

L'efficacité digestive est-elle un caractère intéressant pour améliorer l'efficacité alimentaire chez le porc ?

Vanille DÉRU (1,5), Alban BOUQUET (2), Etienne LABUSSIÈRE (3), Philippe GANIER (3), Benoît BLANCHET (4),
Céline CARILLIER-JACQUIN (1), Hélène GILBERT (1)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, INPT, ENVT, 31326, Castanet-Tolosan, France

(2) IFIP- Institut du Porc, 35651 Le Rheu Cedex, France

(3) INRAE UMR PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

(4) UEPR, Domaine de la Prise, 35590 Saint-Gilles, France

(5) France Génétique Porc, 35651 Le Rheu Cedex, France

vanille.deru@inrae.fr

Avec la collaboration technique de Laurent DANTEC, Elise GAUTEUR, Gildas MARTIN, Delphine REY et Loïc UDIN à la station de phénotypage du Rheu pour l'élevage des animaux, la réalisation des prélèvements de fèces et l'enregistrement des performances, et de Marie-Hélène LOHAT, Fabien GUÉRIN et Vincent PIEDYACHE pour les lyophilisations et broyages de fèces à l'INRAE de Saint-Gilles.

L'efficacité digestive est-elle un caractère intéressant pour améliorer l'efficacité alimentaire chez le porc ?

L'utilisation de régimes avec des teneurs accrues en fibres provenant d'aliments alternatifs, moins digestibles pour les porcs, est une solution utilisée pour limiter l'impact du coût de l'aliment en production porcine. L'étude a pour objectif de déterminer l'impact d'une teneur accrue en fibres (F) dans l'aliment sur la digestibilité chez le porc en croissance et d'estimer les paramètres génétiques de celle-ci. Un total de 654 porcs Large White a été nourri avec un régime conventionnel (CO) et 588 de leurs pleins-frères avec un régime F. Pour chaque porc, les coefficients d'utilisation digestive (CUD) de l'énergie, de la matière organique et de l'azote ont été prédits à partir d'échantillons de fèces analysés par spectrométrie dans le proche infrarouge. La consommation moyenne journalière (CMJ) et résiduelle (CMJR), le gain moyen quotidien (GMQ), l'indice de consommation (IC), le taux de muscle des pièces (TMP), le rendement en carcasse (RDT) et des caractères de qualité de la viande (CQV) ont été enregistrés sur chaque animal. Les trois CUD étaient significativement plus faibles pour les porcs nourris avec le régime F que les porcs nourris avec le régime CO (-6 à -7 %). Les trois CUD étaient modérément à fortement héritables (de $0,38 \pm 0,12$ à $0,40 \pm 0,12$ et de $0,54 \pm 0,15$ à $0,56 \pm 0,15$, respectivement, dans les régimes CO et F). Les trois CUD étaient favorablement corrélés à l'IC, la CMJ et la CMJR, mais défavorablement corrélés avec le GMQ et les CQV. Pour conclure, la digestibilité serait un caractère intéressant à ajouter dans les schémas de sélection afin d'affiner les décisions de sélection concernant l'efficacité alimentaire. Cependant, les corrélations génétiques défavorables avec le GMQ et les CQV notamment devront être prises en compte.

Is digestive efficiency a useful trait for improving pig feed efficiency?

Feeding diets with increased dietary fibre content from alternative by-products, which are less digestible for pigs, is a solution used to decrease the impact of increased feed costs on pig production. This study aimed to determine the impact of an alternative diet with increased fibre content (F) on pig digestibility and to estimate genetic parameters of digestibility. A total of 654 Large White pigs were fed a conventional diet (CO), and 588 of their full-sibs were fed a F diet. For each pig, digestibility coefficients (DC) of energy, organic matter, and nitrogen were predicted from faeces samples analysed with near infrared spectrometry. Individual daily feed intake (DFI), residual feed intake (RFI), average daily gain (ADG), feed conversion ratio (FCR), lean meat percentage (LMP), carcass yield (CY) and meat quality traits (MQT) were recorded for each pig. The three DC were significantly lower for pigs fed the F diet than pigs fed the CO diet (-6 to -7%). The three DC were moderately to highly heritable (from 0.38 ± 0.12 to 0.40 ± 0.12 and from 0.54 ± 0.15 to 0.56 ± 0.15 for the CO and the F diet, respectively). The three DC were favourably correlated with FCR, DFI and RFI, but unfavourably with ADG and MQT. To conclude, digestibility could be a useful trait to include in breeding schemes to improve selection decisions about feed efficiency. However, it would have to be selected along with ADG and MQT to avoid adverse genetic trends on the latter traits.

