

Estimation de la composition tissulaire de jambons et poitrines par un scanner à induction magnétique

Gérard DAUMAS (1), Mathieu MONZIOLS (1), Juan Manuel RODRIGUEZ (2), Jacobo ÁLVAREZ-GARCIA (2), David CAUSEUR (3)

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

(2) LENZ Instruments SL, calle Venezuela 31 nave 3, 08019 Barcelona, Espagne

(3) Agrocampus Ouest, Irmar, UMR 6625 CNRS, 65 rue de St-Brieuc, CS 84215, 35042 Rennes Cedex, France

gerard.daumas@ifip.asso.fr

Estimation de la composition tissulaire de jambons et poitrines par un scanner à induction magnétique

Le maillon aval est intéressé par un tri automatique des pièces de découpe. L'objectif de cette étude est de développer des modèles d'estimation de la composition tissulaire des jambons et des poitrines en utilisant un appareil commercial récent basé sur l'induction magnétique. Deux groupes d'échantillons ont été mesurés par cet appareil dans un atelier de découpe : l'un de 100 jambons et l'autre de 80 poitrines, à raison de 20 poitrines pour chacune des quatre classes de gras. Les pièces ont ensuite été scannées par un tomographe à rayons X, servant de référence pour la composition tissulaire. Les images tomographiques ont été segmentées, afin de calculer les poids et les teneurs en muscle et en gras. Ces quatre variables à expliquer ont été régressées sur le poids de la pièce et les paramètres classiques du signal de réponse à l'induction magnétique, mais aussi sur des coefficients de forme, calculés par des B-splines. Les meilleurs modèles incluaient deux variables pour le jambon, issues du poids de la pièce et de l'amplitude maximale du signal. Pour les poitrines, à ces variables s'ajoutaient l'aire sous le signal et un ou deux coefficients de forme. Les meilleurs résultats ont été obtenus pour les poids de tissus, avec un R^2 ajusté de 0,94 pour le muscle du jambon et le gras de la poitrine. Le R^2 ajusté du pourcentage de muscle était de 0,80 pour les poitrines et 0,65 pour les jambons. La proportion de poitrines bien classées a été estimée à 88%. Ces résultats confirment le potentiel de l'induction magnétique pour le tri des pièces et laissent entrevoir des perspectives pour l'utilisation de l'appareil testé.

Estimation of the tissue composition of hams and bellies by a magnetic induction scanner

The meat industry is interested in automatic sorting of the primary cuts. The objective of this study was to develop models to estimate the tissue composition of hams and bellies by using recent commercial equipment based on magnetic induction. Two groups of samples were measured by this apparatus in a cutting room: one of 100 hams and the other of 80 bellies, with 20 bellies in each of four fatness classes. The cuts were then scanned by an X-ray tomograph (CT), used as a reference for tissue composition. The CT images were segmented to calculate the weights and the contents of muscle and fat. These response variables were regressed on the cut's weight and the classic parameters of the magnetic induction response signal, but also on shape factors, calculated by B-splines. The best models included two variables for hams, derived from the weight of the cut and the maximum amplitude of the signal. To these variables were added the area under the signal and one or two shape factors for the bellies. The best results were obtained for tissue weights, with an adjusted R^2 of 0.94 for ham muscle and belly fat. The adjusted R^2 of the muscle percentage was 0.80 for the bellies and 0.65 for the hams. The percentage of well-classified bellies was estimated at 88%. These results confirm the potential of magnetic induction to sort cuts and suggest prospects for using the device tested.

INTRODUCTION

Le tri des pièces de découpe est un enjeu important de l'aval de la filière porcine. Il est encore essentiellement pratiqué manuellement. Les classes de qualité sont basées sur une appréciation visuelle de l'état d'engraissement sur la coupe. Cette appréciation ne reflète qu'imparfaitement la composition tissulaire des pièces. Le maillon aval est intéressé par des appareils pouvant prédire cette composition en ligne et de préférence automatiquement.

