

Mesurer par scanner la composition tissulaire, le gain de muscle et l'indice de consommation par kg de muscle

Principes et exemple d'application

Gérard DAUMAS, Mathieu MONZIOLS, Nathalie QUINIOU

IFIP - Institut du porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

gerard.daumas@ifip.asso.fr

Mesurer par scanner la composition tissulaire, le gain de muscle et l'indice de consommation par kg de muscle : principes et exemple d'application

Les critères de croissance et d'efficacité alimentaire sont fondés sur le suivi du gain de poids, sans tenir compte de sa composition tissulaire. Or, la valorisation de la carcasse repose essentiellement sur sa teneur en muscle. Les objectifs de cette étude sont de proposer des critères rapportés au kg de muscle déposé, puis de les tester sur les données d'un essai porcin. Au préalable, sont expliquées les limites de l'utilisation du critère de classement (TMP) dans les essais zootechniques. Puis, il est proposé de lui substituer la teneur en muscle de la carcasse (TMC) en utilisant un scanner. Mesurer la masse musculaire par tomographie ou par dissection permet de calculer le gain moyen quotidien de muscle (GMQm) et l'indice de consommation exprimé par kg de gain de muscle (ICm). Ces nouveaux critères sont comparés aux critères habituels de GMQ et IC à partir des résultats obtenus chez des porcs soumis à une restriction alimentaire (RA) en comparaison avec une alimentation témoin à volonté. Pour la conduite RA, la différence relative (en % du témoin) est non significative pour l'ICm, alors qu'elle est négative pour l'IC (-10,5% ; $P < 0,01$). Ces résultats montrent la pertinence d'introduire des critères zootechniques rapportés au kg de muscle pour mieux évaluer l'incidence de la conduite alimentaire. Le surcoût lié à la tomographie peut être limité en ne scannant qu'un sous-échantillon. La mesure précise de la composition corporelle devrait faire partie intégrante des essais zootechniques en général et des études sur l'élevage de précision en particulier.

Measuring tissue composition, muscle gain and the feed conversion ratio per kg of muscle by scanning: principles and example of application

The criteria for growth and feed efficiency are based on monitoring weight gain, regardless of its tissue composition. However, since carcass value is based essentially on its muscle content, the objectives of this study were to develop criteria related to the mass of muscle deposited, and then to test them on data from a pig trial. First, the limits of using the classification criterion "Lean Meat Percentage" in animal-production trials are explained. Then, replacing it with carcass muscle content based on scanner measurements is described. Measuring muscle mass by computed tomography or dissection allows average daily muscle gain (ADGm) to be calculated and the feed conversion ratio to be expressed per kg of muscle gain (ICm). These new criteria were compared to the usual ADG and IC criteria based on results obtained from pigs subjected to feed restriction (RA) compared to those with an *ad libitum* control diet. For the RA strategy, the relative difference (as a percentage of the control) was not significant for ICm, while it was negative for IC (-10.5%; $P < 0.01$). These results show the relevance of introducing animal-production criteria as a function of muscle mass to better assess effects of the feeding strategy. The additional cost of tomography can be limited by scanning only a subsample. Accurate measurement of body composition should be an integral part of animal-production trials in general and precision-breeding studies in particular.

INTRODUCTION

La finalité de l'élevage de porc est de produire de la viande, c'est-à-dire essentiellement du muscle, avec une quantité de gras limitée, du moins dans les élevages conventionnels français. La composition finale de l'animal résulte du développement des différents compartiments tissulaires corporels. Les performances de croissance et la composition du gain de poids sont influencées à la fois par les caractéristiques intrinsèques des porcs (génotype, sexe...) et par les caractéristiques extrinsèques, telles que les conditions d'élevage.

La composition tissulaire de la carcasse, qui est au cœur de la problématique, a traditionnellement été mesurée par dissection (Desmoulin *et al.*, 1988 ; Noblet *et al.*, 1994), notamment dans les essais zootechniques qui cherchaient à mettre en relation les quantités de nutriments apportées au porc en croissance et les quantités de tissus déposées. Méthode longue, destructive et coûteuse, la dissection a été progressivement supplantée par des méthodes indirectes (Lebret, 2004).