INTRODUCTION

L'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire est un défi majeur pour la durabilité des exploitations porcines. En France, le coût de l'aliment représente environ deux tiers du coût de production pour l'éleveur de porc (Gilbert, 2015). Par conséquent, l'efficacité alimentaire est un caractère qui fait l'objet d'une attention particulière dans la plupart des programmes de sélection. Une solution envisagée pour réduire les coûts de l'alimentation animale et mobiliser moins de terres est l'utilisation de coproduits issus des industries agroalimentaires et bioénergétiques. Ces derniers contiennent généralement plus de fibres alimentaires et ont une valeur énergétique plus faible. Les fibres alimentaires jouent un rôle important chez le porc pour maintenir les fonctions physiologiques normales du tube digestif (Wenk, 2001), mais elles peuvent être difficile à digérer pour les porcs. De plus, des études précédentes ont montré que les sélections actuelles sur l'efficacité alimentaire (EA) n'améliorent pas (Gilbert *et al.*, 2017), ou améliorent seulement marginalement (Harris *et al.*, 2012) l'efficacité digestive, l'essentiel du gain d'EA étant obtenu par une amélioration de l'efficacité métabolique des porcs. Par conséquent, il serait souhaitable de pouvoir sélectionner des porcs capables de digérer efficacement divers types d'aliments, en particulier ceux ayant une teneur élevée en fibres alimentaires. Toutefois, si une variabilité génétique de l'efficacité digestive a été rapportée chez les poulets de chair (Mignon-Grasteau *et al.*, 2004), peu d'informations sont disponibles chez le porc. Une variabilité génétique a été suggérée sur un nombre limité de porcs en croissance-finition (Noblet *et al.*, 2013) et chez des jeunes animaux en post-sevrage (Hardie *et al.*, 2014). Jusqu'à présent, l'étude de l'efficacité de la digestion sur un grand nombre d'animaux était limitée par la technique de mesure, basée sur l'utilisation de cages de digestibilité individuelles. Des développements méthodologiques récents permettent de prédire l'efficacité digestive d'un animal sur la base d'un échantillon de matières fécales prélevé ponctuellement puis analysé par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR, Labussière *et al.*, 2019). L'objectif de cette étude était d'estimer la variabilité génétique de l'efficacité digestive chez les porcs nourris avec un régime conventionnel ou un régime avec une teneur accrue en fibres alimentaires, ainsi que d'estimer les corrélations génétiques avec les caractères de production actuellement sélectionnés. L'intérêt est ainsi de déterminer si l'efficacité digestive est un critère de sélection intéressant à prendre en compte dans les programmes de sélection afin d'améliorer l'efficacité alimentaire et d'affiner les décisions de sélection notamment lorsque les porcs sont nourris avec des aliments ayant une teneur accrue en fibres.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

1.1.1. Animaux

Le jeu de données comprend 1663 porcs mâles entiers de race Large White élevés à la station de phénotypage INRA- France Génétique Porc du Rheu (UEPR, INRA, 2018. Unité expérimentale Porcs Rennes, France, <https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>). Les animaux ont été élevés en 35 bandes successives en 2017 et 2018. Pour faciliter l'estimation des covariances génétiques

entre les caractères mesurés dans les deux régimes, une structure familiale a été mise en place en testant préférentiellement des couples de pleins-frères. Ainsi, 880 animaux ont été nourris avec un régime conventionnel (CO), suivant le protocole de contrôle classique de performances à la station du Rheu, et 783 de leurs pleins-frères avec un régime ayant une teneur accrue en fibres (F). Tous les porcs sont issus de 171 pères, représentatifs de ceux utilisés dans le schéma de sélection.

1.1.2. Conduite des animaux

Les porcelets sont nés dans les élevages de sélection des entreprises Axiom (La Garenne, Azay sur Indre, France) et Nucléus (Rue des Orchidées, Le Rheu, France) et ont été livrés à 3 semaines d'âge à la station de phénotypage du Rheu. A leur arrivée, les couples de pleins-frères ont été séparés et allotés dans des cases de 14 porcelets. Tous les porcelets ont reçu la même alimentation jusqu'à la fin du post-sevrage, c'est-à-dire entre 3 et 9 semaines d'âge. A la fin du post-sevrage, les porcs ont été déplacés dans les salles de croissance-finition sans être mélangés. Ils y sont restés jusqu'à leur départ à l'abattoir, à 115 kg de poids vif en moyenne. Chaque bande, c'est-à-dire chaque ensemble d'animaux arrivés à la station la même semaine, a été élevée dans une même salle, où deux cases de 14 porcs étaient nourries avec le régime CO et deux autres cases avec le régime F. Chacune des cases contenait un distributeur automatique de concentré (DAC) équipé d'un plateau de pesée des aliments et d'un plateau de pesée des animaux (Genstar, Skiold Acemo, Pontivy, France). Les porcs avaient un accès *ad libitum* à l'aliment et à l'eau. Une fois le poids d'abattage atteint, les porcs ont été mis à jeun 24 heures avant leur départ de la station. Tous les animaux ont été abattus dans un même abattoir (Cooperl, Montfort-sur-Meu, France) en 89 lots d'abattage.