L'induction magnétique est une technique sans contact, qui utilise un champ magnétique dépendant du temps, couplé par induction entre les capteurs et l'échantillon en cours de contrôle. Cette technique d'inspection est utilisée au niveau médical et industriel pour déterminer les propriétés diélectriques passives de divers matériaux, y compris des tissus biologiques. Elle a été testée avec succès sur les pièces et les carcasses, essentiellement dans les années 1990. Par exemple, Kuei *et al.* (1989) l'ont utilisé pour des jambons, des épaules, des longes et des carcasses, Swan *et al.* (2001) pour des poitrines, des jambons et des épaules. Allen et McGeehin (2001) ont, quant à eux, dressé le bilan de leurs travaux sur des quartiers de bovin ainsi que sur des carcasses de porc et d'ovin. L'appareil testé à cette époque était un TOBEC (Total Body Electrical Conductivity), qui utilisait une seule bobine, générant un champ électromagnétique axial par rapport à l'échantillon.

Plus récemment, un nouvel appareil a été développé, utilisant plusieurs bobines, avec génération d'un champ magnétique primaire, perpendiculaire à l'échantillon. Simoncini *et al.* (2012) ont testé cet appareil pour estimer la composition en gras et muscle de jambons, mais sur une faible taille d'échantillon. Schivazappa *et al.* (2017) l'ont utilisé pour estimer la teneur en sel lors du process de salage de jambons.

L'objectif de cet article est de développer des modèles d'estimation de la composition des jambons et des poitrines pour la dernière version commerciale de cet appareil récent utilisant l'induction magnétique.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Echantillonnage et dispositif général

Deux groupes d'échantillons ont été sélectionnés dans une entreprise d'abattage-découpe : l'un de 100 jambons et l'autre de 80 poitrines. La variabilité a été recherchée sur le poids des jambons et sur l'état d'engraissement des poitrines. Ces dernières ont été sélectionnées selon leur classe de gras, attribuée visuellement par un opérateur de l'entreprise, conformément à la pratique industrielle traditionnelle (Gaudré *et al.*, 1992). Pour chacune des quatre classes de gras (E, 1, 2, 3, de la plus maigre à la plus grasse) utilisées par l'entreprise, 20 poitrines ont été retenues.

A proximité de l'atelier de découpe de l'entreprise, les pièces ont été passées dans un scanner à induction magnétique (Section 1.2). Le lendemain, les pièces ont été livrées à la salle de découpe de l'Ifip à Romillé (35) pour être scannées par un tomographe à rayons X (Section 1.3).

1.2. Mesures par scanner à induction magnétique

Le HAM-Inspector II™ est un scanner à induction magnétique, développé par Lenz Instruments S.L. (Barcelone, Espagne) pour

estimer la teneur en matières grasses des morceaux de viande de porc tels que le jambon, l'épaule et la poitrine.



Figure 1 – Scanner à induction magnétique : Ham-Inspector II™

La figure 1 montre le scanner à induction magnétique utilisé dans cet essai. Le scanner est composé d'un ensemble de bobines, pilotées par un circuit électronique, pour générer un champ magnétique primaire. Au moyen d'un ensemble d'absorbeurs magnétiques et d'une géométrie de bobine spécifique, le champ magnétique primaire est confiné à l'intérieur du tunnel, focalisé et induit perpendiculairement à la surface de la pièce de viande. Le champ magnétique primaire induit génère des courants de Foucault dans l'échantillon soumis à l'inspection. Les courants de Foucault circulant dans les tissus maigres génèrent un champ magnétique secondaire. Sa magnitude est proportionnelle à la quantité de maigre.

