

Contributions de l'imagerie par résonance magnétique à la recherche de prédictrices de la teneur en viande maigre des carcasses de porc

Gérard DAUMAS (1), Armel DAVENEL (2), Guylaine COLLEWET (2), Stéphane QUELLEC (2), Peter BOGNER (3)

(1) I.T.P., La Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex

(2) Cemagref, Unité Technologie des Equipements Agroalimentaires, 17, avenue de Cucillé, CS 64427, 35044 Rennes cedex

(3) Diagnostic Institute, University of Kaposvár, Guba Sándor str. 40, 7400 Kaposvár, Hungary

Contributions de l'imagerie par résonance magnétique à la recherche de prédictrices de la teneur en viande maigre des carcasses de porc

L'objectif principal était de tester le potentiel de l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) pour la recherche de nouvelles prédictrices de la Teneur en Viande Maigre (TVM). Dans deux essais, l'un français et l'autre européen, respectivement 18 et 120 demi-carcasses ont été scannées tous les cm, puis disséquées soit selon la méthode européenne de référence soit totalement. Des algorithmes de seuillage ont été utilisés pour segmenter les pixels de muscle des pixels de gras et d'os. Des profils de % de muscle par coupe ont été tracés par carcasse afin de trouver des repères anatomiques fixes. Ces points fixes sont très utiles pour établir la correspondance entre les coupes de différents porcs, à cause de leur différence de longueur. La TVMIRM a été estimée précisément à partir d'un bloc de 20 coupes contiguës, soit dans le jambon, soit dans la longe (RMSE = 0,8 à 1,2). La précision a été améliorée par la combinaison de deux blocs (RMSE = 0,6 à 0,7) ou de trois blocs (RMSE = 0,4 à 0,5) à partir des pièces principales. L'estimation de la TVMdissection à partir de blocs IRM est limitée par l'écart entre dissection et IRM. Scanner un bloc dans le jambon et un autre dans le tronc semble le meilleur compromis pratique en termes de rapport coût-précision. C'est donc une méthode potentiellement intéressante pour une référence intermédiaire lors du calibrage de plusieurs appareils de classement. Des recherches complémentaires seraient souhaitables pour accroître la robustesse sur la localisation précise des blocs IRM.

Contributions of Magnetic Resonance Imaging in the search of predictors of the lean meat proportion of pig carcasses

The main objective of both studies was to test the potential of Magnetic Resonance Imaging (MRI) technique for searching new predictors of the Lean Meat Proportion (LMP). In two trials, a French and an European, respectively 18 and 120 pig half carcasses, were scanned every cm, with 8 mm slice thickness and 2 interslice gap, and then dissected according to either the EU reference method for pig classification or full dissection. From the scans, thresholding algorithms were used to segment the pixels of the lean meat from the pixels corresponding to the fat and bones. Profiles of LMP per slice were plotted for each carcass in order to locate some fix anatomical points. These fix points were very helpful for setting a correspondence between slices of different pigs because of different lengths. LMP (MRI index) was accurately estimated from one block of 20 contiguous slices, either in the ham or in the loin (RMSE = 0.8 to 1.2). Accuracy was improved by combining two blocks (RMSE = 0.6 to 0.7) or three blocks (RMSE = 0.4 to 0.5) from the main joints. Estimation of dissected LMP from MRI blocks is limited by the gap between dissection and MRI techniques. Nevertheless, using PLS on LM% per slices or better on greylevels histogram is promising. Scanning one block in the ham and another in the trunk seems the best practical compromise in terms of the ratio cost-accuracy. This is therefore a potentially interesting method for an intermediate reference when calibrating several classification instruments. Further investigation would be suitable to increase robustness on the precise location of the MRI blocks.

INTRODUCTION

Le classement des carcasses de porc est basé sur la prédiction de la teneur en viande maigre (TVM) à partir de méthodes objectives agréées. En France, trois méthodes commerciales de classement ont été testées et approuvées. Elles ont été autorisées en 1997 et 1998 en utilisant un modèle linéaire sous contrainte d'indépendance partielle, imaginé par DAUMAS et DHORNE (1997). Ce modèle s'appuie sur un double échantillonnage, qui utilise une méthode de référence intermédiaire commune. Celle-ci consiste à mesurer 7 variables, 4 épaisseurs de gras et 3 épaisseurs de muscle (ETR = 1,67 kg/q).