À l'extrême, seules les données de classement obligatoire des carcasses sont récupérées en abattoir. Ces données se composent d'épaisseurs de gras et de muscle et du taux de muscle des pièces (TMP), qui est une combinaison linéaire de ces épaisseurs. Or, le TMP pâtit d'inconvénients majeurs pour analyser finement des performances de composition corporelle. Conçu pour un paiement équitable des producteurs sur la base de lots importants, il souffre d'une erreur individuelle élevée (Blum *et al.*, 2014). Alors que les porcs sont phénotypés précisément pendant la croissance (pesée des animaux, des quantités d'aliment distribuées et refusées...), l'erreur du TMP est trop élevée au regard de la précision attendue à cette étape des travaux expérimentaux. De plus, le cheptel et les conditions d'élevage utilisés dans les essais zootechniques ne correspondent pas nécessairement aux caractéristiques de l'échantillon de calibrage de la méthode de classement. L'emploi de l'équation de prédiction du TMP est alors abusif. Des biais importants selon le type sexuel et le génotype affectent en effet cette relation (Daumas *et al.*, 2017).

Les techniques d'imagerie se sont développées au fil des dernières décennies (Scholz *et al.*, 2015). Notamment, la tomodynamométrie (ou tomographie à rayons X) s'est avérée être une méthode non destructive très adaptée pour la mesure des volumes et des densités des tissus, et donc de la composition corporelle, sur carcasses mais aussi sur animaux vivants. Outre la composition tissulaire, le scanner ouvre la possibilité d'utiliser des critères de croissance et d'efficacité alimentaire rapportés au kg de muscle déposé, plus en adéquation avec les orientations de la filière porcine.

En France, la filière porcine dispose d'un scanner mobile depuis 2008 (Daumas et Monziols, 2008). S'il est systématiquement utilisé pour les travaux d'actualisation des méthodes de classement des carcasses et d'étude de la composition des pièces de découpe, il n'est en revanche pas utilisé en routine dans les essais zootechniques.

Les objectifs de cette étude sont : (i) expliquer les limites des critères utilisés habituellement dans les essais zootechniques, (ii) montrer comment ces limites peuvent être franchies, notamment par l'usage de la tomographie, (iii) proposer de nouveaux critères intégrant la composition tissulaire du gain de poids, (iv) illustrer l'utilisation de ces nouveaux critères par un exemple, et enfin (v) donner quelques perspectives.

1. LES LIMITES DES CRITERES USUELS DE PERFORMANCES DANS LES ESSAIS ZOOTECHNIQUES

1.1. Description des critères usuels

Généralement, les essais zootechniques étudient l'effet d'un ou plusieurs traitements sur les performances de croissance, d'efficacité alimentaire et de composition de carcasse. Ils s'appuient sur des dispositifs, avec un ou plusieurs facteurs, chacun ayant plusieurs modalités. Ces essais incluent les mesures permettant de calculer les performances classiques de croissance et d'efficacité alimentaire.

Les critères de croissance et d'efficacité alimentaire sont fondés sur le suivi du gain de poids, total ou quotidien (GMQ), et de la consommation d'aliment pour le calcul de l'indice de consommation (IC). Le GMQ sur une période donnée est calculé en divisant le gain de poids vif sur la période par la durée de présence. L'IC indique le nombre de kg d'aliment qu'il faut pour produire 1 kg de poids vif. Quand l'alimentation est contrôlée individuellement, l'IC peut être calculé par porc. Quand l'alimentation est contrôlée au niveau de la case, l'IC est égal au ratio entre la quantité d'aliment consommée par les porcs de la case et le cumul de leur gain de poids, y compris celui de ceux qui meurent avant la fin.

L'analyse des performances de composition corporelle s'appuie très souvent sur le critère de classement des carcasses. Ce critère est le taux de muscle des pièces (TMP), appliqué en France depuis la mi-2006. Il est prédit à partir d'une des méthodes de classement autorisées. Actuellement, la majorité des porcs abattus en France sont classés avec la méthode Image-Meater (Blum *et al.*, 2014). L'équation de prédiction est une combinaison linéaire d'épaisseurs de gras et de muscle, critères analysés lors des essais.

1.2. Limites des critères usuels

La finalité de l'élevage étant actuellement surtout de produire du muscle, il convient de s'interroger sur la pertinence des critères usuels, qui s'appuient sur le gain de poids vif, quelle que soit sa composition tissulaire.

Contrairement au GMQ et à l'IC, qui sont calculés à partir de mesures relativement précises, le TMP n'est pas mesuré en élevage ou en essai. Il est transmis par l'organisation régionale de pesée-classement ou par l'abattoir. L'utilisation de ce critère dans les essais zootechniques pose plusieurs problèmes.