Les champs magnétiques primaire et secondaire sont tous deux induits dans un ensemble de capteurs ou de récepteurs électromagnétiques, qui convertissent le champ magnétique induit en un signal électrique complexe, qui est acquis continuellement pendant le passage de l'échantillon à travers le tunnel. Le signal électrique est ensuite traité par une instrumentation électronique, afin de déterminer la conductance de l'échantillon inspecté, conductance qui est représentée par une courbe. A titre d'exemple, les figures 2 (jambons) et 3 (poitrines) représentent les courbes de réponse à l'induction magnétique en fonction de l'axe longitudinal de la pièce pour les deux premières pièces de l'échantillon. L'abscisse est le temps, la réponse étant enregistrée toutes les 5 millisecondes. La vitesse du tapis étant fixe, l'abscisse correspond également à la longueur de la pièce.

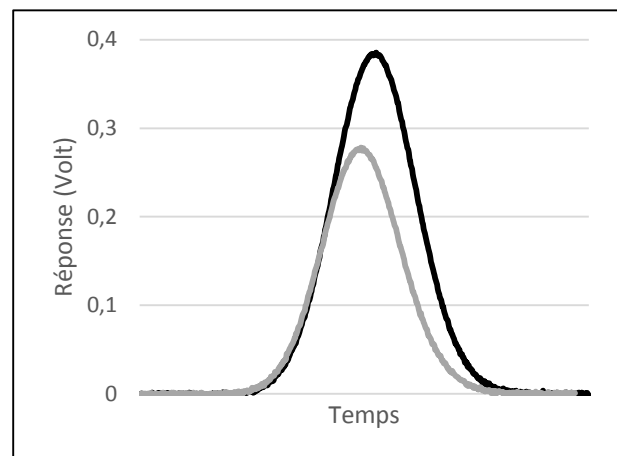


Figure 2 – Courbes de réponse à l'induction magnétique en fonction de la position longitudinale de deux pièces de jambon (correspondant à un pas de temps)

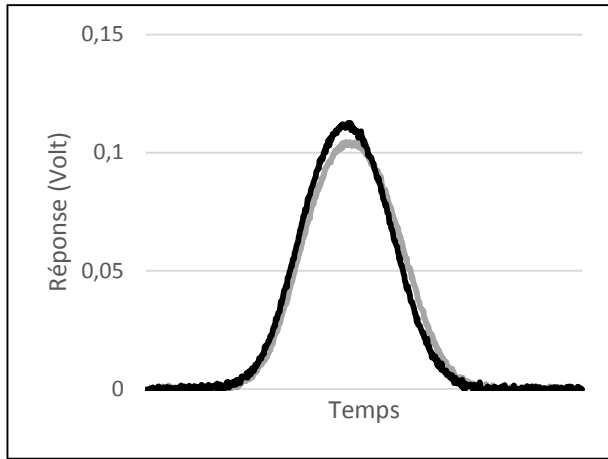


Figure 3 – Courbes de réponse à l'induction magnétique en fonction de la position longitudinale de deux pièces de poitrine (correspondant à un pas de temps)

De ces courbes sont classiquement extraites l'amplitude maximale (aussi dénommée « pic ») et l'aire sous la courbe. La longueur du signal et l'abscisse de l'amplitude maximale sont également des paramètres facilement accessibles. Dans cette étude, des paramètres supplémentaires de forme ont été calculés (Section 1.4).

1.3. Mesures par scanner à rayons X

La méthode de référence pour la composition tissulaire utilisée ici est basée sur la tomographie à rayons X.

Les pièces (jambons et poitrines) ont été pesées et scannées, face externe vers le haut, selon la procédure développée par Daumas et Monziols (2011). Le scanner était un Siemens Emotion Duo (Siemens, Erlangen, Allemagne). Les paramètres d'acquisition étaient les suivants : 130 kV, 40 mAs, 3 mm d'épaisseur de coupe, scan hélicoïdal, FoV 500x500 mm, matrice d'acquisition 512x512, filtre de reconstruction B30S (tissus mous).