La précision des nouveaux appareils apparus depuis, approche celle de la méthode française de référence. De plus, le nombre de variables mesurées et la nature différente des variables fait que la méthode de référence actuelle ne pourra plus être appliquée telle quelle à de tels appareils. En effet, une des contraintes de la procédure est que la méthode de référence doit contenir l'ensemble de l'information apportée par l'appareil de classement pour prédire la TVM. Il importe donc d'améliorer la précision de la méthode de référence tout en élargissant la gamme des variables mesurées.

L'objet de l'étude était d'établir un gradient de précision dans la prédiction de la TVM. Les technologies les plus prometteuses semblaient être l'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) (BAULAIN, 1997 ; BAULAIN et al, 1998) et la tomographie de rayons X (YOUNG et al, 2001). Le Cemagref disposant d'un appareil IRM, c'est cette technologie qui a été privilégiée.

Le présent article rend compte des travaux menés en France. Ils s'appuient sur les données de 2 essais : l'un réalisé en France spécifiquement pour cette recherche, l'autre réalisé dans le cadre d'un projet européen sur la classification porcine. Ils complètent une première approche uniquement sur l'essai français (DAUMAS et al, 2003).

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Matériel

1.1.1. Essai français

Au cours de la période allant d'octobre 2001 à janvier 2002, 17 demi-carcasses gauches ont été sélectionnées dans un abattoir proche de Rennes, afin de limiter le transport. La sélection visait à couvrir une large variabilité dans la population commerciale des porcs charcutiers, en tenant compte notamment des facteurs sexe et type génétique. Femelles et mâles castrés sont représentés en proportions sensiblement équivalentes. Plusieurs génotypes ont été sélectionnés.

Après une nuit de réfrigération, les demi-carcasses ont été transportées au Cemagref de Rennes. Là, elles ont été scannées par IRM. Les demi-carcasses étaient maintenues dans l'imageur à 5°C dans un dispositif de réfrigération. Chaque demi-carcasse était scannée en 7 séries de 19 images après

une translation de la demi-carcasse de 19 cm. Chaque série était acquise en 27 minutes, le temps total de mesure pour un porc étant de 3 h 36 min.

Après mesure à l'IRM, les demi-carcasses étaient découpées puis disséquées selon la procédure européenne normalisée (WALSTRA et MERKUS, 1996) utilisée pour le classement des porcs. Cette méthode consiste en une découpe primaire en 12 pièces suivie de la dissection totale des 4 pièces principales (jambon, longe, épaule et poitrine).

1.1.2. Essai européen

Le protocole détaillé est présenté par DAUMAS (2004). Brièvement, l'échantillon, composé de 120 porcs hongrois, a été stratifié sur le sexe (femelles et mâles castrés) et le type génétique (Large White, Seghers et Dalland). De plus, un sur-échantillonnage aux extrêmes de l'épaisseur de gras a été pratiqué globalement. Les demi-carcasses droites ont été scannées à l'université de Kaposvár (HU) avec un appareil Siemens Magnetom Vision 1.5 T. Les demi-carcasses gauches ont été découpées selon la méthode européenne (WALSTRA et MERKUS, 1996) puis toutes les pièces, à l'exception de la tête et des pieds ont été disséquées.

1.2. Analyse d'image

1.2.1. Essai français

L'acquisition des images, effectuée au Cemagref, s'est faite selon le protocole décrit par MONZIOLS et al (2005), mais pour explorer l'ensemble de la demi-carcasse (au lieu d'une pièce), la table de l'imageur a été déplacée 7 ou 8 fois de 19 cm. Au total, ont donc été stockées 133 ou 152 coupes par porc.

Les images acquises ont ensuite été normalisées pour s'affranchir de l'influence des inhomogénéités de champs magnétiques et d'antennes sur les niveaux de gris dans l'image. Cette normalisation des images consiste à diviser chacune des images d'une série par l'image correspondante d'un témoin (ou fantôme) constitué d'un liquide homogène.

Un seuillage fixe par carcasse a été privilégié.

