

Utilisation de la tomographie RX pour étudier l'évolution de la composition corporelle au cours de la croissance chez des porcs alimentés à volonté ou rationnés

Mathieu MONZIOLS (1), Anne HEMONIC (1), Bertrand VAUTIER (1,2), Ludovic BROSSARD (2,3), Jaap van MILGEN (2,3),
Nathalie QUINIOU (1)

(1,2,3) Unité Mixte Technologique Ingénierie des systèmes de production porcine

(1) IFIP- Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex, France

(2) INRA, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

(3) Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, 35000 Rennes, France

mathieu.monziols@ifip.asso.fr

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une thèse CIFRE avec un co-financement du CASDAR et de l'appel à projets « Recherche finalisée et innovation » du Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche. Les auteurs remercient Isabelle CORREGE, Eric GAULT, Delphine LOISEAU, Romain RICHARD, Julien SOYER, Mathilde LE SCIELLOUR, Fanny GAEL et le personnel de la station expérimentale IFIP de Romillé pour leur collaboration technique.

Utilisation de la tomographie RX pour étudier l'évolution de la composition corporelle au cours de la croissance chez des porcs alimentés à volonté ou rationnés

L'effet des conditions d'alimentation (à volonté : AL ou rationnement : RA) sur l'évolution de la composition tissulaire du poids vif (PV) est étudié à partir de 10 femelles et 10 mâles castrés par lot. Les animaux sont anesthésiés puis scannés *in vivo* au tomographe RX vers 30, 50 et 70 kg de PV (scans 1, 2 et 3). La carcasse est également scannée après l'abattage vers 112 kg de PV (scan 4). A l'abattage, les proportions volumique et massique de gras sont réduites et les proportions de muscle plus élevées chez les porcs RA comparativement aux porcs AL. Les mesures RX permettent d'observer un effet du rationnement sur les proportions de gras et de muscle (% PV) dès le scan 2. Entre les scans 1 et 3, les porcs RA présentent une proportion de muscle dans le gain de PV plus élevée et une proportion de gras plus faible que les porcs AL, la différence entre lots n'étant plus significative pour le gras entre les scans 3 et 4. La corrélation entre la proportion de muscle (en % du PV) mesurée *in vivo* aux scans 1 à 3 et le taux de muscle RX (% du poids de la carcasse) à l'abattage est d'autant plus élevée que le scan *in vivo* est réalisé tardivement et elle est plus élevée chez les porcs alimentés à volonté. Ces corrélations sont plus faibles chez les animaux rationnés en raison de l'effet du rationnement sur la composition du gain de PV.

Body composition evolution studied by computer tomography (CT) on ad libitum or restrictively fed growing pigs

The effect of feeding level (AL: ad libitum or R: restricted) on the changes in tissue composition during growth was studied in 10 females and 10 castrated male pigs by feeding level. The animals were sedated and scanned *in vivo* with a CT-scanner at approximately 30, 50, and 70 kg body weight (BW) (scans 1, 2, and 3). After slaughter at approximately 112 kg, carcasses were also scanned (scan 4). At slaughter, the mass and volumetric proportions of fat were lower while the proportions of muscle were greater in restrictively-fed pigs than in *ad libitum* fed pigs. The effect of feed restriction on the proportions of fat and muscle in the body was observed from scan 2 onwards. The CT scans made it possible to quantify the effect of a feed restriction on the dynamics of muscle and fat deposition. Between scans 1 and 3, the proportion of muscle in BW gain was higher and the proportion of fat was lower in restrictively-fed pigs than in *ad libitum* fed pigs, the difference in fat proportion between feeding levels being no more significant between scans 3 and 4. The correlation between the proportion of muscle (% BW) measured *in vivo* and the CT muscle content (% carcass weight) at slaughter increased with the age at scan and this correlation was higher in *ad libitum* fed pigs. These correlations are lower for the restrictively-fed animals due to the effect of feed restriction on the composition of BW gain.

INTRODUCTION

L'hétérogénéité du poids vif (PV) entre les porcs complique la conduite d'élevage tandis que l'hétérogénéité de composition corporelle influence la rémunération de l'éleveur. Par la modélisation, il est possible de simuler avec une certaine fiabilité l'effet de stratégies d'alimentation sur les performances de croissance moyennes et leur hétérogénéité (Quiniou *et al.*, 2013 ; Brossard *et al.*, 2014). En l'état des connaissances, les résultats de simulation sur la composition corporelle sont en revanche moins robustes.

La composition tissulaire du gain de poids a été déterminée pendant longtemps avec la méthode des abattages comparés. Celle-ci consiste à abattre et à disséquer des porcs en fin d'essai et d'autres porcs (témoins) en début d'essai supposés avoir la même composition corporelle que ceux abattus plus tard. La dissection est non seulement coûteuse et difficile à réaliser, mais également incompatible avec un suivi longitudinal, ce qui amène à supposer qu'au PV initial la composition corporelle est identique pour les porcs de même fratrie et même sexe.