Les images tomographiques ont été analysées selon la procédure développée par Daumas et Monziols (2011). Le volume de muscle de chacune des pièces a été obtenu par seuillage dans l'intervalle [0, 120] unités Hounsfield. Leur poids a ensuite été calculé en multipliant leur volume par une densité fixe de 1,04. Le volume de gras a été mesuré par seuillage dans l'intervalle [-500, -1] unités Hounsfield. Le poids de gras a ensuite été calculé en multipliant le volume par une densité fixe de 0,95. Les teneurs en muscle et en gras ont été déduites en rapportant le poids de tissu correspondant au poids de la pièce, puis ont été exprimées en pourcentage.

1.4. Modélisation

Pour chaque type de pièces, jambon ou poitrine, et pour chacun des tissus, muscle ou gras, le poids et la proportion de tissu dans la pièce ont été modélisés. Ce sont donc huit variables à expliquer qui ont été étudiées. Les meilleurs modèles d'estimation de la composition pour chacune de ces variables ont été établis selon les trois étapes suivantes :

- Chaque signal normalisé (même longueur, même amplitude maximale) a été décomposé sur une base de fonctions (B-

splines), de telle manière que la reconstitution du signal normalisé lissé ne soit pas différente à l'œil du signal normalisé brut.

- Le choix des variables explicatives potentielles s'est porté sur :

- le poids de la pièce et son inverse,
- les paramètres classiques extraits des signaux (aire sous la courbe, amplitude maximale, longueur du signal, abscisse de l'amplitude maximale) et ces paramètres divisés par le poids de la pièce,
- les coefficients des B-splines.

- Parmi toutes ces variables explicatives, le sous-ensemble de variables permettant de construire le meilleur modèle de régression linéaire a été sélectionné par minimisation du critère d'information bayésien (BIC en anglais). La minimisation de ce critère, qui est une fonction de la somme des carrés des résidus pénalisée par le nombre de paramètres, garantit l'obtention d'un modèle à la fois bien ajusté et parcimonieux.

De plus, un modèle de classification des poitrines a été établi par régression logistique multinomiale. La méthode d'estimation est celle d'un maximum de vraisemblance régularisée (LASSO), qui conduit à un modèle parcimonieux. Le choix du paramètre de régularisation (plus celui-ci est grand, plus le modèle est parcimonieux) résulte de la minimisation de la déviance pénalisée, celle-ci étant calculée par une procédure de validation croisée. Le modèle multinomial ainsi ajusté permet de calculer pour chaque poitrine une probabilité d'appartenance à une des quatre classes (E, 1, 2 ou 3). La pièce est alors classée dans la classe de probabilité la plus forte.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (R Core Team, 2018). Les packages suivants ont été utilisés : bestglm, car, MASS, splines.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont présentés de manière similaire pour les deux pièces, en commençant par le jambon et en finissant par la poitrine. Pour chaque pièce, un premier tableau rassemble quelques statistiques descriptives des principales variables ; outre la moyenne et l'écart type, sont donnés les quartiles inférieur (25%), médian (50%) et supérieur (75%). Un second tableau présente les variables explicatives et les critères d'ajustement (coefficient de détermination et écart type résiduel) pour chacune des variables à expliquer. Enfin, la qualité de l'ajustement est illustrée par un nuage de points.

Les variables à expliquer, issues de la tomographie à rayons X, sont identiques pour les deux pièces et au nombre de quatre : poids de muscle, poids de gras, pourcentage de muscle et pourcentage de gras. Par contre, les variables explicatives sélectionnées diffèrent.

La température de la pièce scannée, qui est susceptible d'avoir un effet sur la réponse à l'induction magnétique, a été considérée comme suffisamment stable pour ne pas être introduite dans les modèles. Son écart type était de 1,2°C pour les jambons (moyenne à 6°C) et de 0,6°C pour les poitrines (moyenne à 3°C).

