

FORMATION CONTINUE – ARTICLE DE SYNTHÈSE

Evaluation de la composition de la carcasse et de la qualité de la viande par ultrasonographie chez le porc

YOUSSAO A. K. I., VERLEYEN V., LEROY P. L.

Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Biostatistique et sélection animale, 20 Boulevard de Colonster, B43, 4000 Liège, Belgique

Correspondance : Youssao Issaka

Tél : 04 366 41 50

Fax : 04 366 41 22

E-Mail : iyoussao@student.ulg.ac.be

RESUME : Plusieurs techniques sont utilisées dans la prédiction *in vivo* de la composition de carcasse des porcs. Parmi ces techniques, l'ultrasonographie est aujourd'hui la plus utilisée. Cet article passe en revue les différents domaines d'application de l'ultrasonographie en production animale. La précision et la répétabilité des mesures à ultrason et les différents facteurs de variation qui les influencent sont abordés. Plusieurs systèmes d'analyse d'images déjà développés ou en phase de test et visant à améliorer davantage la prédiction de la qualité de la viande sur les animaux *in vivo* sont présentés.

INTRODUCTION

Les techniques d'estimation de la composition de la carcasse des animaux de boucherie sont basées sur la mesure des caractéristiques de la carcasse *post mortem* ou sur la mesure *in vivo* des performances d'engraissement de l'animal, celles-ci étant fortement corrélées avec la composition corporelle. Les différentes méthodes d'évaluation de la carcasse à l'abattage ont été décrites par Hedrick (1983). Bien que l'abattage et la découpe permettent d'évaluer objectivement la composition de la carcasse, ils présentent des inconvénients notamment de ne pas permettre des mesures répétées sur le même animal, d'être coûteux et d'exiger parfois beaucoup de temps. Différents appareillages sont aussi utilisés pour évaluer et classer des carcasses dans les abattoirs. Ils permettent des mesures rapides, précises, répétables et peu coûteuses. Parmi ces appareillages, les plus utilisées dans l'Union Européenne sont : le "Capteur Gras/Maigre-Sydel" (CGM), le "Grirada Choirometer PG200", le "Fat-O-Meater" (FOM) et le "Hennessy Grading Probe" (HGP).

Ces appareils utilisent des capteurs qui mesurent la réflectance des tissus (muscle, graisse, etc.) au cours de leur trajet au travers de la carcasse. Ils permettent de mesurer l'épaisseur du muscle et du gras en un endroit précis de la carcasse (Daumas et Dhorne, 1997). Les valeurs des différentes mesures réalisées sur la carcasse sont converties en pourcentage de viande maigre (Hulsegge et Merkus, 1997; Ministère des classes moyennes et de l'agriculture, 1999). Cette conversion nécessite une calibration de l'appareil et une validation de celle-ci à partir d'un échantillon de carcasses autre que celui qui a servi à calibrer l'appareil. La valeur commerciale de la carcasse des porcs est basée sur la teneur en viande maigre (TVM) dans les pays de l'Union Européenne. Le classement des carcasses de porcs selon la TVM est obligatoire dans les abattoirs européens selon le règlement de la Commission (CEE) 2137/94 du 20 décembre 1994, ce qui explique le développement de ce type de technique. En Belgique, ce règlement s'applique dans tous les abattoirs qui abattent en moyenne annuelle plus de 200 porcs par semaine, à l'exclusion

des porcs qui ont été utilisés pour la reproduction (Ministère des classes moyennes et de l'agriculture, 1999). En dehors des appareils visant à estimer le pourcentage de viande maigre cités ci-dessus, d'autres, notamment le PIC 2000 et le VSC 2000 sont utilisés dans l'évaluation des carcasses de porcs suivant la conformation (Ministère des classes moyennes et de l'agriculture, 1999). Pour ces appareils, les informations sur la conformation des carcasses sont obtenues à partir d'analyses d'images obtenues par caméra et traitées par un logiciel sur base de la calibration de l'appareil et de la validation de celle-ci. Les techniques d'évaluation *post mortem* de la carcasse citées ci-dessus ne sont, par définition, pas applicables *in vivo* pour la sélection des animaux d'élevage. Dans ce cas, les évaluations doivent se faire sur base des mesures prises directement sur l'animal ou sur des individus apparentés. Les techniques expérimentales couramment utilisées pour l'évaluation *in vivo* de la composition corporelle sont basées sur l'absorption des rayons X, l'analyse chimique d'une biopsie musculaire, la résonance

magnétique nucléaire, l'ultrasonographie, etc.