La tomographie RX est un outil non invasif et non destructeur dont l'utilisation permet de mesurer *in vivo* la composition d'un porc (Szabo *et al.*, 1999). Dans le cadre d'un essai nutritionnel, une étude a été mise en place à la station IFIP à Romillé pour suivre l'évolution de la composition corporelle au cours de la croissance à l'aide d'un tomographe RX.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'évolution, selon les conditions d'alimentation, des masses de tissus gras et maigre au cours de la croissance a été étudiée chez 48 porcs croisés issus de truies Large White x Landrace et de verrats Large White x Piétrain. Des blocs de deux sœurs (ou demi-sœurs) et deux frères (ou demi-frères) sont constituées à l'entrée en engraissement (63 j d'âge). Un porc de chaque sexe est alimenté à volonté (lot AL) ou rationné (lot RA).

1.2. Conditions d'élevage et d'abattage

Les porcs sont élevés dans deux salles de 24 cases individuelles (1,60 x 0,90 m) chacune, sur caillebotis béton. Chaque case est équipée d'un abreuvoir et d'une auge. La température ambiante est comprise entre 22 et 24°C.

Les porcs sont nourris avec un aliment croissance jusqu'à 65 kg PV, puis ils reçoivent un aliment finition jusqu'à l'abattage. Les deux aliments ont une teneur en énergie nette (EN) de 9,75 MJ/kg et apportent, respectivement, 0,9 et 0,7 g de lysine digestible par MJ. Ils sont distribués sous forme de granulés.

Des plans d'alimentation variant par la teneur en lysine, le nombre de phases et/ou par le niveau de rationnement ont été étudiés par simulation des performances de croissance à partir d'une population virtuelle de porcs (Quiniou *et al.*, 2013). Parmi ces plans, un plan biphasé avec rationnement progressif permettant une amélioration importante de l'homogénéité du PV en fin d'engraissement est retenu pour le lot RA. L'essai commence après 1 semaine d'adaptation aux conditions expérimentales pendant laquelle tous les porcs sont alimentés à volonté. Le lendemain, les porcs RA reçoivent 1,20 kg d'aliment, puis la ration est augmentée de 27 g/j jusqu'à un maximum de 2,40 kg/j pour les femelles (F) et 2,70 kg/j pour les mâles castrés (MC). La ration est distribuée

en un repas par jour. Les porcs sont abattus en deux séries pour chaque condition d'alimentation, vers 112 kg PV après 16 h de jeûne.

1.3. Mesures

1.3.1. Performances de croissance

Les porcs sont pesés au début de l'essai puis toutes les 2 semaines jusqu'à 100 kg et toutes les semaines ensuite. Ils sont mis à jeun la veille et sont pesés le matin à 8h00. Ils reçoivent ensuite leur ration (ou une demi-ration le jour du départ pour l'abattoir). La quantité d'aliment consommé par porc est mesurée chaque semaine. Après l'abattage, la carcasse chaude est pesée et un capteur gras-maigre est utilisé pour déterminer le taux de muscle des pièces (TMP_{CGM}).

1.3.2. Composition corporelle

Chaque porc est scanné *in vivo* à trois stades avec un tomographe RX : au début de l'essai vers 30 kg PV (scan 1), vers 50 kg PV (scan 2), et vers 70 kg PV (scan 3). Le PV initial moyen étant respectivement de 27,6 et 34,9 kg pour les porcs des salles 1 et 2, les scans 2 et 3 sont réalisés 4 et 7 semaines (salle 1) ou 3 et 6 semaines (salle 2) plus tard afin de réaliser l'examen à un PV proche de la valeur cible à chaque stade. Après l'abattage, les deux demi-carcasses froides et la tête de chaque porc sont également scannées (scan 4).

Pendant les scans 1 à 3, les porcs sont anesthésiés suivant la méthode décrite par Monziols et Hémonic (2011). Chaque porc est pesé dans les minutes qui précèdent l'anesthésie, après un jeûnement d'environ 24 h. L'ajournement hydrique est réalisé à partir de 3h00 pour les porcs scannés le matin, et à partir de 8h00 pour ceux qui sont scannés l'après-midi. Un agent sédatif (Xylazine, Rompun® 2%, Bayer Santé Division santé animale, 2 mg/kg = 10 ml/100 kg PV) et un anesthésique (Kétamine, Imalgene® 1000, Merial SAS, 20 mg/kg = 20 ml/100 kg PV) sont administrés en simultané par injection intramusculaire. Le Rompun® 2% n'ayant pas d'autorisation de mise sur le marché chez le porc, un délai d'attente forfaitaire de 28 j est appliqué avant l'abattage. Après le scan, les porcs sont remis dans leur case. Dès leur retour, une quantité d'aliment correspondant à la ration calculée à ce stade pour les porcs du lot RA est mise à disposition de tous les animaux (lots AL et RA). Dans les loges, afin de limiter la souillure de l'aliment par des déjections, le porc doit pousser un panneau basculant pour accéder à l'aliment. Ce dispositif implique que le porc soit suffisamment réveillé pour réussir à manger. Dès le lendemain, les porcs AL sont à nouveau alimentés à volonté.