1.2.2. Essai européen

Les détails sur l'acquisition des images peuvent être consultés dans COLLEWET et al (2004). L'analyse des images a été réalisée en deux étapes. Premièrement, les pixels appartenant

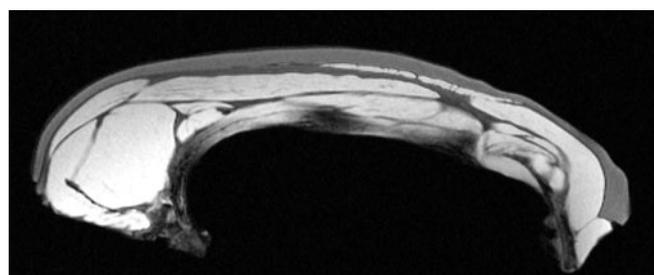


Figure 1 - Image IRM dans le tronc (Source : Cemagref)

nant à la carcasse ont été séparés des pixels appartenant au fond. Ensuite, sur l'ensemble des pixels de la carcasse un algorithme à base de seuillage adaptatif image par image a été utilisé pour segmenter les pixels correspondant au muscle des pixels correspondant au gras et aux os (COLLEWET et al, 2004). La figure 1 présente un exemple d'image IRM. Le gras correspond aux pixels avec les niveaux de gris les plus foncés tandis que le muscle correspond aux niveaux de gris les plus clairs.

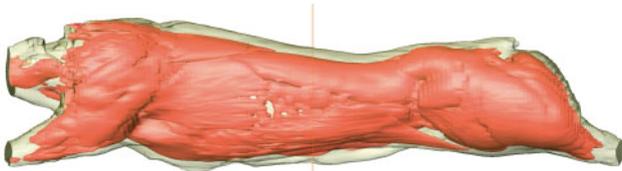


Figure 2 - Reconstitution des volumes de muscle après segmentation (Source : ITP)

1.3. Analyse statistique

Les analyses statistiques des 2 essais ont été réalisées en collaboration avec des étudiants de l'ENSAI. L'analyse sur l'essai français a été faite au printemps 2003 (HADDAD et al, 2003) et celle sur l'essai européen au printemps 2004 (DELAFONT et al, 2004).

1.3.1. Construction des régresseurs

Dans les 2 essais, les informations de base étaient sensiblement les mêmes. Seul, le nombre de coupes par porc n'était pas le même. Mais le problème commun était de trouver des zones prédictives anatomiquement comparables, alors que la longueur des carcasses différait. Pour cela, des invariants ont été recherchés, afin de recalcr les carcasses par zones. Un recalage visuel à partir des coupes aurait été très long et fastidieux. Aussi, il a été décidé de rechercher ces « invariants » graphiquement, à partir du % de muscle par coupe.

1.3.2. Régressions

La variable d'intérêt est le % de muscle dans la carcasse, mesuré par IRM, donc en volume. Par analogie avec la TVM (Teneur en Viande Maigre) mesurée par dissection, ce % de muscle a été appelé TVM_IRM et a été calculé comme suit :

$$TVM_IRM = \frac{\text{pixel_muscle}}{\text{pixel_piece}} * 100$$

Néanmoins, dans l'attente du remplacement de la dissection par un scanner (IRM ou R-X) (COLLEWET et al, 2004), il est intéressant d'estimer également la TVM dissection. Afin de comparer les 2 méthodes sur le même ensemble anatomique, il a été défini une TVM_dissection sur la base d'une demi-carcasse sans tête et pieds :

$$TVM_dissection = \frac{P_muscle}{P_demi_carcasse - P_tête - P_gorge} * 100$$

Avec :

P_muscle : poids de muscle total de la carcasse, hors tête et gorge

P_demi_carcasse : poids de la demi-carcasse

P_tête : poids de la tête

P_gorge : poids de la gorge

Les calculs concernant la TVM_dissection ne sont présentés que pour l'essai européen, seule la dissection des 4 pièces principales ayant été réalisée dans l'essai français.

Les régresseurs sont le % de muscle moyen par bloc d'images consécutives (20 dans le jambon et le tronc, 10 dans l'épaule).

Des régressions linéaires simples ont d'abord été réalisées avec la Proc REG de SAS (1999).

La combinaison de blocs se heurtant à la non-indépendance des régresseurs, la régression PLS (TENENHAUS, 1998) a donc été utilisée en 2003 sur les données de l'essai français, avec la Proc PLS de SAS (1999). Toutes les combinaisons (plus de 4 000) de 2 et 3 blocs ont été réalisées. La sélection du modèle a été opérée par minimisation d'un critère basé sur les sommes de carrés d'écarts, le SSPress. L'erreur de prédiction des meilleurs modèles a été évaluée par le RMSPress, critère inspiré du Root Mean PRESS, mais utilisant les valeurs des PRESS par observation, calculées sous SAS.