1.1.3. Régimes alimentaires

Les deux groupes de porcs ont été nourris avec un programme alimentaire bi-phase pendant la période croissance finition (Tableau 1). L'aliment finition a été fourni aux animaux à partir de la 16^{ème} semaine d'âge (en moyenne 65kg de poids vif) jusqu'à la fin de la période de contrôle, en opérant une phase de transition alimentaire sur 5 jours. L'aliment CO correspondait à l'aliment habituel bi-phase donné aux porcs de la station de phénotypage, formulé pour couvrir les besoins en énergie et en acides aminés des animaux. La formulation de l'aliment F incluait des fibres solubles, avec de la pulpe de betterave, et des fibres insolubles, avec du son de blé et des coques de soja. Les deux régimes différaient par leur teneur en énergie nette (EN), 9,6 MJ/kg pour le régime CO et 8,2 MJ/kg pour le régime F, et par la teneur en fibres insolubles dans les détergents neutres (NDF), 13,90 % pour le régime CO et 23,95 % pour le régime F. Le rapport Lysine digestible/EN était le même entre les deux régimes, respectivement 0,94 g/MJ EN dans l'aliment croissance et 0,81 g/MJ EN dans l'aliment finition.

1.2. Enregistrements

1.2.1. Caractères mesurés

Pour chaque porc, le gain moyen quotidien (GMQ) a été déterminé grâce aux pesées effectuées en début (PDC) et en fin (PDA) de contrôle. La consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC), entre 35 et 115 kg de poids vif ont été calculés grâce aux enregistrements des DAC. Le rendement de carcasse (RDT) a été calculé comme le rapport entre le poids net de la carcasse avec tête 24h après abattage

et le poids vif à jeun de l'animal avant abattage. Le taux de muscle des pièces a été estimé d'après le poids relatif des pièces de découpe selon une découpe hollandaise normalisée (TMP ; Dumas and Monziols, 2011). Le pH ultime (pHu) du jambon 24h après l'abattage a été mesuré à l'aide d'un pHmètre Sydel muni d'une électrode Xerolyt (référence 10 406 3123) sur le demi-membraneux. La clarté de la viande a été mesurée à l'aide d'un chromamètre Minolta CR300 sur la tranche de

fessier superficiel après découpe du jambon. Le pouvoir de rétention en eau de la viande a été mesuré par le temps nécessaire pour saturer en eau un papier pH d'1cm² déposé sur la tranche du fessier superficiel. Un index de qualité de la viande (IQV) a été calculé comme une combinaison linéaire des valeurs de pHu, de clarté et de pouvoir de rétention en eau pour prédire le rendement technologique de jambon cuit (Tribout *et al.*, 2004).

Tableau 1 – Composition en ingrédients du régime conventionnel (CO) et du régime fibreux (F)

Ingrédients (%)	Croissance		Finition	
	Régime CO	Régime F	Régime CO	Régime F
Blé	42,10	38,00	45,10	39,30
Maïs	25,00	0,00	25,00	0,00
Orge	10,00	16,90	10,00	17,60
Tourteaux de colza	6,00	6,00	10,00	9,90
Tourteaux de tournesol non décortiqué	3,00	3,00	4,80	3,00
Tourteaux de soja, 48% PB	10,50	5,40	2,50	0,00
Son de blé	0,00	15,00	0,00	15,00
Coques de soja	0,00	8,00	0,00	8,00
Pulpe de betterave	0,00	5,00	0,00	5,00
L-Lys	0,44	0,35	0,11	0,31
DL-Met	0,09	0,03	0,01	0,00
L-Thr	0,13	0,11	0,02	0,10
Valine pure	0,02	0,00	0,00	0,00
Carbonate de calcium	1,40	1,12	0,12	1,01
Phosphate bicalcique	0,49	0,29	0,05	0,00
Chlorure de sodium	0,40	0,40	0,40	0,40
COV 0,5%	0,40	0,40	0,40	0,40

