



De nouveaux capteurs pour maîtriser la qualité des viandes de porc

De nouveaux capteurs utilisables en abattoir et en transformation pour mieux mesurer la composition des carcasses de porc et caractériser la qualité technologique des viandes

Mots-clés : Capteur, Porc, Composition, Qualité, Abattoir, Transformation

Auteur : Gilles Nassy¹

¹ IFIP - Institut du Porc, 7 avenue du Général de Gaulle, 94704 Maisons-Alfort Cedex

* E-mail de l'auteur correspondant : gilles.nassy@ifip.asso.fr

La filière porc dispose dorénavant de nouveaux outils pour mesurer la composition des carcasses et contrôler la qualité technologiques des produits à divers stades de transformation ; la maturité de ces technologie est examinée au regard des tests effectuées à l'échelle pilote et industrielle.

Résumé :

Les abattoirs font le lien technologique et économique entre les attentes des marchés et la production de l'élevage. Les technologies nouvelles apparaissent dans l'industrie de la viande et sont expérimentées dans plusieurs directions. La tomographie X détermine la composition d'une carcasse dans ses trois tissus principaux, le maigre le gras et l'os. Elle est déjà utilisée pour réaliser des dissections virtuelles afin de calibrer les appareils de classement. Cette technologie RX est expérimentée en ligne sur des chaînes de désossage et sert à programmer les robots de désossage selon la conformation individuelle des pièces. Des caméras en lumière visible installées dans les abattoirs pour classer les carcasses selon des épaisseurs de maigre et de gras permettent la répartition des plus-values aux éleveurs. Les spectres NIRS de réflexion ou de réfraction sont utilisés pour mesurer la composition de mélanges en gras et en maigre. Leur utilisation est en cours de validation en substitution du pH pour prédire au stade abattoir la qualité technologique des jambons. L'analyse hyperspectrale (incluant les ondes visibles et infra rouge) devient possible grâce aux vitesses des calculateurs aujourd'hui disponibles. Elle devrait renforcer la précision de l'analyse NIRS et améliorer la qualité de caractérisation des viandes porcines.

Abstract: New captors for use in slaughterhouses and for transformation in order to measure carcass composition and characterize technological quality of meat

Slaughterhouses hold a strategic position in the center of the pork industry as they are the technological and economic link between market expectations and livestock production. New technologies, proven in other industries, have appeared in the meat industry and are being tested. X-ray tomography determines accurately and nondestructively in pig carcass, the proportion of three main tissues, fat, lean and bones. X-ray is already used to perform virtual dissections to calibrate grading devices. This X-ray technology is experienced on deboning lines to program deboning robots according to the individual conformation of pieces. Visible light cameras are now installed in slaughterhouses to classify carcasses according to thickness of lean and fat to allow the distribution of gain payments to farmers. The infrared spectra (NIRS) of reflection or refraction are quite widely used to measure the composition of mixed fat and lean. Their use is being validated for substitution to pH to predict, at the slaughterhouse stage, the technological quality of hams. Hyperspectral analysis (including visible and infrared rays) becomes possible thanks to the speed of computers available today. It should enhance the accuracy of the NIRS analysis and improve the characterization of pig meat.

I. LE CONTEXTE DE LA FILIERE PORC

Les viandes de porc ont deux débouchés majeurs, la consommation en viandes, fraîches et élaborées et la consommation sous forme de charcuteries et salaisons. Pour être performante, la filière porcine doit inciter la production à élever les animaux dont les viandes sont recherchées par ces différents débouchés.

Les abattoirs détiennent une position stratégique au centre de la filière porcine puisqu'ils font le lien économique et qualitatif entre les attentes des marchés et la production de l'élevage.

Le lien économique avec les éleveurs se fait par la distribution de plus-values incitatives basées sur la

II. LES CAPTEURS DANS L'INDUSTRIE DES VIANDES POUR MIEUX CARACTERISER LA COMPOSITION DES CARCASSES EN VUE DU PAIEMENT A L'ELEVEUR

La composition des carcasses de porcs est actuellement estimée dans l'industrie des viandes lors de l'opération de pesée et de classement. Cette opération est réalisée sur les chaînes d'abattage, en général juste avant l'entrée en réfrigération. Le classement s'effectue à l'aide d'appareils, qui utilisent l'une des trois technologies suivantes : la réflectance, les ultra-sons, la vision.