1.4. Protocole d'acquisition et d'analyse des images RX

1.4.1. Acquisition des images

L'acquisition des images *in vivo* est effectuée de manière à optimiser le contraste du muscle et du gras et dure environ 5 min/porc. Pour la carcasse, le protocole d'acquisition est le plus proche possible de celui appliqué aux animaux vivants. L'acquisition est réalisée avec un scanner Siemens emotion duo (Siemens, Erlangen). Le protocole d'acquisition des images est identique à celui utilisé précédemment sur carcasse par Daumas et Monziols (2011) et permet une excellente mesure de la teneur en muscle. Les paramètres de ce protocole sont les suivants : tension du tube RX 130 kV, intensité du tube 40 mAs, zone de mesure 500 x 500 mm², matrice d'acquisition 512 x 512, acquisition hélicoïdale, épaisseur de coupe 3 mm et filtre de reconstruction B30s adapté pour distinguer les tissus dits "mous" tels que le gras et le muscle.

1.4.2. Traitement des images et calculs

Le traitement des images *in vivo* a pour objectif d'obtenir une carcasse virtuelle. Afin d'étudier la croissance des tissus jusqu'à l'abattage, la première étape du traitement consiste à distinguer la carcasse du cinquième quartier (Q5, cavités thoracique et abdominale y compris la panne, Figure 1a). Ceci a été réalisé par segmentation 3D semi-automatique avec le logiciel Turtleseg (www.turtleseg.org, Figure 1b). Le masque du Q5 obtenu après la segmentation par Turtleseg permet d'ôter la zone correspondante sur les images originales (Figure 1c). Les étapes d'application du masque, et de conversions de fichiers, préalables au traitement de séparation des tissus, sont réalisées avec le logiciel ImageJ (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>).

Un logiciel développé en interne en C# (Monziols *et al.*, 2013) est utilisé pour segmenter le muscle (*i.e.*, le muscle *sensu stricto*, le gras intramusculaire et l'essentiel de la peau), le gras (*i.e.*, le gras sous-cutané et intermusculaire ainsi qu'une fraction de la peau) et l'os à partir des images sans Q5. Cette analyse se fait par un simple seuillage fondé sur le signal des pixels des images RX, exprimé en unités hounsfield (HU). Les pixels dont le signal est compris entre -500 et 0 HU sont classés en gras, ceux entre 0 et 120 HU en muscle et ceux au dessus de 120 HU en os. Le nombre de pixels par tissu est ensuite multiplié par le volume du pixel ($0,98 \times 0,98 \times 3 \text{ mm}^3$) pour mesurer le volume total du tissu.

Aux quatre stades (= scans), la proportion de muscle, de gras et d'os est exprimée en pourcentage du volume de la carcasse obtenu par tomographie ou en pourcentage du PV. A cette fin, les hypothèses de densité utilisées en radioprotection ont été utilisées : 1,04 pour le muscle et 0,95 pour le gras (ICRU, 1989). Ce calcul n'a pas été réalisé pour l'os en raison de l'extrême variabilité de la densité d'un os à l'autre et de sa variabilité interindividuelle. La densité du Q5 est également très variable et dépend notamment du contenu du tube digestif.

Les images du scan 4 (carcasses) sont traitées directement par seuillage automatique pour obtenir les volumes à froid de muscle, de gras et d'os. Les masses de gras et de muscle sont obtenues en appliquant les densités indiquées ci-dessus. Un volume et un poids de muscle chauds sont ensuite estimés, en supposant que toutes les pertes de ressuyage, pertes d'eau (densité = 1) estimées à 2% du poids chaud, proviennent du muscle. Un taux de muscle (TM RX) froid ou chaud est calculé par un rapport entre masse de muscle et poids de carcasse.

1.5. Analyses statistiques

Les performances de croissance et la composition tissulaire du gain de PV sont calculées sur quatre périodes : sur l'ensemble de l'essai, entre les scans 1 et 2 (période 1), 2 et 3 (période 2) ou 3 et 4 (période 3). Pour l'ensemble de l'essai et la période 3, les calculs de composition du gain de poids sont réalisés,

respectivement, par différence entre les résultats du scan 4 (carcasse à l'abattoir) ramenés sur une base de carcasse à chaud, et du scan *in vivo* 1 ou 3.

Les données sont soumises à une analyse de la variance (proc MIXED, SAS, SAS Inc, version 9.2) avec en effets fixes le bloc, le sexe ($n = 2$), et le plan d'alimentation testé intra-sexe (PA ou lot, $n = 2$) du fait du plafond d'alimentation différent pour les F et les MC. Le PV en début de période est introduit en covariable dans le modèle statistique pour analyser les critères de composition corporelle ou de gain de poids. L'interaction entre la période et le lot intra-sexe est testée par une analyse des données répétées. Les corrélations entre variables sont étudiées avec le coefficient de Pearson (proc CORR, SAS).

2. RESULTATS

Les quatre scans ont pu être réalisés sur les porcs issus de huit blocs complets (quatre porcs) et quatre blocs incomplets (deux F ou deux MC), soit 10 porcs/lot/sexe.