La classification des carcasses est régie par la réglementation européenne. Son objectif est d'assurer un paiement équitable aux éleveurs. Pour cela, un critère représentatif de la valeur commerciale de la carcasse a été choisi dans les années 80 : la teneur en muscle. Même si sa définition précise a changé plusieurs fois au cours des 40 dernières années, les principes généraux, eux, sont restés immuables. La teneur en muscle doit être prédite sur la chaîne d'abattage à partir d'une méthode autorisée. L'autorisation d'une méthode est subordonnée au respect d'un plafond de l'erreur de prédiction. Celui-ci est élevé : 2,5 points de teneur en muscle. Mais, comme les producteurs vendent généralement des lots de taille conséquente, 50-100 porcs, l'erreur sur la moyenne du lot est considérée comme tout à fait acceptable par l'UE. Bien que le paiement soit au porc, une compensation s'opère, plus ou moins importante selon la forme de la grille.

En considérant le TMP issu du classement des carcasses, les zootechniciens se heurtent à une erreur individuelle

importante. Qui plus est, cette erreur est inconnue. En effet, ce qui est connu, c'est l'erreur de prédiction estimée lors de l'autorisation de la méthode de classement. Pour la méthode Image-Meater, cette erreur était de 2,44 (Blum *et al.*, 2014). L'erreur devant être estimée sur un échantillon représentatif de la population porcine nationale, l'échantillon était composé pour moitié de mâles castrés et pour moitié de femelles. Le gène de sensibilité à l'halothane avait été contrôlé et les proportions étaient proches de 50/50 pour les allèles NN et Nn. Or, le sexe, le génotype et l'alimentation sont des facteurs connus de variabilité de la composition corporelle. Il est fort probable que ces facteurs affectent la relation entre la teneur en muscle de la carcasse et les variables de l'appareil de classement. Cela a d'ailleurs été montré par plusieurs auteurs (Engel *et al.*, 2012 ; Daumas *et al.*, 2017). En conséquence, l'équation autorisée de prédiction du TMP ne devrait pas être utilisée dans les essais dont la composition du cheptel ne correspond pas à celle de l'essai d'autorisation de la méthode. Tout au moins, une équation par sexe serait nécessaire. Cela ne remet en revanche pas en question la pertinence des mesures prises par l'Image-Meater comme critères pouvant être analysés. Mais, la composition corporelle se limite alors à une ou quelques épaisseurs de gras et de muscle, mesurées sur la fente de la carcasse à la jonction entre longe et jambon. Alors que plusieurs méthodes de classement co-existent en France et évoluent au cours du temps, les mesures prises par différents appareils ne sont pas directement comparables.

Une autre limite tient à la définition du critère de classement. Le TMP correspond au pourcentage de muscle de l'ensemble des quatre pièces principales (jambon, rein avec filet mignon, épaule, poitrine), assorti d'un coefficient multiplicatif, afin de rapprocher sa moyenne de celle du pourcentage de muscle de la carcasse. Ces quatre pièces, dans la découpe européenne normalisée, comprennent environ 70% de la teneur en muscle de la carcasse. Parallèlement, le gras périrénal (panne) n'est pas pris en compte dans la définition de la carcasse. Dès lors, on peut se demander si le TMP est bien adapté à des essais s'intéressant à la composition tissulaire et chimique de l'ensemble de l'animal.

Le critère de classement peut également changer. Ainsi, le taux de muscle de la carcasse (TMC) a remplacé le TMP en 2017 dans la réglementation européenne. En vigueur déjà dans quelques Etats membres, il devrait être introduit en France lors de la prochaine actualisation des méthodes de classement (Daumas et Monziols, 2018a). Le TMC est le ratio entre le poids de muscle de la carcasse, sans tête et pieds (ni panne), et le poids de la carcasse, avec tête et pieds (sans panne). Si le TMC se rapproche des besoins des zootechniciens, ce n'est sans doute pas le critère idéal, en particulier du fait de la non prise en compte de la panne qui peut représenter une part importante du gras retenu.

2. COMMENT MESURER LA COMPOSITION CORPORELLE ?

Les méthodes d'évaluation de la composition corporelle ont été décrites par Kempster *et al.* (1982) pour les espèces porcine, bovine et ovine et par Pomar *et al.* (2009) pour les carcasses de porc. La dissection a été érigée en méthode de référence et l'est toujours à ce jour.

2.1. Avantages et inconvénients de la dissection

La dissection reste encore aujourd'hui la référence. Elle permet de séparer les constituants suivants : couenne, os, gras,

muscles, aponévroses, tendons, glandes. Le gras peut être subdivisé en gras sous-cutané, gras intermusculaire et gras périrénal. La dissection est pratiquée sur une seule demi-carcasse, faisant l'hypothèse de l'équivalence entre les deux côtés. Or, plusieurs auteurs ont mis en évidence des différences non négligeables entre les deux demi-carcasses (Hviid *et al.*, 2011 ; Gispert *et al.*, 2020). Dans la classification des carcasses, l'usage est de disséquer la demi-carcasse gauche.