1.2.2. Prélèvements et mesures de digestibilité

Pour déterminer les coefficients d'utilisation digestive (CUD) des nutriments de chaque porc, un échantillon de fèces (> 50g) a été prélevé à 16 semaines d'âge, juste avant la transition alimentaire. Les échantillons ont été malaxés pendant une dizaine de secondes pour homogénéiser les fèces puis ont été congelés à -20°C dans des barquettes plastiques. Les échantillons ont ensuite été lyophilisés, broyés (Grindomix GM200, Retsch), puis analysés par spectrométrie dans le proche infrarouge avec un spectromètre de laboratoire (MPA, Bruker Oprik, Ettlingen, Allemagne). Les CUD de l'énergie (E), de la matière organique (MO) et de la Matière Azotée Totale (MAT) (N x 6,25) ont été prédits en se basant sur leur SPIR individuel et des équations de calibration établies au préalable (Labussière *et al.*, 2019), et validées pour les régimes utilisés selon la méthode classique d'évaluation de la digestibilité.

Les échantillons dont le spectre était trop éloigné du spectre de calibration ont été éliminés (131 échantillons), ainsi que ceux dont la prédiction était trop éloignée du barycentre des estimations (39 échantillons). Tous les échantillons qui n'avaient pas une quantité suffisante de fèces pour être analysés au SPIR (35 échantillons) ou dont les individus ne présentaient pas des performances valides au cours de la période contrôle ont été éliminés (216 échantillons) ont été éliminés. Les échantillons aberrants n'appartenaient pas à un des deux régimes en particulier. Après tri du jeu de données, 1242 échantillons ont été retenus, ce qui représente 654 individus nourris avec le régime CO et 588 avec le régime F.

1.2.3. Calcul de la consommation moyenne journalière résiduelle

La CMJR est la différence entre la CMJ mesurée et la CMJ prédite pour les besoins d'entretien et de production. La CMJ attendue a été déterminée en utilisant une régression linéaire multiple avec une ANOVA sous le logiciel R (R Core Team, 2016) de la CMJ sur la vitesse de croissance (GMQ), la composition corporelle (TMP et RDT), et le poids métabolique moyen (PMM). Le PMM détermine les besoins d'entretien et a été calculé comme décrit par Noblet *et al.* (1999) : $PMM = (PDA^{1,6} - PDC^{1,6}) / [1,6 \times (PDA - PDC)]$. Deux effets fixes ont été inclus dans le modèle, la bande et le régime, conduisant à un R² de 0,75 pour la prédiction de la CMJR. Aucune interaction significative n'a été mise en évidence entre le régime et les coefficients de régression ($P > 0.23$). La formule suivante a été obtenue :

$$CMJR = CMJ - 1,4 \times GMQ + 35,1 \times TMP - 6,8 \times RDT - 92,9 \times PMM - 284,2 \times REGIME$$

(REGIME=0 si le régime est CO et REGIME=1 si le régime est F)

1.3. Analyses statistiques

1.3.1. Comparaison des coefficients d'utilisation digestive entre les deux régimes

Les moyennes des moindres carrés (LSMeans) ont été déterminées pour chaque CUD pour chacun des régimes. Au préalable, l'homogénéité des variances entre les régimes a été vérifiée pour chaque caractère grâce à un test de Levene. Les LSMMeans ont été déterminées en utilisant un modèle linéaire mixte grâce à la procédure MIXED sous SAS (v9.4, Inst. Inc. Cary,

NC), en supposant l'homogénéité des variances. En cas d'hétérogénéité des variances entre les deux régimes, l'option « repeated » a été utilisée dans la procédure MIXED. Les modèles linéaires mixtes appliqués aux CUD incluait les effets fixes de la bande et du régime, et l'effet aléatoire de la case intra bande intra régime.

1.3.2. Analyses génétiques

Dans un premier temps, les performances ont été analysées séparément pour chaque régime grâce à un modèle linéaire mixte unicaractère, ou bicaractère en combinant le même caractère mesuré dans les deux régimes pour estimer les corrélations génétiques entre régimes :