Le principe de réflectance consiste à analyser un rayon lumineux en lumière visible émis par une sonde pénétrante et réfléchi par la viande. Selon que la sonde traverse le tissu gras ou le tissu maigre, la lumière réfléchi présente un spectre différent. Cette sonde est couplée avec un capteur de pénétration mesurant l'épaisseur de chaque tissu. Ce principe est appliqué depuis les années 80 par des appareils de classement de type, Fat'O'meter de SFK, puis CGM de Sydel.

Les ultra-sons sont utilisés depuis les années 90 pour prédire le taux de maigre des carcasses. Une version automatique a été imaginée par la société danoise SFK, aujourd'hui Carometec. L'idée consiste à scanner le dos du porc afin de récupérer l'information sur l'épaisseur de la bardière et la noix de côtelette. L'appareil, dénommé AutoFom, est installé dans la zone chaude de l'abattoir, après l'épileuse, au niveau de la table aux nerfs, avant le flambage.

L'appareil de mesure, qui consiste en un arceau dans lequel sont insérés 16 têtes à ultra-sons, est placé dans une goulotte prolongeant la table de réception des porcs. Le convoyeur, via les crochets de suspension, entraîne le porc entier, non éviscéré, dans la goulotte. Le porc passe alors sur l'arceau, le poids du corps assurant le contact avec les capteurs. La fréquence de mesure est synchronisée avec la vitesse de chaîne de façon à émettre un signal tous les demi-centimètres. Au final sont analysées les images de quelques profils longitudinaux, desquelles sont extraites de très nombreuses variables, appelées paramètres IP. Ces variables sont entre autres des épaisseurs de bardière et de muscle de la longe.

La vision, technologie utilisée en classement bovin, a pénétré plus récemment le monde porcin. Elle présente un avantage important : son automatisation et donc son faible

coût d'exploitation. En France, Uniporc Ouest a choisi d'équiper les grands abattoirs de sa zone d'un appareil de vision, le CSB-Image-Meater®. Depuis juin 2013, les ¾ environ des porcs français, soit environ 18 millions par an, sont classés et payés selon le TMP (Taux de Muscle des Pièces) prédit par cet appareil.

Dans les deux cas, la capacité pour l'abattoir à objectiver la composition et la qualité technologique des viandes est déterminante. Elle permet de remonter les besoins de l'aval vers la production porcine française, et sont pris en compte dans les axes d'amélioration génétiques. Les technologies nouvelles, éprouvées dans d'autres secteurs industriels, apparaissent dans l'industrie de la viande et sont expérimentées dans plusieurs directions.

Toute méthode de classement des carcasses doit être autorisée par une décision de la Commission européenne après respect de règles communautaires et avis d'experts nationaux. La méthode CSB-Image-Meater® présente une erreur de prédiction de 2,4 % de TMP (Blum *et al.*, 2014), donc inférieure au plafond communautaire de 2,5 %.

L'équation de prédiction comporte deux épaisseurs de gras sous-cutané (G3 et G4) ainsi que deux épaisseurs de muscle (M3 et M4), mesurées sur la fente de la carcasse, à la jonction entre longe et jambon :

$$\text{TMP} = 60,12 - 0,487 \text{ G3} - 0,133 \text{ G4} + 0,111 \text{ M3} + 0,036 \text{ M4}$$

Avec la définition suivante des 4 épaisseurs, toutes exprimées en mm, et mesurées par analyse d'image sur la fente (Figure 1) :