La consommation moyenne journalière (CMJ) des F et des MC AL est en moyenne, respectivement, de 2,53 et 2,76 kg/j (Tableau 1). Avec le plan d'alimentation appliqué distinctement selon le sexe, l'intensité de rationnement est en moyenne de 17 et 20%, respectivement pour les F et les MC. Les porcs d'une même salle ont été scannés *in vivo* à âges fixes. Compte tenu de l'effet du plan d'alimentation sur le gain moyen quotidien (GMQ) dès le début de l'essai, les porcs RA sont 5 à 9 kg plus légers que ceux du lot AL lors des scans 2 et 3 ($P < 0,01$). Le scan 4 est réalisé à partir d'un poids d'abattage similaire pour les porcs des deux lots, atteint en moyenne 16 j plus tard pour les porcs RA que pour les porcs AL. En fin d'essai (période 3), les écarts de GMQ entre porcs RA et AL ne sont plus significatifs en raison d'une forte augmentation de la variabilité interindividuelle du GMQ à ce stade. Avec 10 porcs par groupe, aucune différence significative d'indice de consommation (IC) n'est observée selon le sexe, quel que soit le stade, malgré une valeur plus élevée obtenue pendant la période 3 pour les MC. Sur l'ensemble de l'essai, l'IC des F RA tend à être plus élevé que celui des F AL, alors que l'inverse est observé chez les MC ($P = 0,06$).

Les volumes de muscle, gras ou os obtenus lors des scans 1 à 3 à partir de la carcasse "virtuelle" et lors du scan 4 à partir de la carcasse "réelle" sont exprimés en pourcentage du volume de la carcasse dans le Tableau 2. Le volume d'os diminue entre les scans 1 et 2 ($P = 0,03$) puis reste stable jusqu'à l'abattage, sans être significativement influencé par le sexe ou le plan d'alimentation. Le volume de gras augmente entre les scans 1 à 3 ($P < 0,01$), puis se stabilise. Au début de l'essai, il est significativement plus élevé chez les F RA que chez les F AL (+3,7 points), et peu différent entre les MC AL et RA (PA(sexe) : $P = 0,02$). Au scan 2, la différence entre les deux lots de F s'est estompée et le volume de gras des MC AL tend à

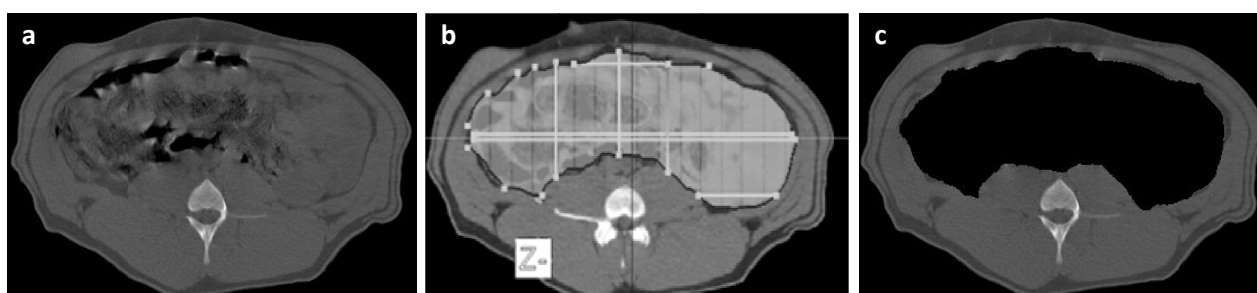


Figure 1 - Image abdominale *in vivo* au scan 3 : a - image brute, b - segmentation du cinquième quartier (Q5), c - image sans Q5.

Tableau 1 - Performances de croissance sur l'ensemble de l'essai et entre deux scans RX.

Type sexuel ¹	F		MC		Statistiques ²		
Alimentation ¹	AL	RA	AL	RA	ETR	S	PA
Nb porcs	10	10	10	10			
Age scan 4, j ³	163	179	155	172	7	0,02	<0,01
Poids vif, kg							
Scan 1	30,1	30,5	32,4	32,6	1,2	0,14	0,68
Scan 2	52,0	46,3	54,0	49,2	2,2	0,09	<0,01
Scan 3	73,4	64,9	76,5	68,1	2,8	0,02	<0,01
Scan 4	115,0	110,7	112,7	114,8	5,0	0,71	0,12
CMJ, kg/j ⁴	2,53	2,09	2,76	2,21	0,15	0,02	<0,01
Scan 1 – 2	2,02	1,40	2,07	1,41	0,19	0,96	<0,01
Scan 2 – 3	2,49	2,03	2,78	2,03	0,32	0,25	<0,01
Scan 3 – 4	2,87	2,40	3,29	2,66	0,24	<0,01	<0,01
GMQ, g ⁴	980	778	1016	851	67	0,07	<0,01
Scan 1 – 2	899	649	912	697	73	0,38	<0,01
Scan 2 – 3	995	861	1050	876	93	0,12	<0,01
Scan 3 – 4	1025	803	1082	915	116	0,16	0,66
IC ⁴	2,59	2,69	2,73	2,61	0,14	0,80	0,06
Scan 1 – 2	2,26	2,17	2,28	2,06	0,27	0,51	0,17
Scan 2 – 3	2,51	2,37	2,66	2,33	0,36	0,98	0,11
Scan 3 – 4	2,83	3,00	3,07	2,92	0,28	0,32	0,21

¹ F : femelles, MC : mâles castrés, AL : à volonté. RA : rationné.