$$y = X\beta + Zu + (Wp) + e$$

y étant le vecteur contenant les performances, β le vecteur contenant l'effet fixe de la bande pour tous les caractères, plus le poids en fin de post-sevrage pour le GMQ et l'IC, le poids à la fin de la période de contrôle pour la CMJ, le poids de demi-carcasse pour le TMP, le poids net avec tête pour le RDT, l'IQV et le pHu, le lot d'abattage intra-bande pour l'IQV et le pHu. X est une matrice qui associe les performances aux effets fixes. Z est une matrice qui associe les performances aux effets génétiques aléatoires. $u \sim N(0, v(u)*A)$ est le vecteur des effets génétiques additifs pour le caractère considéré, avec A la matrice de parenté pedigree. $p \sim N(0, v(p)*Iq)$ est le vecteur contenant l'effet aléatoire case intra régime intra bande pour tous les caractères sauf l'IQV et le pHu, avec $v(p)$ la variance de l'effet case intra régime intra bande et I la matrice identité. W est la matrice qui associe les performances à l'effet aléatoire case intra régime intra bande. $e \sim N(0, v(e)*In)$ est la résiduelle, avec $v(e)$ la variance résiduelle.

Les composantes de variance ont été estimées par maximum de vraisemblance restreint avec le logiciel ASREML 3.0 (Gilmour *et al.*, 2009). Le pedigree a été retracé sur cinq générations d'ancêtres et comprenait 4119 animaux.

Dans un second temps, les corrélations génétiques entre les CUD et les caractères d'intérêts ont été déterminées en regroupant les mesures enregistrées dans les deux régimes alimentaires. Le même modèle linéaire mixte a été utilisé que celui présenté précédemment, seul l'effet fixe du régime a été ajouté au vecteur β .

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Comparaison des coefficients d'utilisation digestive entre les deux régimes

Les variances phénotypiques étaient homogènes entre les deux régimes pour les CUD de l'E et de la MO ($P > 0,14$) et hétérogènes pour la MAT ($P = 0,03$) (Tableau 2), la variance étant plus élevée dans le régime F pour ce caractère. Les moyennes corrigées des trois CUD étaient significativement différentes entre les deux régimes ($P < 0,001$). Les CUD de l'E, de la MAT et de la MO étaient respectivement supérieurs de 6,2, 4,9 et 5,7 points dans le régime CO en comparaison au régime F (Tableau 2). Les porcs nourris avec un régime CO absorbent donc plus de nutriments au niveau de leur tube digestif que les porcs nourris avec un régime F. Le Goff et Noblet (2001) observaient que le CUD de l'E diminuait d'environ 1% par point de NDF supplémentaire. Dans notre expérience, le CUD de l'E diminue de 0,6% par point de NDF supplémentaire. Cette diminution plus faible dans notre expérience pourrait être causée par le fait que les porcs ont reçu le régime depuis sept semaines avant le prélèvement de fèces, leur efficacité digestive a donc sans doute pu s'améliorer en comparaison aux premières semaines d'adaptation avec le régime F. Le taux de parois végétales influence donc la disponibilité des nutriments pour leur future utilisation métabolique (Le Goff *et al.*, 2002).

Tableau 2 – Moyennes corrigées pour les coefficients d'utilisation digestive des porcs nourris avec le régime conventionnel (CO) et le régime fibreux (F), avec les erreurs standards associées

Coefficients d'utilisation digestive	Homogénéité des variances	Moyennes corrigées \pm erreur standard		
	P-valeur ¹	Régime CO	Régime F	P-valeur ²
Energie, %	0,14	84,30 \pm 0,15	78,13 \pm 0,15	<0,001
Matière azotée totale, %	0,03	78,74 \pm 0,16	73,82 \pm 0,16	<0,001
Matière organique, %	0,50	83,53 \pm 0,13	77,81 \pm 0,14	<0,001

¹ P-valeurs obtenues avec un test de Levene d'homogénéité des variances

² P-valeurs obtenues avec un test de Student entre les deux régimes, avec un modèle linéaire mixte incluant les effets fixes bande et régime et l'effet aléatoire bande intra régime intra case.

2.2. Paramètres génétiques des coefficients d'utilisation digestive

2.2.1. Héritabilités

Les héritabilités des trois CUD étaient modérées dans le régime CO, et légèrement plus élevées dans le régime F (Tableau 3). Les héritabilités plus élevées dans le régime F s'expliquent par des variances génétiques plus élevées pour le CUD de l'E et la MO, et une variance phénotypique plus faible pour le CUD de la MAT. Lorsque les animaux sont soumis à un « challenge », représenté ici par l'incorporation de fibres dans l'alimentation, les individus extrêmes en terme de digestibilité vont se distinguer plus nettement les uns des autres que lorsqu'un aliment facile à digérer leur est fourni puisque l'ensemble des animaux ont une bonne capacité à digérer. Une variabilité génétique plus

importante est donc attendue entre les individus lorsqu'ils sont nourris avec un régime fibreux, ce qui est confirmé dans nos résultats.