L'analyse sur les données européennes, l'année suivante, s'est limitée à des régressions classiques, à la fois par simplicité et parce que des régressions PLS sur 2 variables ont peu de chance de sélectionner des modèles très différents.

A l'aide d'un algorithme, nous avons effectué une série de régressions de la TVM IRM sur tous les blocs de 20 images possibles. Pour chaque régression nous avons alors enregistré le RMSE, qui est équivalent en régression à l'écart type résiduel, et qui est un indicateur de précision du modèle. La sélection du modèle a été opérée en cherchant à minimiser ce critère.

2. RÉSULTATS

2.1. Essai français

L'essai français ne comportant que 17 porcs, il a été assez facile de repérer un « invariant » par grande zone anatomique : épaule, tronc et jambon. Les 3 repères semblant relativement invariants, sont :

- pour l'épaule : un pic du % d'os au niveau de l'échine (vertèbre cervicale), l'avant de l'épaule et le jarret avant. Ce pic d'os provient du fait que la coupe prend tout l'humérus.
- Pour le tronc : un minimum local de muscle au niveau de la mouille.
- Pour le jambon : le 2^{ème} pic de muscle, dans la partie arrière du jambon, là où il est encore globuleux et où le fémur commence à se rétrécir.

Le fait de prendre 3 points de repère sur les carcasses divise, pour un nouveau porc de taille différente, l'erreur sur la distance de mesure par 3. Cependant, l'utilisation directe des coupes prises une à une serait trop variable et imprécise. Nous avons donc constitué différents blocs : de 10 coupes dans l'épaule, et de 20 dans le tronc et le jambon. Ainsi nous cherchions à rassembler suffisamment d'information dans chaque zone sans pour autant trop « coller » à l'échantillon. Pour chaque zone, nous avons construit plusieurs blocs avec un décalage d'une coupe entre chacune d'elles.

En régression linéaire simple, le RMSE d'estimation de la TVM est le plus faible dans le jambon et le tronc (0,8).

La combinaison de 2 blocs en régression PLS donne l'erreur de prédiction la plus faible pour l'association Epaule et Tronc (RMSPress = 0,6), puis pour l'association Jambon et Tronc (RMSPress = 0,7). L'inclusion du 3ème bloc abaisse encore l'erreur (RMSPress = 0,5).

2.2. Essai européen

Pour l'essai européen, à la lumière des résultats de l'essai français, l'étude a été focalisée sur le tronc et le jambon. Malheureusement, le repère vers la fin du jambon ne correspondait pas toujours à un maximum local sur les 120 porcs hongrois. Le nombre important de pics dans cette région a empêché de déterminer précisément ce repère. Aussi, seul le repère vers la séparation tronc-jambon, qui lui a pu être déterminé avec certitude, a été conservé pour le recalage des porcs européens.

Puis, pour le tronc et le jambon, des blocs de 20 coupes ont été constitués en prenant comme image 0 celle correspondant au repère de la figure 3.

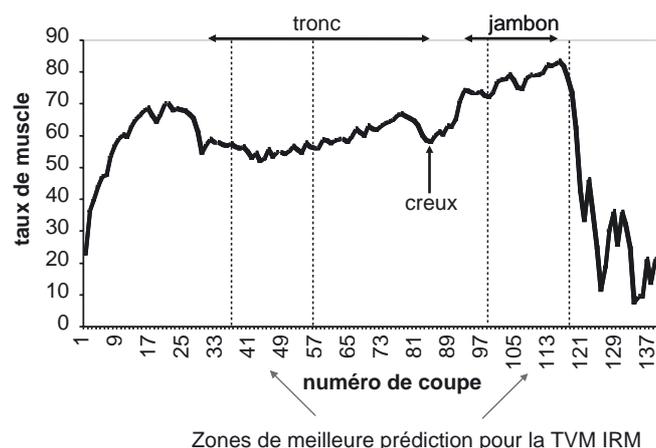


Figure 3 - Evolution du % de muscle par coupe IRM, de l'avant vers l'arrière, avec repérages des 2 blocs de 20 images correspondant aux 2 minima locaux du RMSE sur le tronc et le jambon (cf. figure 4)