² ETR : écart-type résiduel. Analyse de la variance (proc MIXED, SAS) avec en effets fixes le sexe (S), le plan d'alimentation intra-sexe (PA, le plafond de rationnement des porcs RA diffère selon le sexe) et le bloc (n = 12).

³ Les scans 1, 2 et 3 sont réalisés, respectivement, à 76, 100 et 121 j d'âge (P-values aux trois scans pour l'effet du sexe sur l'âge = 0,75, pour l'effet du plan d'alimentation intra-sexe = 0,85).

⁴ Moyennes brutes sur l'ensemble de l'essai (en gras) ou entre deux scans ; CMJ : consommation moyenne journalière, GMQ : vitesse de croissance, IC : indice de consommation.

être plus élevé qu'avec le plan RA. L'effet des conditions d'alimentation sur ce critère est significatif aux scans 3 et 4 (-2 points en moyenne chez les F et -6 à -3 points chez les MC ; $P < 0,05$). Le volume de muscle décroît fortement entre les scans 1 et 3. Entre les scans 3 et 4, il diminue légèrement chez les porcs RA mais augmente un peu chez les porcs AL (interaction PA(sexe) x période : $P = 0,02$). Tout comme pour le gras, une différence entre porcs AL et RA est observée au scan 1, qui dépend du sexe. Lors des scans 2 à 4, le volume de muscle dans la carcasse est plus élevé chez les porcs RA quel que soit le sexe ($P < 0,01$). Calculés à partir du rapport entre la masse de muscle froid (ou chaud) estimée lors du scan 4 et le poids de carcasse froide (ou chaude), les taux de muscle RX (TM RX) froid (ou chaud) sont plus élevés chez les porcs RA que chez les porcs AL mais la différence n'est pas significative ($P = 0,11$). De même, le lot n'influence pas les caractéristiques de carcasses obtenues avec le capteur CGM (P-values PA(sexe) : G2 : 0,32, M2 : 0,35, TMP_{CGM} : 0,72).

Le pourcentage massique de gras augmente jusqu'au scan 3 (Tableau 3) puis il se stabilise chez les porcs RA mais baisse chez les AL (interaction PA(sexe) x période : $P = 0,03$). Les porcs RA sont moins gras que les porcs AL dès le scan 2. Le pourcentage massique de muscle dans le PV diminue entre deux scans jusqu'au scan 3. L'effet du plan d'alimentation est

Tableau 2 - Caractéristiques des carcasses mesurées lors des quatre scans par tomographie ou de façon usuelle par CGM.

Type sexuel ¹	F		MC		Statistiques ¹		
Alimentation ¹	AL	RA	AL	RA	ETR	S	PA
Tomographie ²							
Os, % vol.							
Scan 1	7,7	6,8	7,8	7,6	1,5	0,48	0,38
Scan 2	7,0	6,4	6,9	6,5	1,0	0,90	0,72
Scan 3	6,8	6,5	6,5	6,5	0,7	0,70	0,74
Scan 4	6,6	6,9	6,2	6,6	0,6	0,11	0,34
Gras, % vol.							
Scan 1	21,0	24,8	22,3	21,8	2,7	0,41	0,02
Scan 2	25,6	25,0	26,7	23,2	2,4	0,71	0,06
Scan 3	29,9	27,4	33,1	26,7	2,2	0,16	<0,01
Scan 4	28,8	27,6	30,7	27,7	2,7	0,31	0,04
Muscle, % vol.							
Scan 1	71,3	68,4	69,9	70,6	1,7	0,50	<0,01
Scan 2	67,3	68,6	66,4	70,3	1,9	0,60	0,01
Scan 3	63,3	66,1	60,3	66,8	2,0	0,15	<0,01
Scan 4	64,5	65,6	63,1	65,7	2,5	0,49	0,06
TM RX chaud ³	62,7	63,8	61,6	63,5	2,3	0,41	0,11
TM RX froid ⁴	61,9	63,1	60,8	62,8	2,4	0,41	0,11
Abattoir							
Poids chaud, kg	91,9	89,7	90,3	91,7	3,8	0,47	0,30
Rendement, % ⁵	80,0	81,0	80,2	80,0	1,1	0,29	0,14
G2, mm ⁵	14,4	13,5	16,0	14,5	2,5	0,16	0,32
M2, mm ⁵	60,0	58,3	59,9	56,8	5,3	0,69	0,35
TMP _{CGM} ⁵	60,3	60,8	59,2	59,8	2,1	0,18	0,72

¹ Voir Tableau 1.

² Les pourcentages sont exprimés relativement au volume in vivo de carcasse sans viscères aux scans 1, 2 et 3. Au scan 4, les volumes de muscle chaud et de carcasse chaude sans viscères sont calculés comme la somme des volumes mesurés par tomographie à froid et des pertes volumiques d'eau pendant le ressuage (densité = 1), correspondant à 2% du poids de carcasse chaude. Moyennes ajustées pour un même volume de carcasse (chaude au scan 4), critère pris en compte en covariable dans le modèle statistique.