Chez le porc, Noblet *et al.* (2013) avaient identifié une variabilité génétique de la digestibilité en étudiant 20 porcs Large White issus de quatre pères différents et nourris avec un régime avec une teneur accrue en fibres (18% NDF) pendant 10 semaines. L'effet père était significatif sur les CUD, deux points d'écart étant observés pour le CUD de l'E entre le moins bon et le meilleur verrat. Dans cet article, les héritabilités n'avaient pas été déterminées en raison du faible nombre d'animaux testés. Hardie *et al.* (2004) ont mesuré les paramètres génétiques des CUD de la matière sèche et de l'E chez 122 jeunes porcs infectés par le virus du syndrome dysgénésique et respiratoire du porc (SDRP) nourris avec un régime ayant une forte teneur en maïs.

Les héritabilités observées pour les deux variables étaient faibles, avec des erreurs standards élevées ($0,17 \pm 0,22$ pour le CUD de la matière sèche et $0,15 \pm 0,23$ pour le CUD de l'E).

Notre étude montre donc sur un plus grand nombre d'individus que la digestibilité est un caractère héritable chez le porc en croissance. Cette observation avait aussi été rapportée chez le poulet de chair pour les CUD des protéines, de l'amidon et des lipides (Mignon-Grasteau *et al.*, 2004). La variance génétique des trois CUD est élevée au sein des deux régimes, mais surtout au sein du régime F (Tableau 3). Chez ces mêmes animaux, l'IC, en kg/kg, a une variance génétique autour de 0,01 et une variance phénotypique autour de 0,03 au sein de chacun des régimes. Les héritabilités des trois CUD sont plus élevées que les héritabilités de l'IC au sein de chacun des régimes. Il semble donc envisageable de sélectionner les porcs pour améliorer leur efficacité digestive lorsque le régime est riche en fibres, mais aussi quand le régime est de type conventionnel (européen).

Tableau 3 – Héritabilités (h^2), variances génétiques et phénotypiques pour les coefficients d'utilisation digestive au sein du régime conventionnel (CO) et du régime fibreux (F), avec les erreurs standards associées

Coefficients d'utilisation digestive	Régime CO			Régime F			Entre régimes
	h^2	Variance génétique	Variance phénotypique	h^2	Variance génétique	Variance phénotypique	Corrélations génétiques
Energie, %	0,38 $\pm 0,12$	1,99 $\pm 0,67$	5,21 $\pm 0,43$	0,54 $\pm 0,15$	2,83 $\pm 0,87$	5,28 $\pm 0,37$	0,76 $\pm 0,15$
Matière Azotée totale, %	0,41 $\pm 0,12$	3,38 $\pm 1,10$	8,31 $\pm 0,65$	0,56 $\pm 0,15$	3,29 $\pm 1,00$	5,92 $\pm 0,42$	0,79 $\pm 0,15$
Matière organique, %	0,40 $\pm 0,12$	1,75 $\pm 0,57$	4,38 $\pm 0,37$	0,54 $\pm 0,15$	2,41 $\pm 0,75$	4,49 $\pm 0,39$	0,86 $\pm 0,16$

Tableau 4 – Corrélations génétiques entre les coefficients d'utilisation digestive (CUD) et les caractères d'intérêt pour les deux régimes confondus, avec les erreurs standards associées

Caractères	Corrélations génétiques		
	CUD Energie	CUD Matière azotée totale	CUD Matière organique
Indice de consommation, MJ/kg	-0,39 \pm 0,14	-0,37 \pm 0,14	-0,42 \pm 0,12
Consommation moyenne journalière, EN/jour	-0,75 \pm 0,11	-0,73 \pm 0,10	-0,65 \pm 0,10
Consommation moyenne journalière résiduelle, g/jour	-0,65 \pm 0,12	-0,64 \pm 0,11	-0,65 \pm 0,12
Gain moyen quotidien, g/jour	-0,53 \pm 0,13	-0,52 \pm 0,13	-0,42 \pm 0,13
Taux de muscle des pièces, %	0,19 \pm 0,15	0,14 \pm 0,14	0,18 \pm 0,14
Rendement en carcasse, %	-0,19 \pm 0,17	-0,20 \pm 0,17	-0,19 \pm 0,17
Indice de qualité de la viande	-0,15 \pm 0,22	-0,19 \pm 0,21	-0,13 \pm 0,21
pH ultime	-0,40 \pm 0,23	-0,42 \pm 0,22	-0,38 \pm 0,22

2.2.2. Corrélations génétiques entre les coefficients d'utilisation digestive et les caractères d'intérêt

Les corrélations génétiques estimées entre les CUD et les caractères d'intérêt sont présentées dans le tableau 4. Les données des deux régimes ont été combinées pour l'estimation des corrélations pour améliorer la précision des estimations, car les corrélations génétiques étaient proches de 1 pour un même caractère entre régimes (Tableau 3) et que les corrélations génétiques entre caractères estimées intra-régime étaient du même ordre de grandeur (non rapportées).