La dissection manuelle totale d'une demi-carcasse nécessite plus d'une journée pour un opérateur entraîné. C'est une opération longue, fastidieuse et coûteuse. Sa reproductibilité, notamment entre équipes internationales, est modérée (Nissen *et al.*, 2006). Afin d'améliorer la reproductibilité, notamment dans le temps en France, l'IFIP, en collaboration avec FranceAgriMer et Oniris, a développé une procédure, illustrée par des photos et des CD-ROM interactifs (Nictou *et al.*, 2005 ; Venet, 2007).

Dans le cadre d'essais de croissance, la technique des abattages comparés nécessite des porcs supplémentaires, abattus en début d'essai, supposés être représentatifs à ce stade de ceux qui sont abattus plus tard. Cela contribue à augmenter le coût de ce type d'essais.

2.2. Potentialités et limites de la tomодensitométrie

Depuis les années 1980, les techniques d'imagerie se sont fortement développées. Plusieurs auteurs ont passé en revue ces techniques (Szabo *et al.*, 1999 ; Scholz *et al.*, 2015). A l'issue du projet européen EUPIGCLASS sur la standardisation des méthodes de classement, la tomодensitométrie s'est avérée comme la plus prometteuse. Plusieurs organismes dans différents Etats membres se sont alors équipés (Daumas *et al.*, 2015). En France, l'IFIP, avec l'aide de FranceAgriMer et d'Inaporc, s'est doté d'un tomographe mobile, installé dans une semi-remorque conçue sur mesure (Daumas et Monziols, 2008).

La tomодensitométrie permet de différencier les tissus selon leur densité. La plupart des méthodes d'analyse développées pour quantifier les tissus séparent trois constituants : gras (densité < 1), muscle (1,0 < densité < 1,1) et os (densité > 1,1). Dans la classification porcine, fondée sur la teneur en muscle, l'objectif a surtout été de séparer le muscle du non-muscle. Malgré cela, il n'a pas été possible jusqu'à présent de trouver un accord sur une procédure européenne de détermination de la teneur en muscle par scanner. Chaque Etat membre utilisant un scanner applique sa propre procédure. Aussi, la réglementation européenne impose un calibrage sur la teneur en muscle mesurée par dissection. A ce jour, seule la méthode développée par l'IFIP a prouvé sa robustesse vis-à-vis de la nature du cheptel (Daumas *et al.*, 2019). En conséquence, elle peut être utilisée en France et à l'étranger sans nécessiter de nouvelles dissections. Un coefficient multiplicatif de 0,987 ou de 0,965, respectivement pour le TMP (Daumas et Monziols, 2018a) et pour le TMC (Daumas et Monziols, 2018b), est appliqué à la teneur en muscle calculée par scanner pour la convertir à un niveau similaire à celui issu de la dissection. La relation entre scanner et dissection étant précise, indépendante de la nature du cheptel et de l'épaisseur de gras, il est donc fort probable qu'elle ne soit pas affectée par le traitement étudié. En conséquence, cet ajustement peut être utilisé indépendamment du type d'essais.

La tomодensitométrie mesure des volumes. Pour convertir le volume de muscle en poids, l'IFIP applique une densité

constante ; de même pour le gras. Le poids d'os est, par contre, calculé par différence avec le poids de la demi-carcasse scannée, à cause de la grande variabilité de la densité des os.

La couenne, qui constitue environ 5% du poids de carcasse, est difficile à isoler, car sa densité (proche de 1,1) est voisine de celle du muscle (Daumas et Monziols, 2021). Aussi, une partie de la couenne est actuellement assimilée à du muscle. Cela conduit à surestimer le volume et le poids de muscle, et explique que le coefficient multiplicatif de correction entre TMP ou TMC obtenus par scanner et la dissection soit un peu inférieur à 1.

L'analyse des images tomographiques des carcasses (et autres pièces de viande) est semi-automatique (Monziols *et al.*, 2013). En revanche, pour les scans réalisés sur animal vivant, l'analyse des images requiert au préalable un détournement manuel des organes des cavités thoracique et abdominale (Monziols *et al.*, 2014). Cette analyse d'image, de même que les procédures d'anesthésie des animaux à scanner, nécessite du temps et des compétences spécifiques, et impose de respecter un délai de 28 jours entre l'injection de l'anesthésiant et l'abattage.

Le rythme standard de scan de demi-carcasses par l'IFIP est d'environ 30 par jour. Potentiellement, cela représente de 90 à 120 demi-carcasses par semaine en fonction des contraintes d'approvisionnement et de retour dans le circuit de commercialisation des demi-carcasses. Pour les porcs vivants, le rythme standard est assez similaire, de l'ordre de 30 par jour. La capacité hebdomadaire est donc d'environ 150. Une personne supplémentaire est nécessaire pour gérer les anesthésies.