Tableau 1 –Résumé des statistiques descriptives des variables à expliquer (tomographie à rayons X) et des principales variables explicatives (induction magnétique) pour les jambons (n = 100)

Type de variable	Variable	Moyenne	Ecart-type	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur
A expliquer	Poids de muscle, g	8559	742	8167	8498	8921
	Poids de gras, g	1945	346	1709	1957	2212
	Teneur en muscle, %	74,5	2,7	72,8	74,3	76,6
	Teneur en gras, %	16,9	2,7	14,9	17,4	18,6
Explicative	Poids de pièce, kg	11,57	0,90	11,03	11,61	12,01
	Amplitude max (pic), V	0,429	0,066	0,394	0,424	0,455
	Ratio Amplitude / Poids, V/kg	0,0369	0,0036	0,0350	0,0369	0,0387

Tableau 2 –Variables explicatives et critères d’ajustement de la composition par variable à expliquer pour les jambons (n = 100)

Variable à expliquer	Variables explicatives	R ² ajusté	ETR ¹
Poids de muscle, g	Pic, Pic/poids	0,94	185
Poids de gras, g	Pic, poids	0,71	186
Teneur en muscle, %	Pic, poids	0,65	1,61
Teneur en gras, %	1/poids, Pic/poids	0,64	1,62

¹ETR : écart-type résiduel.

2.1. Estimation de la composition tissulaire des jambons

Les teneurs moyennes en muscle et en gras des jambons, mesurées par tomographie à rayons X, étaient respectivement de 74,5% et 16,9% (Tableau 1).

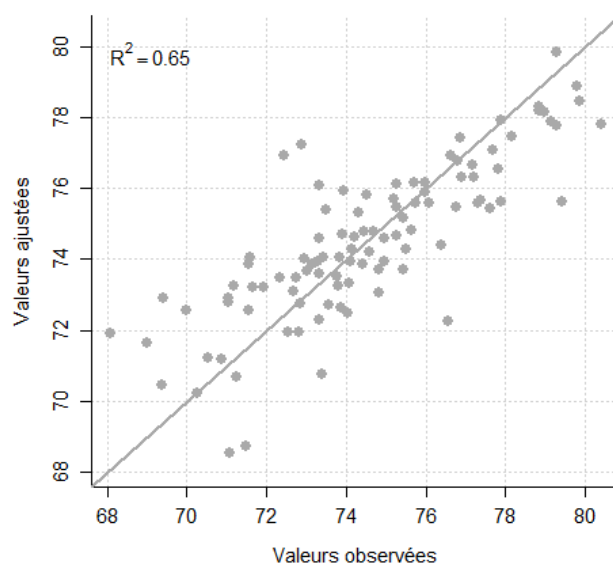
Pour l’ensemble des quatre modèles, au total quatre variables explicatives ont été utilisées : le poids du jambon, son inverse, le pic et le ratio pic / poids (Tableau 2). Quelques statistiques descriptives de ces variables, à l’exception de l’inverse du poids, sont présentées dans le tableau 1. Le poids moyen des jambons était de 11,6 kg et le pic moyen du signal de réponse à l’induction magnétique était de 0,43 volt.

Des modèles très parcimonieux de deux variables ont été sélectionnés. Ces variables étaient soit l’amplitude maximale et le poids de la pièce, soit des transformations de ces variables (Tableau 2). Les coefficients de détermination (R²) des teneurs, aussi bien de muscle que de gras, étaient voisins de 0,65. Ceux des poids étaient plus élevés, notamment pour le poids de muscle (0,94). A titre d’exemple, le nuage des points « ajustés (induction magnétique) vs observés (tomographie RX) » a été représenté pour le pourcentage de muscle du jambon sur la figure 4.