³ Taux de muscle RX chaud = Masse de muscle (MM) chaud / Poids chaud x 100, où MM chaud = Volume de muscle froid x 1,04 + Poids chaud x 0,02. Moyennes ajustées pour un même poids chaud de carcasse.

⁴ Taux de muscle RX froid = MM froid / Poids froid x 100, où MM froid = Volume de muscle froid x 1,04. Moyennes ajustées pour un même poids froid de carcasse.

⁵ Mesures des épaisseurs de gras (G2) et de muscle (M2) avec le capteur gras maigre CGM ; taux de muscle des pièces TMP_{CGM} = 62,19 – 0,722 G2 + 0,144 M2. Moyennes ajustées pour un même poids chaud de carcasse.

observé de façon significative au scan 2, notamment chez les MC, puis tend à persister aux scans 3 et 4. Ainsi, au scan 4 le pourcentage de muscle des porcs RA est en moyenne 1,5 point plus élevé que celui des porcs AL ($P = 0,10$).

Le dépôt quotidien de gras le plus élevé est observé entre les scans 2 et 3, quel que soit le sexe et le lot. Les porcs RA déposent significativement moins de gras que les porcs AL entre les scans 1 et 3. Entre les scans 3 et 4, l'effet de la stratégie alimentaire n'est plus significatif ($P = 0,30$). Le dépôt quotidien de muscle augmente chez les porcs RA tout au long

Tableau 3 – Evolution de la composition corporelle et des dépôts tissulaires.

Type sexuel ¹	F		MC		Statistiques ¹		
Alimentation ¹	AL	RA	AL	RA	ETR	S	PA
% massique PV²							
Gras,							
Scan 1	15,1	18,0	16,5	16,1	2,0	0,68	0,01
Scan 2	18,8	17,5	19,8	16,5	1,8	0,96	0,03
Scan 3	22,3	19,3	25,0	19,0	1,7	0,09	<0,01
Scan 4	20,6	19,9	21,9	19,6	2,0	0,46	0,04
Muscle							
Scan 1	55,8	54,1	56,3	56,3	1,7	0,04	0,11
Scan 2	53,2	53,4	52,7	55,1	1,6	0,33	0,04
Scan 3	51,5	51,8	49,6	52,1	1,8	0,27	0,08
Scan 4 ²	50,3	51,6	49,3	50,9	2,1	0,25	0,10
Dépôt, g/j							
Gras	222	161	245	178	28	0,07	<0,01
Scan 1 – Scan 2	202	111	209	116	22	0,25	<0,01
Scan 2 – Scan 3	316	208	397	229	38	<0,01	<0,01
Scan 3 – Scan 4	198	145	195	170	45	0,55	0,30
Muscle	471	390	457	397	37	0,82	<0,01
Scan 1 – Scan 2	436	316	415	341	37	0,88	<0,01
Scan 2 – Scan 3	462	431	432	407	48	0,16	0,60
Scan 3 – Scan 4 ²	443	505	430	489	47	0,45	0,21
Dépôt, % gain PV							
Gras	22,6	20,8	24,5	21,6	2,4	0,14	0,02
Scan 1 – Scan 2	23,1	17,7	23,7	17,8	2,7	0,72	<0,01
Scan 2 – Scan 3	30,8	25,0	36,6	26,1	2,8	<0,01	<0,01
Scan 3 – Scan 4	20,5	16,4	20,0	18,2	4,0	0,69	0,41
Muscle	48,2	50,6	46,3	48,3	2,4	0,03	0,03
Scan 1 – Scan 2	50,1	50,4	47,2	51,5	2,9	0,41	<0,01
Scan 2 – Scan 3	45,4	50,3	39,3	46,0	3,7	<0,01	0,03
Scan 3 – Scan 4 ²	45,8	55,2	45,5	51,1	3,2	0,09	<0,01

¹ Voir Tableau 1.² PV : poids vif. Masse de muscle chaud = Volume de muscle froid x 1,04 + Poids chaud x 0,02 ; Masse de gras = Volume de gras x 0,95. Résultats moyens sur tout l'engraissement (en gras) ou entre deux scans, ajustés pour un même poids vif au début de la période considérée.

de l'essai, il est significativement moins élevé que celui des porcs AL seulement en début d'essai (entre les scans 1 et 2).

La proportion de gras dans le gain de PV est plus élevée entre les scans 2 et 3 que pendant la période qui précède ou qui suit (Tableau 3). Elle est plus élevée chez les porcs AL que chez les porcs RA pendant les périodes 1 et 2, mais ensuite la différence entre lots n'est plus significative. La proportion de muscle dans le gain de PV suit une évolution inverse à celle du

gras. Entre les scans 2 et 3, elle est en moyenne plus faible que pendant les autres périodes. La proportion de muscle dans le gain de PV est plus élevée chez les porcs RA que chez les porcs AL quelle que soit la période considérée ($P \leq 0,03$).