La vitesse de scan est donc plus élevée que celle de la dissection et le personnel requis est aussi moindre. Au final, l'acquisition de données décrivant précisément la composition tissulaire corporelle est nettement plus rapide qu'avec la dissection. De plus, la technique est non destructive, permettant ainsi la commercialisation des carcasses scannées. Malgré des charges conséquentes d'amortissement et de fonctionnement, la mesure par scanner s'avère être plutôt moins coûteuse que la dissection.

Un avantage majeur de la tomodensitométrie est l'acquisition de données sur l'intégralité de l'animal avec une grande résolution. De plus, ces données peuvent être retravaillées ultérieurement. Ainsi, par exemple, les images d'un essai réalisé plusieurs années auparavant peuvent être analysées à nouveau en mettant en œuvre des techniques d'analyse améliorées ou retravaillées pour répondre à un objectif différent, sans avoir à réaliser de nouvelles acquisitions.

3. PROPOSITION DE NOUVEAUX CRITERES INTEGRANT LA COMPOSITION CORPORELLE

Pour pallier les inconvénients de l'usage du critère de classement des carcasses, il semble incontournable de se référer à la teneur en muscle déterminée par dissection ou par tomodensitométrie, pour caractériser précisément la composition corporelle. La valorisation de la carcasse reposant essentiellement sur sa teneur en muscle, il semble logique d'utiliser des critères de croissance et d'efficacité alimentaire rapportés au kg de muscle déposé. Mesurer le volume musculaire permet ainsi de calculer le gain moyen quotidien de muscle (GMQm) et l'indice de consommation exprimé par kg de gain de muscle (ICm).

3.1. Critères de composition corporelle

Certains essais zootechniques ont plutôt vocation à s'intéresser à la composition du poids vif, alors que d'autres s'intéressent davantage à la composition de la carcasse. Dans les deux cas, la tomodensitométrie est une technologie d'acquisition de donnée appropriée. Le critère TMC, tel que défini par la réglementation européenne pour la classification des carcasses de porcs, a été adapté à son obtention par tomographie. Ainsi, tête et pieds, qui contiennent peu de muscles, ne sont pas à scanner.

Des alternatives sont envisageables pour se rapprocher de la teneur en muscle de la carcasse complète. Un correctif pourrait être appliqué pour tenir compte du poids de muscle dans la tête, un autre pour tenir compte de la dissymétrie des deux demi-carcasses. De manière analogue, peuvent être calculées des teneurs en gras et en os. Pour la teneur en gras, se pose la question de la panne, qui est retirée de la carcasse avant pesée. Il est envisageable de la peser individuellement, mais cela nécessite du personnel supplémentaire en abattoir.

3.2. Critères de composition du gain de poids

Par analogie avec le GMQ, le gain moyen quotidien de poids d'un tissu (GMQtissu) peut être obtenu en calculant la différence entre la masse finale et la masse initiale de tissu, divisée par la durée de la période. Cet article se focalise sur le gain quotidien de muscle, dont l'acronyme sera par la suite GMQm. Si le calcul du GMQ s'appuie sur la pesée des animaux à différents stades de croissance, le GMQm suppose quelques hypothèses de calcul.

La viande étant commercialisée froide, il semble plus approprié de considérer le poids de muscle de la carcasse froide, résultat direct du scan de la demi-carcasse. Pour le poids initial de muscle, il faut distinguer deux cas, selon qu'un scan *in vivo* a été réalisé ou pas dans l'essai. Quand un scan est réalisé en début de période de croissance, chaque porc peut être son propre témoin. A partir des images tomographiques *in vivo*, le cinquième quartier doit être segmenté comme dit plus haut et le volume de muscle vivant doit être converti en tissu froid en ayant recours à des hypothèses sur le taux de ressuage. En l'absence de scan au début de la période, il convient de faire une hypothèse de teneur en muscle, celle-ci étant nettement moins variable qu'au poids d'abattage (Monziols *et al.*, 2014).

Si l'on se place dans une logique de composition du gain de poids, alors le choix d'une durée identique à celle du GMQ devrait être privilégiée. Pour le calcul du GMQ, la période prend fin la veille de l'abattage, lors de la dernière pesée à vif. Mais si l'on se place dans une logique de gain de poids de muscle (froid), alors il pourrait être préférable de retenir le jour du scan pour la fin de période. Le scan intervient généralement le lendemain de l'abattage, après une nuit de réfrigération, soit deux jours après la fin de période pour le GMQ.