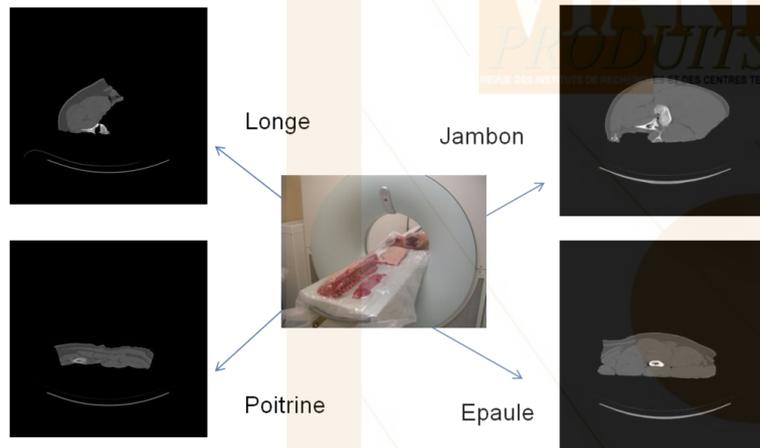
- G3 = l'épaisseur minimale du gras (y compris la couenne) recouvrant le muscle fessier moyen;
- G4 = l'épaisseur moyenne du gras (y compris la couenne) recouvrant quatre vertèbres lombaires ;
- M3 = l'épaisseur minimale de muscle entre l'extrémité antérieure du muscle fessier moyen et la partie dorsale du canal médullaire ;
- M4 = l'épaisseur moyenne de muscle recouvrant quatre vertèbres lombaires.

Cet appareil de classement a été calibré à l'aide d'un scanner RX (Figure 2), dans le but d'éviter de longues et coûteuses dissections manuelles, dont la reproductibilité est difficile à assurer. Les 4 pièces principales de la découpe européenne normalisée ont été scannées, puis les images ont été analysées selon un algorithme développé par l'Ifip. Cette procédure a permis d'atteindre une erreur de prédiction de 0,5 % de TMP (Daumas & Monziols, 2011), soit un niveau parmi les plus bas en Europe.

Figure 1 : Les 4 zone de faisant l'objet d'une mesure d'épaisseur par la méthode CSB-Image-Meater®



Figure 2 : un scanner RX permet de différencier dans le volume trois tissus des carcasses et pièces de porc : le muscle, le tissu gras et l'os



III. LE SCANNER RX UNE TECHNOLOGIE EN DEVELOPPEMENT POUR DES APPLICATIONS D'ETUDES OU INDUSTRIELLES EN ABATTOIR

Même si des travaux sont en cours pour introduire des scanners RX en abattoir, ces derniers sont pour le moment majoritairement des outils expérimentaux (Pomar et al., 2009). Un réseau scientifique européen (Action COST FAIM) travaille sur l'imagerie des animaux d'élevage et les scanners sont au cœur de ces travaux. Des échanges visent à développer à terme une référence européenne de mesure du

% de muscle par scanner, qui servirait de base pour le classement des porcs (Daumas et al., 2013).

La technologie RX a été expérimentée avec succès pour visualiser l'évolution du jambon lors de sa transformation en jambon sec (Fulladosa et al., 2010). Le scanner RX permet de différencier les muscles selon leur densité et visualiser ainsi la pénétration du sel et l'évolution du séchage (Etude FranceAgriMer Ifip/Adiv 2011).

Figure 3 : mise en évidence de la pénétration du sel par tomographie RX (zone claires) pendant la fabrication de jambons secs

Avant salage		Fin repos	
Fin salage		Fin étuvage	
Mi repos		Fin affinage	

Ce moyen non destructif est très utile pour suivre l'évolution d'un jambon tout au long de sa transformation et apprécier l'efficacité des paramètres de salage sans attendre le cycle complet de fabrication (Figure 3).

L'implantation de scanners RX en production commence à voir le jour : La technologie RX est utilisée en ligne sur la machine Mayaekawa Mycom de désossage des jambons. Un faisceau RX prend une photo RX de chaque jambon afin de déterminer en 2 dimensions sa conformation, la forme et l'emplacement de l'os du fémur et du quasi. Cette photo, interprétée par un algorithme d'analyse d'image, fournit des informations numériques servant à la programmation en ligne des robots de désossage. Cette technologie sous forme industrielle, est en développement par le Danish Meat Research Institute en vue de mesurer en tête de ligne de

IV. CARACTERISER LA QUALITE DES VIANDES POUR MESURER LEUR APTITUDE A TELLE OU TELLE TRANSFORMATION

Le second objectif de l'abattoir est de caractériser les viandes sur des critères attendus par les transformateurs.