La discussion qui suit porte essentiellement sur la comparaison avec la littérature des coefficients de détermination (R²). En effet, le R² est moins sensible que l’écart type résiduel à la variabilité des échantillons. Dans nos résultats, nous avons présenté les valeurs de R² ajusté pour tenir compte du nombre de paramètres. Les valeurs de R² discutées ci-dessous sont légèrement supérieures aux valeurs de R² ajusté, de l’ordre de 0,01.

Le jambon a été davantage étudié que la poitrine ; nous avons repéré six articles utilisant le TOBEC (Total Body Electrical Conductivity) dans la période 1993-2001. Il est à noter que si le principe de mesure est le même, l’appareil est différent de celui utilisé dans cet essai. Le TOBEC utilisait une seule bobine, générant un champ électromagnétique axial par rapport à l’échantillon. La quantité d’énergie absorbée par l’échantillon était proportionnelle à la conductivité du matériau et

augmentait à mesure que la masse du matériau conducteur augmentait. L’unité mesurait la quantité d’énergie absorbée par un échantillon exposé au champ électromagnétique.

**Figure 4** – Teneur en muscle (en %) dans le jambon : ajusté (induction magnétique) vs observé (tomographie RX)

Meseck *et al.* (1997) n’ont pas trouvé de différence dans les données de scan entre une position du gras de couverture vers le bas ou une position vers le haut. Après avoir placé les jambons, face externe vers le bas, ils ont conclu que l’orientation du jambon, quand elle est définie et reste identique, n’influait pas la prédiction du poids de muscle et du pourcentage de muscle.

Pour le poids de muscle, le R² de notre étude était de 0,94, soit une valeur proche de celles rapportées par Kuei *et al.* (1989), Henning *et al.* (1993), Walstra et Hulsegge (1995) et Meseck *et al.* (1997), mais nettement supérieure au 0,80 de Swan *et al.* (2001).

Tableau 3 –Résumé des statistiques descriptives des variables à expliquer (tomographie à rayons X) et des principales variables explicatives (induction magnétique) pour les poitrines (n = 80)

Type de variable	Variable	Moyenne	Ecart-type	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur
A expliquer	Poids de muscle, g	3816	457	3656	3846	4133
	Poids de gras, g	2835	815	2445	2719	3211
	Teneur en muscle, %	55,6	6,45	51,5	56,7	60,0
	Teneur en gras, %	39,9	5,79	36,0	39,1	43,7
Explicative	Poids de pièce, kg	7,02	1,19	6,57	7,09	7,74
	Amplitude max (pic), V	0,177	0,033	0,159	0,185	0,198
	Aire, V.ms	33,5	6,8	29,4	34,6	37,8
	Ratio Amplitude / Poids, V/kg	0,025	0,003	0,024	0,026	0,028
	Ratio Aire / Poids, V.ms/kg	4,76	0,48	4,43	4,77	5,17

Tableau 4 –Variables explicatives et critères d’ajustement de la composition par variable à expliquer pour les poitrines (n = 80)

Variable à expliquer	Variables explicatives ¹	R ² ajusté	ETR ²
Poids de muscle, g	Poids, 1/poids, Pic, Aire, CF14, CF15	0,78	214
Poids de gras, g	Poids, 1/poids, Aire, CF14	0,94	207
Teneur en muscle, %	Poids, 1/poids, Pic/poids, Aire/poids, CF14, CF15	0,80	2,89
Teneur en gras, %	Poids, 1/poids, Aire, CF14	0,76	2,84

¹CF : coefficient de forme des B-splines ; ²ETR : écart-type résiduel

Le R² du poids de gras était de 0,72 dans notre essai, soit à peine plus que le 0,67 donné par Henning *et al.* (1993).

Pour le pourcentage de muscle, notre R² (0,66) était également proche de ceux de Henning *et al.* (1993) et Meseck *et al.* (1997), mais inférieur à celui de Walstra et Hulsegge (1995), qui avaient trouvé 0,77.