3.3. Critères d'efficacité alimentaire

Par analogie avec l'IC, l'IC d'un tissu peut être défini comme suit, si tout l'aliment consommé est ramené au dépôt de ce tissu, contrairement au modèle utilisé par Noblet *et al.* (1994) :

$IC_{tissu} = \text{Quantité d'aliment consommé} / \text{Gain de poids du tissu}$

Cet article se focalise sur l'indice de consommation par kg de muscle, dont l'acronyme sera par la suite ICm.

4. EXEMPLE D'APPLICATION

Afin de mettre en exergue le changement de paradigme sur les critères, un exemple simple a été utilisé. Il compare deux conduites alimentaires conçues pour des impacts contrastés sur les dépôts tissulaires. Cet exemple permet de montrer comment calculer en pratique les nouveaux critères, de donner un ordre de grandeur des valeurs et illustrer de possibles divergences de résultats avec les critères usuels.

4.1. Matériel et méthodes

4.1.1. Matériel et mesures

Les données de l'essai publié par Quiniou *et al.* (2021) sont utilisées, en retenant celles obtenues pour deux des trois stratégies alimentaires étudiées : soit en situation de restriction alimentaire (RA) soit en alimentation témoin à volonté (T). Chaque stratégie alimentaire a été appliquée à 48 femelles et 48 mâles castrés, élevés par case de six, dans deux bandes. Seules les carcasses sont scannées par tomographie, le poids de muscle en entrée étant estimé. Les performances techniques par case sont calculées par un modèle linéaire général et comparées au témoin.

A l'abattoir, les carcasses ont été pesées et classées selon la méthode Image-Meater de prédiction du TMP (Blum *et al.*, 2014). Après une nuit de réfrigération, les demi-carcasses gauches ont été pesées, puis scannées par tomographie à rayons X avec un Emotion Duo (Siemens, Erlangen, Allemagne) (Daumas et Monziols, 2011).

4.1.2. Calculs et analyses statistiques

Le TMC a été calculé en multipliant le pourcentage de muscle de la carcasse mesuré par scanner par 0,965.

Le calcul de la consommation moyenne journalière (CMJ), du GMQ et de l'IC est décrit par Quiniou *et al.* (2021). Le GMQm a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{GMQm} = (\text{Poids de muscle final} - \text{Poids de muscle initial}) / \text{Durée}$$

Le poids de muscle de la carcasse a été calculé en multipliant le volume de muscle de la demi-carcasse mesuré par scanner par la densité du muscle (1,04), puis par 2 pour passer à l'échelle de la carcasse entière et par 0,965 pour ramener le résultat au niveau de la dissection. Le poids de muscle froid initial (vers 26 kg de PV) a été calculé en multipliant le PV initial par 0,80 (rendement de carcasse à froid) puis par 0,56 (teneur en muscle).

L'ICm a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{ICm} = \text{Aliment consommé} / \text{Gain de muscle}$$

Les données ont été analysées selon un modèle linéaire général (proc GLM, SAS, v9.4, Inst. Inc. Cary), comprenant en effets fixes la conduite alimentaire (A), le sexe (S), la bande (B), leurs interactions et le bloc intra bande. La probabilité critique des tests a été choisie à 5%. L'unité statistique était la case pour les performances de croissance et la carcasse pour la composition.

4.2. Résultats

L'IC est le seul critère pour lequel l'interaction entre alimentation, sexe et bande est significative. L'interaction entre alimentation et sexe touche le GMQ, le GMQm et est proche du seuil de significativité pour l'ICm ($P = 0,06$). Les effets de la conduite alimentaire sur les performances de croissance, d'une part, et sur les caractéristiques de carcasse, d'autre part, sont présentés dans le tableau 1. Le rationnement de 17% en

dessous de l'à volonté entraîne une diminution de 189 g/j de la vitesse de croissance, mais une diminution du dépôt quotidien de muscle de seulement 87 g/j ; ceci est en accord avec les objectifs du rationnement pour une diminution plus marquée du dépôt des autres tissus que le gras et un gain de poids plus maigre. Ainsi, quand la quantité d'aliment consommée est ramenée au muscle déposé, il en faudrait moins pour les porcs rationnés. Toutefois, bien que leur ICm soit inférieur à celui des témoins, la différence n'est pas significative.

Le rationnement provoque une hausse de 2,3 points de la teneur en muscle de la carcasse (TMC). La hausse n'est que de 1,8 point pour le TMP prédit par la méthode de classement Image-Meater.