La qualité technologique se définit comme la capacité du jambon ou de la longe à retenir l'eau lors de la cuisson (rendement de cuisson) et de former un gel protéique indispensable à la tenue de tranche lors du tranchage (rendement de tranchage). Cette qualité technologique est aujourd'hui prédite sur le jambon frais par deux paramètres, le pH mesuré sur la face externe du muscle *Semimembranosus* et l'évaluation visuelle du défaut de déstructuration à cœur du jambon. Plusieurs études récentes de l'Ifip ont évalué la capacité de mesures par spectroscopie dans le domaine du visible et du proche infrarouge pour prédire les deux paramètres du rendement technologique du jambon et de la longe.

Une première étude exploratoire (Vautier et al., 2011) a permis la mise au point de calibrages à partir de spectres dans le domaine du visible dans l'objectif de prédire le rendement technologique du jambon cuit. Les performances de ces calibrages obtenus par validation croisée ont montré des résultats encourageants sur le jambon ($R^2=0.70$, $rmsec=2.1$) comme sur la longe ($R^2=0.45$, $rmsec=2.0$). Le pH pris dans des conditions idéales permet d'assurer une prédiction d'un niveau comparable (corrélation entre pHu et rendement technologique du jambon : $r=0,58$ à $0,84$ selon les études).

Dans une autre étude sur la prédiction du rendement technologique du jambon cuit, Vautier et al. (2013) confirment la performance de la spectroscopie pour la prédiction du rendement technologique du jambon cuit. Une mesure spectrale réalisée dans le domaine du visible + proche infrarouge (350-1800nm) à 24h post mortem sur le *Gluteus medius* permet d'obtenir avec une sonde de contact du commerce un calibrage performant pour la prédiction du rendement technologique ($R^2=0.75$, $rmsec=2.8$). La validation externe de cette équation de prédiction sur un échantillon de $n=36$ jambons étrangers à la population de calibrage permet d'atteindre une forte corrélation entre rendement prédit et rendement observé ($r=0.82$) et une erreur de 1.78, ce qui représente moins de la moitié de l'écart type sur l'échantillon.

Enfin, une étude sur la qualité technologique de la longe (Vautier et al., 2014) établit la prédiction du rendement technologique de la longe lors de la transformation en rôti cuit supérieur. Le résultat obtenu avec une sonde visible+ proche infrarouge invasive est très dépendant du site de

désossage la composition des pièces afin de les valoriser et d'établir un bilan matière dans les abattoirs porcins. Connaître précisément la morphologie et la composition en tissus maigre et gras des pièces avant leur découpe est un enjeu majeur dans toute l'industrie de la filière porcine. Cette connaissance pièce par pièce servirait à orienter chacune d'elle vers une valorisation optimale selon sa conformation et sa composition gras/maigre.

Une mesure objective de la composition de chaque pièce par l'abattoir est une première étape pour fixer la valeur d'un porc selon la valeur marchande de ses pièces plutôt que selon la composition de sa carcasse. Ce moyen technologique permettrait à terme un système d'incitation à produire les pièces attendues par le marché.

mesure mais atteint une corrélation de $r=0.65$ et une erreur $rmsep=2.9$ en validation externe sur un des 9 sites testés.

L'erreur de prédiction dans les articles de Vautier et al. (2013 et 2014) et dans le tableau 1, notée $rmsep$, correspond à l'erreur type du rendement prédit par rapport au rendement observé. La méthode est performante quand le $rmsep$ est inférieur à la moitié de l'écart type sur l'échantillon.

Sur le jambon, ces résultats sont encourageants car ils démontrent qu'une mesure par NIRS permet de prédire le rendement de cuisson et le défaut de déstructuration sur jambon frais non ouvert 18 heures après abattage. La mesure NIRS incluant l'acquisition et l'analyse du spectre est rapide (1seconde) et peu dépendante de l'opérateur et de l'environnement de mesure, contrairement à la mesure du pH. Des appareils NIRS conçus pour une utilisation en milieu industriel existent déjà. Leur intégration sur les lignes de découpe pour des mesures en ligne est dès aujourd'hui envisagée pour appliquer une caractérisation systématique des jambons voire des longes. Ceci permet de les orienter selon leur qualité prédite soit la transformation en cuit supérieur soit vers d'autres transformations moins exigeantes.