Enfin, pour le pourcentage de gras, Kuei *et al.* (1989) avaient estimé le R² à 0,76, une valeur assez nettement supérieure à celle de cet essai (0,65).

Simoncini *et al.* (2012) avaient testé une version antérieure de l’appareil utilisé dans cet essai. Les auteurs avaient trouvé un R² ajusté de 0,90 pour le poids de muscle et de 0,81 pour le pourcentage de gras. Néanmoins, ces résultats avaient été considérés comme préliminaires, la taille d’échantillon n’étant que de 20 jambons.

2.2. Estimation de la composition tissulaire des poitrines

Les teneurs moyennes en muscle et en gras des poitrines, mesurées par tomographie à rayons X, étaient respectivement de 55,6% et 39,9% (Tableau 3). Quelques statistiques descriptives des principales variables explicatives sont également présentées dans ce même tableau. Le poids moyen des poitrines était de 7,0 kg et le pic moyen du signal de réponse à l’induction magnétique était de 0,18 volt.

La décomposition des signaux normalisés a abouti à 17 fonctions B-splines. Les modèles incluaient de quatre à six variables explicatives, dont un ou deux paramètres de forme des courbes normalisées (Tableau 4). Ces paramètres étaient les coefficients 14 et 15, soit sur la fin de la phase de décroissance du signal. Le poids et l’inverse du poids ont été sélectionnés pour les quatre variables à expliquer. Enfin, l’aire ou l’aire et l’amplitude maximale, telles quelles ou bien divisées par le poids, complétaient les modèles.

Le coefficient de détermination (R²) le plus élevé concernait les poids de gras et était de 0,94. Les autres étaient compris entre 0,76 et 0,80. Le modèle établi par Swan *et al.* (2001) expliquait également 78% de la variance du poids de muscle.

A titre d’exemple, le nuage des points « ajustés (induction magnétique) vs observés (tomographie RX) » a été représenté pour le pourcentage de gras de la poitrine sur la figure 5.

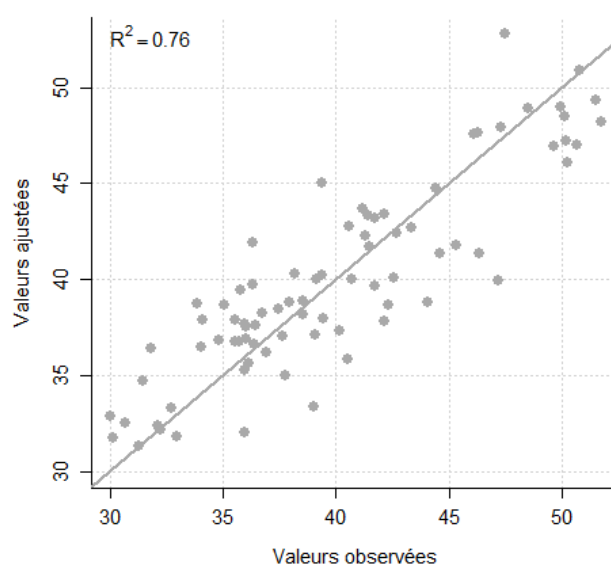
**Figure 5** – Teneur en gras (en %) dans la poitrine : ajusté (induction magnétique) vs observé (tomographie RX)

Tableau 5 – Pourcentage de poitrines bien estimées (en diagonale) et mal estimées par classe¹

Classe observée	Classe estimée			
	E	1	2	3
E	95%	5%	0%	0%
1	5%	95%	0%	0%
2	5%	15%	75%	5%
3	0%	0%	15%	85%

¹Classe E (la plus maigre) à classe 3 (la plus grasse).