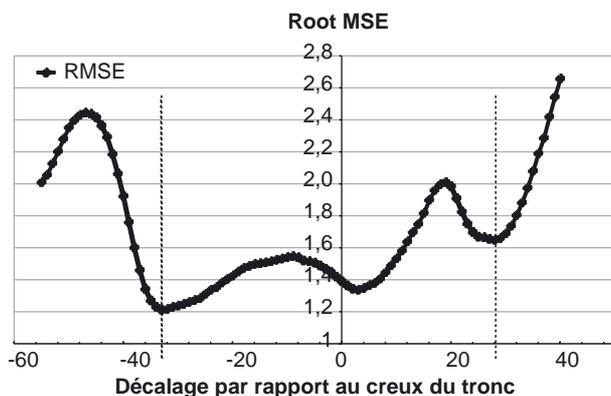


Figure 4 - Ecart type résiduel d'estimation de la TVM_{IRM} des demi-carcasses en fonction de la position du bloc IRM de 20 images

La corrélation entre la position du creux marquant la fin du tronc et la TVM est de $-0,36$ ($p < 0,0001$). Ceci indique que plus le porc est musclé, plus le jambon commence tôt en terme de coupes. Les animaux les plus musclés sont en effet plus courts et plus compacts (effet génétique).

La figure 4 permet de visualiser les zones sub-optimales en termes d'erreur d'ajustement. Sur ce graphique, l'abscisse correspond à la borne supérieure du bloc de 20 images qui a servi à la régression. Cette borne est relative, puisqu'elle correspond au décalage effectué par rapport au creux du tronc (qui correspond donc à l'abscisse 0).

Exemple :

Si pour un porc, le « creux » du tronc se situe à l'image P, alors le RMSE de l'image I correspond à la régression suivante :

$$TVM_{IRM} = \alpha + \beta TVM_{bloc} + \varepsilon$$

où le bloc considéré est le bloc comportant les images de l'intervalle $[P + I - 20 ; P + I]$.

La figure 4 fait apparaître trois minima locaux : l'un vers 1,2 de RMSE dans le tronc, un autre vers 1,35 au niveau de la séparation tronc-jambon et le dernier vers 1,65 dans le jambon. L'analyse s'est limitée aux 2 minima extrêmes, a priori de nature à apporter la plus grande complémentarité pour estimer la TVM. Les traits verticaux sur la figure 4 désignent donc les images pour lesquelles le RMSE a été retenu.

Ainsi, pour le tronc le bloc suivant a été sélectionné (RMSE = 1,22) : $[P - 53 ; P - 33]$

où P est le numéro de l'image correspondant au « creux » du tronc.

Le bloc retenu au niveau du jambon est le suivant (RMSE = 1,66) : $[P + 8 ; P + 28]$

Nous avons aussi effectué les mêmes calculs en modifiant le nombre d'images prises en compte par bloc. Nous avons effectué les calculs pour des blocs de 10 et 40 images dans le tronc. Dans aucun des cas nous n'avons obtenu de meilleurs résultats qu'avec un bloc de 20 images. En effet, il semble que 10 images apportent trop peu d'informations pour le niveau de précision recherché. Par ailleurs, considérer la moyenne de blocs de 40 images n'a plus beaucoup de signification étant donnée la variabilité de la courbe de TVM.

Nous conservons donc, pour la suite, les blocs de 20 images obtenus précédemment. Le bloc jambon est beaucoup plus musclé que le bloc tronc, 68 % contre 46 % en moyenne, mais beaucoup moins variable, avec un coefficient de variation de 9 % contre 17 %.

Tableau 1 - Résultats des régressions de la variable TVM_{IRM}

Estimation du modèle	RMSE
$TVM_{IRM} = 17,97 + 0,82 TVM_{tronc}$	1,22
$TVM_{IRM} = -16,29 + 1,06 TVM_{jambon}$	1,66
$TVM_{IRM} = 2,51 + 0,51 TVM_{tronc} + 0,44 TVM_{jambon}$	0,74

La combinaison d'un bloc dans le tronc et d'un dans le jambon diminue très notablement l'erreur, comme l'indique le tableau 1.