Pour la conduite RA, la différence relative (en % du témoin) de GMQm (-16%) est moins importante que celle du GMQ (-21%). L'IC se dégrade de 11% alors que l'ICm ne baisse pas significativement.

Tableau 1 – Performances¹ de croissance jusqu'à l'abattage et caractéristiques de carcasse selon la stratégie alimentaire

	Alimentation		Statistiques	
	T	RA	ETR	Proba
Performances de croissance (par case ; n = 29)				
PV initial, kg	26,1	25,9	0,4	0,15
PV final, kg	123,5	116,8	4,3	< 0,01
CMJ, kg/j	2,40	1,99	0,10	< 0,01
GMQ, g/j	946	757	44	< 0,01
GMQm, g/j	552	465	23	< 0,01
IC	2,60	2,70	0,06	< 0,01
ICm	4,45	4,39	0,21	0,49
Performances de composition (par porc, n = 134)				
Poids chaud, kg	99,6	94,0	8,9	< 0,01
G3, mm	14,2	10,4	3,1	< 0,01
M3, mm	78,7	76,6	6,8	0,11
TMP, %	60,8	62,6	1,7	< 0,01
TMC, %	59,4	61,7	2,2	< 0,01

¹Moyennes ajustées du modèle avec les effets de l'alimentation, du sexe, de la bande, de leurs interactions et du bloc intra bande. ETR : écart-type résiduel, Proba : P-value de l'effet de l'alimentation. PV : poids vif, CMJ : consommation moyenne journalière, GMQ : gain moyen quotidien, IC : indice de consommation, GMQm : gain moyen quotidien de muscle, ICm : indice de consommation par poids de muscle, G3 : épaisseur de gras, M3 : épaisseur de muscle, TMP : taux de muscle des pièces prédit par l'Image-Meater, TMC : taux de muscle de la carcasse.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

La seule analyse des données de classement des carcasses se révèle très insuffisante pour évaluer précisément les performances de composition corporelle dans les essais zootechniques. La tomodensitométrie s'avère être la technologie la plus appropriée pour déterminer les teneurs tissulaires. L'utilisation d'un scanner à rayons X permet non seulement de caractériser précisément l'effet d'un traitement sur la composition corporelle à un stade donné, mais aussi de mesurer la composition du gain de poids réalisé sur une période et l'efficacité alimentaire pour le(s) tissu(s) d'intérêt. En particulier, le gain de muscle (GMQm) et l'indice de consommation ramené au kg de muscle déposé (ICm) sont accessibles.

Le GMQm, l'ICm, ainsi que le taux de muscle de la carcasse (TMC) éventuellement assorti de quelques corrections, sont déjà opérationnels, ainsi que présenté dans l'exemple développé dans la section précédente. Les données obtenues avec des conduites alimentaires contrastées au regard de leur

impact potentiel sur le dépôt de gras (conduite RA vs T) ont permis de mettre en évidence quelques divergences entre les résultats obtenus avec les critères classiques ou les nouveaux critères.

La méthode développée initialement pour analyser les images tomographiques (Daumas et Monziols, 2011) permet de mesurer les volumes de muscle, de gras et d'os, puis de calculer les masses corporelles de ces tissus. Plus récemment, cette méthode a été affinée pour mesurer également le poids de couenne (Daumas et Monziols, 2021). Les travaux se poursuivent pour améliorer la précision de mesure de ces quatre compartiments tissulaires.

Les mesures par tomographie ouvrent ainsi la perspective de pouvoir avoir accès plus facilement, et de façon moins onéreuse, à une panoplie de critères qui impliquaient auparavant des mesures très lourdes et destructives par dissection. Par ailleurs, contrairement à la dissection, la carcasse ne perd pas de valeur et peut rester dans le circuit de

commercialisation. Les budgets expérimentaux étant le plus souvent fortement contraints et compte tenu du coût de la tomographie, il est envisageable dans certains essais de ne scanner qu'un sous-échantillon. Cette option est présentée dans le compte rendu final du projet SCANALI, disponible fin 2021. Avec le développement des études sur l'élevage de précision, qui requiert de mesurer avec précision la composition corporelle, l'utilisation de la tomodensitométrie devrait s'amplifier, que les installations expérimentales soient dotées ou pas d'un tomographe.