L'analyse hyperspectrale constitue sans doute la prochaine étape technologique des capteurs optiques en industrie des viandes. Il s'agira d'analyser des images dont chaque pixel contient un spectre, cette technologie apportant à l'imagerie la richesse de la spectroscopie proche infrarouge.

L'intérêt des technologies optiques est de faciliter les étapes d'automatisation du tri en ligne des viandes dans la filière porcine par la mise en place d'une mesure continue sans contact avec la viande et ne nécessitant pas l'intervention d'un opérateur. Une information obtenue automatiquement en routine devrait permettre de généraliser la prédiction de la qualité technologique des viandes porcines.

Les avancées attendues dans le domaine des mesures optiques sur les viandes concernent les outils de mesure : sondes mieux adaptées aux mesures sur la viande (accessibilité, surface de mesure) et à l'environnement industriel (humidité, température, nettoyabilité), réduction du coût des appareils, surfaces de prise de mesure des sondes optiques, puissance de la source lumineuse, algorithmes de traitement pour réduire le temps de réponse, miniaturisation. En parallèle, une connaissance complémentaire est nécessaire pour identifier les lieux de mesure donnant les meilleurs taux de prédiction du

rendement technologie des viandes et facilement accessibles en abattoir.

Tableau 1 : Prédiction du rendement technologique de la longe traitée en salaison Sites de pH et de mesure de NIRS



Site	Calibration (n=56)		Cross validation (n=56/3)	External validation (n=24)	
	R ²	Nb. pls factors	Rmsec mini	r	Rmsep
C	0.26	3	3.8	0.28	3.7
D	0.09	1	3.8	-	-
E	0.66	6	3.5	0.26	3.7
F	0.05	1	3.8	-	-
G	0.08	1	3.8	-	-
H	0.02	1	3.9	-	-
I	0.29	3	3.9	0.31	3.6
J	0.78	9	3.8	0.65	2.9
K	0.15	4	3.9	0.49	3.3

CONCLUSION

Ainsi les technologies d'optique et d'imagerie se déploient dans l'industrie de la viande et dans les domaines où l'objectivation de la qualité et de la composition sont primordiaux pour la performance industrielle. Les technologies d'optique et RX sont avantageuses car elles

permettent des mesures très rapides, peu sensibles à l'opérateur et facilement automatisables. Elles font partie des capteurs attendus par l'industrie de la viande pour sa performance industrielle et son bilan économique.

Références :

- Blum Y., Monziols M., Causeur D., Daumas G. (2014). Recalibrage de la principale méthode de classement des porcs en France. Journées de la Recherche Porcine, 46, 39-43.
- Daumas G., Donko T., Monziols M. (2013). Identification of possible and relevant post mortem reference methods for carcass composition. In: C. Maltin, C. Craigie and L. Bünger (Eds), Farm Animal Imaging Kaposvár 2013, 14-17.
- Daumas G., Monziols M. (2011). An accurate and simple computed tomography approach for measuring the lean meat percentage of pig cuts. Proceedings of the 57th ICoMST, 7-12 August 2011, Ghent, Belgium, Paper 061.
- 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.
- Fulladosa E., Santos-Garcés E., Picouet P., Gou P. (2010). Prediction of salt and water content in dry cured hams by computer tomography. Journal of Food Engineering, 96, 80-85
- Vautier et al. (2011). Visible spectroscopy and redox potential as alternatives to ultimate pH for cooking yield prediction. ICOMST, Ghent.
- Vautier et al. (2013). A feasibility study for the prediction of the technological quality of ham with NIR spectroscopy. EAAP, Nantes.
- Vautier et al. (2014). Meat quality mapping of the loin: pH vs NIR spectroscopy to predict the cooking yield. ICoMST, Punta del Este, Argentina.