Le passage de la TVM_{IRM} à la $TVM_{dissection}$ dégrade considérablement la précision :

$$TVM_{dissection} = 11,03 + 0,40 TVM_{tronc} + 0,37 TVM_{jambon}$$

avec un RMSE de 1,42

Cette forte dégradation s'explique par l'erreur importante entre TVM_{IRM} et $TVM_{dissection}$:

$$TVM_{dissection} = 9,69 + 0,80 TVM_{IRM}$$

avec un RMSE de 1,28

Le RMSE relativement important, conditionne donc le degré de précision des modèles de régression précédents. Cette perte de précision est tout d'abord due aux différences de méthodes dans le calcul de la TVM (données IRM d'une part, données provenant d'une dissection d'autre part). De plus, les données IRM sont des volumes tandis que les données de dissection sont des poids.

Par ailleurs, les $TVM_{dissection}$ et TVM_{IRM} ne sont pas calculées sur la même demi-carcasse. La dissection a été effectuée sur la demi-carcasse gauche, alors que la demi-carcasse droite a été passée à l'IRM.

3. DISCUSSION

L'analyse des 2 essais concorde sur le fait que la mesure IRM de 2 blocs de 20 coupes contiguës, l'un dans le tronc et l'autre dans le jambon, permet une très bonne estimation du % de muscle de la carcasse (RMSE variant de 0,6 à 0,7). Pourtant, dans l'essai européen, seule une combinaison de 2 blocs a été essayée, alors que 266 combinaisons ont été testées dans l'essai français. Mais dans ce dernier, la différence d'erreur entre le moins bon modèle et le meilleur n'est que de 0,2 ; quant aux 46 premiers modèles, ils sont très proches. Ceci signifie donc qu'il y a une grande latitude pour choisir la position des 2 blocs.

L'ajout d'un bloc de 10 coupes dans l'épaule (essai français) a encore permis de réduire de 15 % l'erreur de prédiction. Néanmoins, la reproductibilité des mesures dans l'épaule semble plus faible, car très liée au positionnement de la patte avant dans l'imageur et éventuellement aux contraintes de torsion exercées par les parois du coffre réfrigéré, tel que ce fut le cas dans l'essai français.

Les erreurs d'estimation sur 1 bloc sont nettement plus élevées dans l'essai européen que dans l'essai français : 1,2 vs 0,8 dans le tronc. Ceci pourrait être dû au dispositif expérimental, conçu pour assurer une grande variabilité, et à la nature du cheptel hongrois plus variable que le cheptel français. Mais un impact des conditions d'acquisition des images IRM n'est pas à exclure.

Le passage à l'estimation de la TVM mesurée par dissection se heurte notamment aux différences importantes de technologie entre l'IRM et la dissection. L'erreur d'estimation dans les 2 essais, calculée par régression linéaire simple, est $RMSE = 1,3$. Dans l'essai européen, le côté scanné et celui

disséqué ne sont pas les mêmes, ce qui est pénalisant. Cet ordre de grandeur est conforme aux résultats de MONZIOLS et al (2005), qui mentionnent un écart type résiduel d'estimation du % de muscle de chacune des 4 pièces principales variant de 1,12 à 1,55.

Néanmoins, des perspectives importantes d'amélioration ont été ouvertes par l'emploi de la régression PLS directement sur les histogrammes de niveaux de gris issus des images IRM (DOBROWOLSKI et al, 2004). L'erreur de prédiction a ainsi pu être abaissée aux alentours de 0,7.

En comparaison, la méthode de référence française utilisée depuis 1996 pour calibrer les méthodes de classement a un RMSE de 1,7.

Les résultats précédents attestent de la pertinence de la méthode IRM pour estimer le taux de muscle des carcasses de porc. La séquence IRM choisie s'avère efficace pour segmenter les tissus. Il semble qu'une bonne précaution soit de maintenir une réfrigération préalable des carcasses pendant une nuit, bien que le fait que les deux premières carcasses de l'essai français aient été abattues le matin même, ne semble pas avoir eu d'incidence sur les résultats. A l'avenir deux précautions supplémentaires devraient être prises :

- parer préalablement les demi-carcasses de façon à ne scanner par IRM que les parties qui seront disséquées par la suite en dissection totale ou partielle,
- s'assurer que l'ensemble de la carcasse tienne entièrement dans le champ de vision de l'imageur.