De plus, les meilleurs digesteurs de l'E sont donc également les meilleurs digesteurs de la MO (respectivement 94% et 95% de similarité pour les 25% des porcs avec la meilleure valeur génétique au sein du régime CO et F). Ce résultat était attendu car les corrélations de Pearson entre les trois CUD étaient élevées ($>0,89$), mais la corrélation la plus forte était observée entre les CUD de l'E et de la MO (0,99). Les pourcentages de similarité sont légèrement plus faibles entre les CUD de l'E et de la MAT (respectivement 72% et 79% dans les régimes CO et F) et entre les CUD de la MAT et de la MO (respectivement 74% et 79% dans les régimes CO et F).

Les corrélations génétiques estimées entre les CUD enregistrés avec les régimes CO et F étaient supérieures à $0,76 \pm 0,15$ et non différentes de 1 (Tableau 3). Des valeurs aussi élevées ont été estimées aussi pour les autres caractères mesurés (non rapporté ici). Cela suggère des déterminismes génétiques similaires des différents caractères pour les deux stratégies d'alimentation.

Les corrélations génétiques entre les trois CUD et l'IC (en MJ/kg) étaient négatives et favorables (de -0,42 à -0,37). Cette observation a également été faite chez le poulet dans l'expérience de Mignon-Grasteau *et al.* (2004), où les CUD des lipides, de la MAT et des protéines étaient négativement et favorablement corrélés à l'IC (entre -0,89 et -0,51). Dans notre étude, les corrélations génétiques entre les CUD et la CMJ étaient négatives et favorables (de -0,75 à -0,65). Elles étaient également négatives et favorables avec la CMJR (de -0,65 à -0,64), mais défavorables avec le GMQ (de -0,53 à -0,42).

D'après les erreurs standards associées, il n'est pas possible d'exclure que les corrélations génétiques entre les trois CUD et le TMP, le RDT et l'IQV sont différentes de zéro. Cependant, les corrélations génétiques tendent à être favorable avec le TMP (de 0,14 à 0,19) et défavorables avec le RDT (de -0,20 à -0,19). Les corrélations génétiques tendent également à être défavorables avec l'IQV (de -0,19 à -0,13). Les corrélations génétiques entre les CUD et le pHu étaient défavorables (de -0,42 à -0,38).

Outre les contraintes techniques pour la réalisation des prélèvements en élevage, l'enregistrement de la digestibilité dans le cadre d'un schéma de sélection pourrait permettre d'augmenter la précision du choix des reproducteurs sur l'efficacité alimentaire en mettant l'accent sur l'efficacité digestive des animaux. Toutefois, l'objectif de sélection et les pondérations appliquées sur les différents critères devront tenir compte des corrélations génétiques défavorables avec le GMQ, le RDT et les caractères de qualité de la viande.

CONCLUSION

La digestibilité est un caractère avec une héritabilité modérée à élevée. Ce caractère est favorablement corrélé avec l'IC, la CMJ et la CMJR du point de vue génétique. Cependant, les CUD sont défavorablement corrélés avec le GMQ et les caractères de qualité de la viande. Ce caractère pourrait être intéressant à ajouter dans les schémas de sélection afin d'affiner les décisions de sélection concernant l'efficacité alimentaire, et potentiellement d'accélérer les progrès génétiques de celle-ci sur la composante efficacité digestive. La réponse à la sélection actuelle de ce caractère sera étudiée.

Toutefois, compte tenu des premiers résultats, il faudrait le sélectionner conjointement avec le GMQ et les caractères de qualité de la viande afin d'éviter une évolution génétique défavorable sur ces derniers caractères.