REMERCIEMENTS

Cette communication est issue des projets SCANALI et EFFISCAN, qui ont bénéficié d'une subvention du Ministère chargé de l'agriculture (fonds CASDAR, géré par FranceAgriMer pour SCANALI). La responsabilité du Ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blum Y., Monziols M., Causeur D., Daumas G., 2014. Recalibrage de la principale méthode de classement des porcs en France. Journées Rech. Porcine, 46, 39-43.
- Daumas G., Monziols M., 2008. Un scanner à rayons X au service de la filière. TechniPorc, 31 (4), 9-14.
- Daumas G., Monziols M., 2011. An accurate and simple computed tomography approach for measuring the lean meat percentage of pig cuts. Proc. of the 57th ICoMST, Gand, Belgique, article 061.
- Daumas G., Monziols M., 2018a. Impacts de la nouvelle réglementation sur le classement des carcasses de porc. Journées Rech. Porcine, 50, 75-80.
- Daumas G., Monziols M., 2018b. Towards a pan-European computed tomography procedure for determining the new EU lean meat content of pigs. Proc. of the 64th ICoMST, Melbourne, Australia, article 6550.
- Daumas G., Monziols M., 2021. Composition tissulaire des pièces primaires de découpe industrielle et simulation de l'impact d'une part croissante du mâle entier. Journées Rech. Porcine, 53, 43-48.
- Daumas G., Donko T., Maltin C., Bünge L., 2015. Imaging facilities (CT & MRI) in EU for measuring body composition. 50p.
- Daumas G., Monziols M., Causeur D., 2017. Conséquences de l'automatisation du classement des carcasses sur les écarts entre types sexuels et génotypes halothane. Journées Rech. Porcine, 49, 53-54.
- Daumas G., Monziols M., Ribikauskienė D., 2019. Validation of a pan-European computed tomography procedure for determining the new EU lean meat content of pigs. Proc. of the 65th ICoMST, Potsdam, Allemagne, pp. 529-530.
- Desmoulin B., Ecolan P., Bonneau M., 1988. Estimation de la composition tissulaire des carcasses de porcs : récapitulatifs de diverses méthodes utilisables en expérimentation. INRA Prod. Anim., 1, 59-64.
- Engel B., Lambooi E., Buist W.G., Vereijken P., 2012. Lean meat prediction with HGP, CGM and CSB-Image-Meater, with prediction accuracy evaluated for different proportions of gilts, boars and castrated boars in the pig population. Meat Sci., 90, 338-344.
- Gispert M., Brun A., Font-I-Furnols M., 2020. Effet de la partition des carcasses de porc dans l'estimation de la teneur en maigre avec la tomographie aux rayons X. 2020. Journées Rech. Porcine, 52, 57-58.
- Hviid M., Erbou S.G.H., Olsen E.V., 2011. The content of meat –Is there a difference between left and right sides of pig carcasses? Proc. of the 57th ICoMST, Gand, Belgique, P045.
- Kempster A.J., Cuthbertson A., Harrington G., 1982. Carcase evaluation in livestock breeding, production and marketing. Granada Publishing Ltd, Herts, Great Britain, 306 p.
- Lebreton B., 2004. Conséquences de la rationalisation de la production porcine sur les qualités des viandes. INRA Prod. Anim., 17, 79-91.
- Monziols M., Faix J., Zahlan E., Daumas G., 2013. Software for Automatic Treatment of Large Biomedical Images Databases. Proc. SCIA, Workshop on Farm Animal and Food Quality Imaging, Espoo, Finland, pp. 17-22.
- Monziols M., Hémonic A., Vautier B., Brossard L., van Milgen J., Quiniou N. 2014. 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. Journées Rech. Porcine, 46, 45-50.
- Nictou A., Guintard C., Betti E., Daumas G., 2005. Guide pratique de la dissection européenne de la carcasse de porc. CD-ROM. Ed. ITP, Paris.
- Nissen P.M., Busk H., Oksanen M., Seynaeve M., Gispert M., Walstra P., Hansson I., Olsen E., 2006. The estimated accuracy of the EU reference dissection method for pig carcass classification. Meat Sci., 73, 22-28.
- Noblet J., Karège 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.
- Pomar C., Marcoux M., Gispert M., Font i Furnols M., Daumas G., 2009. Determining the lean content of pork carcasses. In: J. D. Kerry, D. P. Ledward and D. Ledward (Eds.), Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat, 493-518. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- Quiniou N., Renaudeau D., Daumas G., 2021. Influence du rationnement et de la couverture des besoins en acides aminés sur les performances du porc en croissance selon les conditions climatiques. Journées Rech. Porcine, 53, 169-174.
- Scholz A., Bünge L., Kongsro J., Baulain U., Mitchell A., 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: Dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: Invited review. Animal, 9, 1250-1264.
- 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.
- Venet J., 2007. Contribution à la réalisation d'un cédérom sur la dissection européenne de référence du porc charcutier en vue du classement : échine, jarrets avant et arrière, gorge, partie arrière de la poitrine et côtes. Thèse de Doctorat vétérinaire, Nantes, France, 37 p.