Au vu notamment de l'analyse de l'essai européen, nous pouvons préconiser la recommandation pratique suivante. D'abord, il s'agit de repérer sur la demi-carcasse la jonction entre le sacrum et la dernière vertèbre lombaire, repère facile proche du creux du % de muscle, situé au niveau de la mouille. Puis, vers l'avant dans l'axe longitudinal, compter une trentaine de centimètres, qui marqueront la fin du bloc dans le tronc. Enfin, en repartant du repère osseux, compter une dizaine de centimètres vers l'arrière dans l'axe longitudinal, qui marqueront le début du bloc dans le jambon.

CONCLUSION

La TVM de la demi-carcasse mesurée par IRM a pu être estimée avec une bonne précision par le taux de muscle moyen dans un bloc de 20 cm dans le jambon. Cette précision a encore été nettement améliorée par la combinaison du taux de muscle moyen dans 3 blocs, un dans le jambon, un dans le tronc et un dans l'épaule.

Ces résultats encourageants offrent de nouvelles perspectives permettant d'envisager d'intégrer dans la future méthode de référence française la mesure par IRM d'un bloc dans le jambon ou d'un bloc dans 2 ou 3 des parties principales du porc.

Des recherches ultérieures pourraient être menées dans deux directions. D'une part, il serait souhaitable d'accroître la robustesse, en définissant des zones sub-optimales valables pour une large gamme de porcs commerciaux et en affinant

la combinaison de plusieurs zones. La largeur des blocs pourrait être adaptée aux caractéristiques de l'image et à la vitesse d'acquisition souhaitée. D'autre part, l'analyse d'image pourrait être approfondie de manière à extraire des variables plus fines que le % de muscle par coupe. Ainsi, au niveau du tronc, une analyse séparée des pièces grasses, bardières et poitrine, et musclées, longue, serait certainement prometteuse.

REMERCIEMENTS

Les travaux ont été réalisés avec la participation financière de l'OFIVAL.

L'essai européen a été mené dans le cadre du projet de recherche européen G6RD-CT-1999-00127 EUPIGCLASS de l'activité Mesures et Tests (programme Développement compétitif et durable).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAULAIN U., 1997. *Comput. Electron. Agr.*, 17, 189-203.
- BAULAIN U., HENNING M., THOLEN E., WHITTMANN W., PESCHKE W., 1998. *Züchtungskunde*, 70, 205-212.
- COLLEWET G., BOGNER P., ALLEN P., BUSK H., DOBROWOLSKI A., OLSEN E., DAVENEL A., 2004. New technological approaches to determine the pig lean meat percentage. Part 1 : the magnetic resonance imaging technology. Submitted to *Meat Science*.
- DAUMAS G., 2004. XXXIX Simposio Internazionale di Zootecnia, Roma, 23-42.
- DAUMAS G., DAVENEL A., QUELLEC S., COLLEWET G., MIGNOT J., 2003. Proceedings of the 49th ICoMST, Campinas, Brazil, Paper n° 88.
- DAUMAS G., DHORNE T., 1997. *Journées Rech. Porcine en France*, 29, 411-418.
- DELAFONT B., GRELOT A., LASSUS A., QUERE S., 2004. Prédiction de la composition corporelle. Rapport de projet statistique, ENSAI.
- DOBROWOLSKI A., ROMVARI R., ALLEN P., BRANSCHIED W., HORN P., 2004. *Fleischwirtschaft* 3/2004, 109-112.
- HADDAD A., LEBRE S., REFALO P., ROEDERER M., 2003. Prédiction de la teneur en viande maigre des porcs. Rapport de projet statistique, ENSAI.
- MONZIOLS M., COLLEWET G., BONNEAU M., MARIETTE F., DAVENEL A., KOUBA M., 2005. *Journées Rech. Porcine*, 37, 151-158.
- SAS Institute Inc., 1999. *SAS/STAT, User's Guide, Version 8*, Cary NC.
- TENENHAUS M., 1998. *La régression PLS : théorie et pratique*. Editions Technip, Paris, 254 p.
- WALSTRA P., MERKUS G.S.M., 1996. Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU reference dissection method in pig carcass classification. Report ID-DLO 96.014, 22 pp.
- YOUNG M.J., SIMM G., GLASBEY C.A., 2001. Proceedings of BSAS, 250-254.