Les résultats de classification des poitrines ont été résumés dans le tableau 5. Les classes maigres (E et n°1) étaient les mieux estimées, avec un taux de 95%. Les 5% mal classés l'ont été dans l'autre classe maigre. La classe la plus grasse (n°3) a été bien estimée à 85% ; les 15% restants ayant été classés dans la classe adjacente (n°2). La classe 2 a été la plus difficile à estimer, avec un taux de 75% de bien classés, les mal classés se répartissant dans les 3 autres classes. Globalement sur l'échantillon, le taux de poitrines bien classées s'est élevé à 88%.

CONCLUSION

Les deux essais ont permis de sélectionner des modèles d'estimation de la composition des jambons et des poitrines par un scanner à induction magnétique. Les ajustements se sont révélés meilleurs pour les poids de muscle et de gras que pour les teneurs en muscle et en gras. Pour les poitrines, des paramètres de forme des réponses à l'induction magnétique se sont avérés être des variables explicatives utiles. Les ajustements des teneurs en muscle et en gras ont été meilleurs que pour les jambons. La bonne performance apparente de la méthode de classification des poitrines ne doit pas faire oublier que les taux de bons classements n'ont pas été obtenus en validation croisée. En conséquence, ces résultats doivent être confirmés par des données complémentaires.

Ces premiers résultats prometteurs laissent entrevoir des perspectives pour une utilisation de ce scanner à induction magnétique, notamment pour le tri des poitrines, mais aussi pour le tri des jambons. Le tri d'autres pièces semble également envisageable.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le CASDAR pour le soutien financier apporté à ce travail dans le cadre du projet HYPER-SCAN. Ils remercient également l'abattoir BERNARD et le groupe Jean Floc'h pour la qualité de leur accueil lors de l'essai.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allen P., McGeehin B., 2001. Measuring the lean content of carcasses using TOBEC. The National Food Centre Research Report No. 40, Dublin; Teagasc. ISBN 1841702358.
- Dumas G., Monziols M., 2011. An accurate and simple computed tomography approach for measuring the lean meat percentage of pig cuts. Proc. 57th ICoMST, Ghent, Belgium. Paper 061.
- Gaudré D., Boulard J., Le Jossec P., 1992. Etude du classement des poitrines. Techni-porc, 15.03.1992, 41-48.
- Henning M., Baulain U., Kallweit E., Forrest J.C., 1993. Determination of lean and fat in carcass cuts with TOBEC. Proc. 44th EAAP, Aarhus, Denmark, vol. II, P 5.24, p. 453.
- Kuei C.H., Forrest J.C., Orcutt M.W., Judge M.D., Schinckel A.P., 1989. Electromagnetic scanning to estimate composition and weight of pork primal cuts and carcasses. Proc. 35th ICoMST, Copenhagen, Denmark, pp. 249-256.
- Meseck N. L., Gwartney B. L., Calkins C. R., Miller P. S., 1997. Influence of sample orientation on prediction of fresh ham lean content by electromagnetic scanning. J. Anim. Sci., 75, 3169–3173.
- R Core Team, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schivazappa C., Virgili R., Simoncini N., Tiso S., Álvarez J., Rodríguez J.M., 2017. Application of the magnetic induction technique for the non-destructive assessment of salt gain after the salting process of Parma ham. Food Control, 80, 92-98.
- Simoncini N., Virgili R., Schivazappa C., Pinna A., Rossi A., Alvarez J., Rodríguez J.M., 2012. Assessment of fat and lean content in Italian heavy green hams by means of on-line non-invasive techniques. Proc. 58th ICoMST, Montréal, Canada, ID CARCASSSP-12.
- Swan J. E., Parrish F. C., Wiegand B. R., Larsen S. T., Baas T. J., Berg E. P., 2001. Total body electrical conductivity (TOBEC) measurement of compositional differences in hams, loins, and bellies from conjugated linoleic acid (CLA)-fed stress-genotype pigs. J. Anim. Sci., 79, 1475–1482.
- Walstra P., Hulsegge B., 1995. Estimation of lean meat in hams by means of TOBEC. Proc. 41st ICoMST, San Antonio, USA, pp. 173-174.