De nombreuses interrogations subsistent au sujet de ce nouveau caractère d'intérêt. Il a été montré que la digestibilité a tendance à augmenter au fur et à mesure de l'âge de l'animal, et que la répétabilité de ce caractère varie entre 7 et 16% en fonction des nutriments (Ouweltjes *et al.*, 2018). Les données répétées d'un individu sont donc corrélées, et ainsi il peut être envisagé un unique prélèvement pour estimer correctement la digestibilité. Une meilleure compréhension des composantes physiologiques est nécessaire pour expliquer la variabilité génétique observée pour ce caractère. Les efficacités digestive et métabolique sont deux efficacités dissociées, et il pourrait être intéressant de sélectionner conjointement les porcs avec les meilleures efficacités pour ces deux composantes, pour encore améliorer l'efficacité alimentaire des animaux. L'évaluation de la contribution des données de microbiote à la variabilité génétique de la digestibilité et l'apport des données génomiques de l'hôte pour la prédiction du potentiel génétique de ce caractère ne sont pas connus et seront traités dans la suite de l'étude.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été financé par l'Union Européenne à travers le programme de financement de la recherche et de l'innovation Horizon 2020 sous le contrat n°6333531 (Feed-a-Gene). Les auteurs souhaitent remercier les entreprises de sélection Axiom et Nucléus pour avoir fourni les animaux et pour le co-financement de la thèse de V Déru via France Génétique Porc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Daumas G., Monziols M., 2011. Comparison between computed tomography and dissection for calibrating pig classification. 57th International Congress of Meat Science and Technology, Ghent, Belgium, pp.2009-2012.
- Gilbert H., 2015. Sélection pour l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance : opportunités et challenges. Journées Rech. Porcine, 47, 19-30.
- Gilbert H., Billon Y., Brossard L., Faure J., Gatellier P., Gondret F., Labussière E., Lebreton B., Lefaucher L., Le Floch N., Louveau I., Merlot E., Meunier-Salaün M.C., Montagne L., Mormede P., Renaudeau D., Riquet J., Rogel-Gaillard C., Van Milgen J., Vincent A., Noblet J., 2017. Review: divergent selection for residual feed intake in the growing pig. *Animal*, 11, 1427-1439.
- Gilmour A.R., Jørgen B.J., Cullis B.R., Thompson R., 2009. ASRReml User Guide.
- Hardie L.C., Seroo N.V.L., Rowland R.R.R., Patience J.F., Dekkers J.C.M., Gabler N.K., 2014. Genetic basis of digestibility in nursery pigs under PRRSV infection. 10th WCGALP, Vancouver, Canada,
- Harris A.J., Patience J.F., Lonergan S.M., Dekkers J.C.M., Gabler N.K., 2012. Improved nutrient digestibility and retention partially explains feed efficiency gains in pigs selected for low residual feed intake. *J. Anim. Sci.*, 90, 164-166.
- Labussière E., Ganier P., Condé A., Janvier E., Van Milgen J., 2019. Development of a NIRS method to assess the digestive ability in growing pigs. 70th annual meeting of the European federation of animal science, Ghent, Belgium, p. 604.
- Le Goff G., Dubois S., Van Milgen J., Noblet J., 2002. Influence of dietary fibre level on digestive and metabolic utilization of energy in growing and finishing pigs. *Anim. Res.*, 51, 245-259.
- Le Goff G., Noblet J., 2001. Utilisation digestive compare de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. Journées Rech. Porcine en France, 33, 211-220.
- Mignon-Grasteau S., Muley N., Bastianelli D., Gomez J., Péron A., Sellier N., Millet N., Besnard J., Hallouis J.M., Carré B., 2004. Heritability of digestibilities selection for digestion ability in growing chicks fed a wheat diet. *Poultry Sci.*, 83, 860-867.
- Noblet J., Karege C., Dubois S., Van Milgen J., 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effect of sex and genotype. *J. Anim. Sci.*, 77, 1208-1216.
- Noblet J., Gilbert H., Jaguelin-Peyraud Y., Lebrun T., 2013. Evidence of genetic variability for digestive efficiency in the growing pig fed a fibrous diet. *Animal*, 7, 1259-1264.
- Ouweltjes W., Verschuren L.M.G., Pijlman J., Bergsma R., Schokker D., Knol E.F., Van Der Aar P.J., Molist F., Calus M.P.L., 2018. The repeatability of individual nutrient digestibility in pigs. *Livestock Sci.*, 207, 63-67.
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria.
- Tribout T., Caritez J.C., Gogue J., Gruand J., Bouffaud M., Billon Y., Péry C., Griffon H., Brenot S., Le Tiran M.H., Bussièrès F., Le Roy P., Bidanel J.P., 2004. Estimation, par utilisation de semence congelée, du progrès génétique réalisé en France entre 1977 et 1988 dans la race porcine Large White : résultats pour quelques caractères de production et de qualité des tissus gras et maigres. Journées Rech. Porcine, 36, 275-282.
- Wenk C., 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 90, 21-33.