marois-Créhan C., Simon G., Grasland B., Jestin A., Kobisch M., Madec F., Rose N., 2012a. Infectious agents associated with respiratory diseases in 125 farrow-to-finish pig herds: a cross-sectional study. *Vet Microbiol*, 157, 152-163.
- Fablet, C., Marois-Créhan, C., Simon, G., Grasland, B., Jestin, A., Kobisch, M., & Rose, N. 2012b. Infectious agents associated with respiratory diseases in 125 farrow-to-finish pig herds: a cross-sectional study. *Vet Microbiol*, 157(1), 152-163.
- Gilbert, H. (2015). Sélection pour l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance: opportunités et challenges. *Journées Rech Porcine*, 47, 19-30
- Guo J., Liu Z., Sun H., Huang Y., Albrecht E., Zhao R., Yang X., 2015. Lipopolysaccharide challenge significantly influences lipid metabolism and proteome of white adipose tissue in growing pigs. *Lipids Health Dis*, 14, 015-0067.
- Klasing K.C., Korver D.R., 1997. Leukocytic cytokines regulate growth rate and composition following activation of the immune system. *J Anim Sci*, 75, 58-67.
- Knap and Rauw (2009) Selection for high production in pigs. pp 210-229 In *Resource Allocation Theory Applied to Farm Animal Production*, Rauw (Eds) CABI.
- Le Floc'h N., Knudsen C., Gidenne T., Montagne L., Merlot E., Zemb O., 2014. Impact of feed restriction on health, digestion and faecal microbiota of growing pigs housed in good or poor hygiene conditions. *Animal*, 8, 1632-1642.
- Merlot E., Gilbert H., Le Floc'h N., 2016. Metabolic response to an inflammatory challenge in pigs divergently selected for residual feed intake. *J Anim Sci*, 94, 563-573.
- Mersmann H.J., MacNeil M.D., 1985. Relationship of plasma lipid concentrations to fat deposition in pigs. *J Anim Sci*, 61, 122-128.
- Murphy T.W., 2011. The effects of individual and combinations of airborne pollutants on feed intake, immune function and physiology of the pig. Thèse de doctorat. The University of Adelaide, Australia 273p.