Le TM RX froid calculé au scan 4 (Tableau 2) est corrélé négativement à la proportion de gras dans le PV mesurée lors des scans *in vivo* et positivement à la proportion de muscle froid (Tableau 4). L'intensité de ces corrélations dépend de la stratégie alimentaire et du stade. Plus le scan est réalisé à un PV proche du poids d'abattage, plus les corrélations sont élevées. Chez les porcs AL, les coefficients *r* de Pearson maximaux atteignent 0,86 et -0,84, respectivement pour le muscle et le gras ; ils sont significatifs quel que soit le scan *in vivo* considéré. Chez les porcs RA, les corrélations sont plus faibles, significatives dès le scan 1 pour le muscle mais seulement à partir du scan 3 pour le gras.

3. DISCUSSION

Les résultats de composition corporelle obtenus par tomographie indiquent que la proportion de muscle (en % du volume de la carcasse et en % du PV) décroît fortement au début de la période de croissance puis tend à se stabiliser.

A l'inverse, la proportion de gras croît fortement au début de croissance, mais elle se stabilise également ensuite. Il est possible que les proportions massiques au scan 4 soient légèrement sous-estimées par rapport aux valeurs antérieures obtenues *in vivo*, du fait de conditions moins drastiques d'ajournement alimentaire (16 vs 24 h *in vivo*) et hydrique (0 vs 5 à 9 h *in vivo*). D'un point de vue méthodologique, il aurait été plus rigoureux de réaliser le scan 4 également *in vivo*, mais cela aurait empêché la commercialisation des porcs à un poids standard d'abattage correspondant à celui du scan 4.

Néanmoins, les évolutions sur la gamme de PV étudiée sont conformes à celles obtenues à partir de scan RX *in vivo* par Giles *et al.* (2009) et par Lambe *et al.* (2013). Giles *et al.* (2009) observent une diminution de la proportion du muscle dans le gain de PV au début de la période expérimentale, suivie d'une phase de stabilisation, et une augmentation de la proportion du gras au début de la croissance avant qu'elle ne se stabilise. Ces auteurs notent que l'évolution des proportions de muscle et de gras est faible au-delà de 85 kg de PV. Ces phases de stabilisation ne sont pas observées dans notre étude, qui indique plutôt une augmentation du dépôt de muscle et une diminution du dépôt de gras en fin d'essai (entre 70 et 112 kg).

L'effet du plan d'alimentation sur les proportions volumiques de gras et de muscle s'exerce significativement dès le scan 2 et persiste jusqu'à l'abattage. Quand les proportions de tissus sont exprimées relativement au PV, l'effet des conditions d'alimentation s'atténue sur le muscle (scan 4) alors qu'il reste significatif sur le gras. La contribution du Q5, dont la masse *in vivo* n'est pas connue et sans doute variable malgré l'ajournement, explique sans doute en grande partie ces

Tableau 4 – Coefficient de corrélation de Pearson selon le stade et le plan d'alimentation entre la teneur en muscle RX froid à l'abattage et la proportion de muscle ou de gras (% du poids vif) déterminée *in vivo*.

Alimentation	A volonté						Rationnement					
Masse, % PV	Muscle			Gras			Muscle			Gras		
Scan	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
TM RX froid	0,74	0,86	0,85	-0,55	-0,66	-0,84	0,55	0,52	0,63	-0,40	-0,47	-0,58
Probabilité	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,03	<0,01	0,11	0,32	<0,01

différences de réponse statistique. Au scan 1, les différences de composition tissulaire (volumiques ou massiques) observées notamment entre les F AL et RA, alors qu'elles étaient nourries à volonté jusqu'alors, illustre les limites de l'hypothèse d'une composition similaire à un PV donné pour des porcs de même sexe et issus d'une même fratrie.

Lorsqu'elles sont appliquées à des porcs élevés en groupes de six, les plans d'alimentation RA étudiés correspondent à un rationnement de 8% à la fois chez les F et les MC (Brossard *et al.*, 2014). Chez des porcs élevés en loge individuelle, la CMJ spontanée obtenue est plus élevée qu'en groupe. Ainsi une CMJ des porcs RA proche de celle observée par Brossard *et al.* (2014) correspond à une intensité de rationnement plus importante dans cette étude : de 17 et 20% respectivement chez les F et les MC. Le rationnement plus sévère des MC ne permet cependant pas de diminuer l'écart de TMP_{CGM} entre sexes (1 point en moyenne). Au contraire, à partir des TM RX obtenus à chaud ou à froid, l'écart entre sexes diminue avec le rationnement (0,3 vs 1,1% chez les porcs AL).

Pour une variabilité résiduelle comparable, le TMP RX est 1,5 point plus élevé chez les porcs RA que chez les porcs AL et apparaît plus discriminant entre groupes de porcs que le TMP_{CGM} dont l'écart entre porcs RA et AL n'est que de 0,5 point. La méthode appliquée pour l'acquisition des données RX est équivalente à une dissection (Daumas et Monziols, 2011), alors que le TMP_{CGM} est une estimation dont l'erreur individuelle est relativement élevée (Daumas, 2008).

Sur l'ensemble de l'essai, les porcs RA déposent moins de gras et de muscle quotidiennement que les porcs AL, ce qui résulte des différences à la fois de GMQ et de composition du gain de poids. Ainsi, le rationnement entraîne une diminution de 18% du GMQ mais seulement de 15% du dépôt quotidien de muscle, la proportion de muscle étant plus élevée et la proportion de gras étant plus faible dans le gain de poids des porcs RA. Le coût énergétique du gain de poids devrait donc être plus faible chez les porcs RA (Noblet *et al.*, 1994). C'est le cas chez les MC qui présentent un IC légèrement plus faible quand ils sont rationnés. Chez les F RA, la proportion de gras dans le gain de PV diminue moins (-1,8 vs -2,9% chez les MC) et leur IC, qui tend à être plus élevé, signifie sans doute qu'une part de l'énergie ingérée est

utilisée pour d'autres fonctions que le gain de PV, probablement impliquées dans le besoin d'entretien.

La corrélation entre le taux de muscle RX de la carcasse à l'abattage et la proportion de muscle mesurée *in vivo* est d'autant plus élevée que le scan est réalisé le plus tardivement possible. Notre étude montre ainsi qu'une corrélation de 85% peut être obtenue à partir de scans réalisés vers 70 kg de PV quand les porcs sont alimentés à volonté. C'est notamment le cas des porcs en élevage de sélection. Un scan *in vivo* pourrait donc être réalisé directement sur les candidats à la sélection à ce stade (70 kg), qui est compatible avec les contraintes d'utilisation du scanner et les conditions de manipulation (portage) des animaux anesthésiés. Un des objectifs du rationnement est de réduire l'adiposité de la carcasse en contrecarrant la propension naturelle et tardive du porc à déposer du gras (Noblet *et al.*, 1994). Ainsi, la teneur en muscle à l'abattage est logiquement moins bien corrélée à la teneur mesurée *in vivo* à 70 kg de PV chez un porc rationné que chez un porc alimenté à volonté.

CONCLUSION

A partir des scans longitudinaux réalisés par tomographie *in vivo* à trois stades de croissance, couplés à une caractérisation RX des carcasses, notre étude a permis de quantifier les effets d'un rationnement sur la composition tissulaire du gain de poids, non seulement en moyenne sur une large gamme de poids, mais également de façon dynamique. Ainsi, dans les conditions de rationnement étudiées, les différences de composition tissulaire de la carcasse et les différences de composition du gain de poids apparaissent de façon précoce.

Chez des porcs alimentés à volonté, notre étude montre qu'il est possible d'estimer avec une précision élevée la composition de la carcasse à l'abattage à partir d'un scan *in vivo* réalisé vers 70 kg de PV. Cette corrélation est atténuée chez les porcs rationnés en raison des modifications de la composition du gain de poids induites par le rationnement. En pratique, ces résultats permettent d'envisager l'utilisation de la tomographie RX comme un outil de précision à intégrer dans la sélection génétique, les porcs candidats à la sélection étant alimentés à volonté.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brossard L., van Milgen J., Vautier B., Quiniou N., 2014. Mise en œuvre d'un plan d'alimentation élaboré par simulations à partir d'une population virtuelle de porcs pour permettre une maîtrise de la variabilité du poids en fin d'engraissement. Comparaison des performances de croissance *in vivo* et *in silico*. Journées Rech. Porcine, 46, 129-130.
- Daumas G., 2008. Actualisation de l'équation CGM pour le classement des porcs en France. Journées Rech. Porcine, 40, 89-90.
- Daumas G., Monziols M., 2011. An accurate and simple computed tomography approach for measuring the lean meat percentage of pig cuts. Proc. 57th ICoMST, 7-12 août 2011, Ghent, Belgique. Paper 061.
- Giles L.R., Eamens G.J., Arthur P.F., Barchia I.M., James K.J., Taylor R.D., 2009. Differential growth and development of pigs assessed by X-ray computed tomography. J. Anim. Sci., 87, 1648-1658.
- ICRU, 1989. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. ICRU report 44, 188 pp.
- Lambe N.R., Wood J.D., McLean K.A., Walling G.A., Whitney H., Jagger S., Fullarton P., Bayntun J., Bunger L., 2013. Effects of low protein diets on pigs with a lean genotype. 2. Compositional traits measured by computed tomography (CT). Meat Sci., 95, 129-136.
- Monziols M., Hémonic A., 2011. Mise au point d'une mesure de la composition corporelle *in vivo*. TechniPorc, 34(4), 29-32.
- Monziols M., Faix J., Daumas G., 2013. Software for automatic treatment of large biomedical images databases. In: Proc. of the Workshop on food quality and farm animal imaging. 17 juin 2013, Espoo, Finland (sous presse).
- Noblet J., Karege C., Dubois S., 1994. Prise en compte de la variabilité de la composition corporelle pour la prévision du besoin énergétique et de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance. Journées Rech. Porcine, 26, 267-276.
- Quiniou N., Vautier B., Salaün Y., van Milgen J., Brossard L., 2013. Modélisation de l'effet de la stratégie alimentaire et du contexte de prix des matières premières sur les performances moyennes, leur variabilité et les rejets azotés à l'échelle d'une population de porcs. Journées Rech. Porcine, 45, 155-160.
- Szabo C., Babinsky L., Verstegen M.W.A., Vangen O., Jansman A.J.M., Kanis E., 1999. The application of digital imaging techniques in the *in vivo* estimation of the body composition of pigs: A review. Livest. Prod. Sci., 60, 1-11.