Le balayage aux rayons X à faible énergie permet d'estimer la quantité de graisse corporelle avec des précisions (R^2) supérieures à 0,93 et des déviations standards résiduelles (RSD) de 2,15 % ; cette méthode est efficace pour déterminer la composition des porcs de 10 à 60 kg (Mitchell et Conway, 1993). Ces résultats ont été confirmés par Svendsen et collaborateurs (1993) et Pomar et Rivers (1996). Cependant, le balayage aux rayons X reste onéreux et peut difficilement être utilisé en production.

Le prélèvement d'une biopsie musculaire nécessite une anesthésie locale et une incision de 1 cm en travers de la peau et des tissus sous-jacents. L'échantillon de tissu musculaire prélevé est parfois peu homogène et souvent insuffisamment représentatif pour permettre la détermination du pourcentage de gras intramusculaire par une analyse chimique (Villé *et al.*, 1992). Cette technique est invasive et présente un inconvénient majeur caractérisé par son incapacité à prédire la TVM de la carcasse.

La résonance magnétique nucléaire donne des résultats précis, nécessite toutefois des équipements lourds, coûteux et souvent incompatibles avec la taille de l'animal (Pomar et Rivers, 1996).

L'ultrasonographie est aujourd'hui la plus utilisée et la plus aisée pour évaluer la composition de la carcasse du porc *in vivo* (Gresham, 1995). En effet, elle est relativement précise et répétable. Ainsi, l'étude comparative menée par Villé et collaborateurs (1997) sur la mesure du gras intramusculaire du muscle *longissimus dorsi* dans trois lignées de porcs belges a révélé l'absence de différence significative entre les méthodes par biopsie, ultrasonographie et résonance magnétique nucléaire. D'autre part, elle est peu coûteuse, d'utilisa-

tion facile, sans risque pour l'animal et pour l'opérateur, et permet de déterminer la composition de la carcasse avant l'abattage (Gresham, 2000). Au Danemark, certains appareils à ultrasons ont été autorisés dans la prédiction de la composition corporelle du porc sur base des caractéristiques de la carcasse (Busk et Olesen, 1996).

Dans cette synthèse, nous nous intéresserons à l'utilisation de l'ultrasonographie dans l'évaluation de la composition corporelle du porc *in vivo*. Certaines applications utilisées chez les bovins mais potentiellement adaptables aux porcs seront également décrites.

HISTORIQUE

L'échographie se base sur une différence d'impédance acoustique entre les différents tissus que rencontre une onde sonore produite par une sonde de 1 à 5 Mhz. Cette sonde permet à la fois l'émission des ondes pendant un temps court (une microseconde) et la réception des échos pendant un temps plus long (environ une milliseconde) via des cristaux de quartz transformant un signal électrique en signal acoustique. L'ultrasonographie est utilisée en production animale depuis les années 50. Wild (1950) l'a employée pour déterminer la densité des tissus conjonctifs sans détruire les différents tissus adjacents. Plus tard, Wild et Neal (1951) ont montré que l'interface entre le muscle et le tissu adipeux peut être observée sur l'animal vivant. Des recherches ont été ensuite réalisées pour mesurer l'épaisseur du gras et la profondeur des muscles des bovins (Stouffer *et al.*, 1961; Hedrick *et al.*, 1963), des moutons (Meyer *et al.*, 1966) et des porcs (Isler et Swiger, 1968). En général, les sites utilisés pour la mesure de l'épaisseur du gras et de la profondeur du muscle étaient localisés le long des vertèbres thoraciques et lombaires. L'épaisseur du gras et la profondeur

du muscle mesurées *in vivo* sur l'animal étaient similaires à celles qui étaient observées sur la carcasse pour les mêmes localisations.

Le développement ultérieur de l'ultrasonographie s'explique par l'évolution des technologies. Au départ, des appareils dits en mode A étaient utilisés. Ce mode d'affichage se compose de pics verticaux le long d'un axe horizontal. La hauteur du pic correspond à l'amplitude de l'écho. L'amplitude et la distance de renvoi des échos forment une image ultrasonique à une dimension (Rantanen et Ewing, 1981). En 1969, les appareils à ultrasons disposant d'un affichage en mode B font leur apparition avec le scanogramme (Stouffer, 1991). L'image apparaît alors en deux dimensions. Avec ces appareils, la sonde est déplacée à la surface du corps et chaque image correspond à une coupe anatomique. La position de chaque point sur l'écran est déterminée par le temps mis par l'écho pour retourner à la sonde. L'intensité des points est proportionnelle à l'amplitude de retour de l'écho (Houghton et Turlington, 1992). L'évolution la plus marquante de la technique résulte du développement d'appareils de mesure en temps réel vers les années 1980 (Stouffer, 1991). Les images obtenues à partir de ces appareils s'affichent en mode B. Aujourd'hui, l'ultrasonographie en mode A et en mode B est largement utilisée en zootechnie aux Etats-Unis, en Europe, en Asie (Japon) et en Australie. Les appareils en mode A sont peu coûteux, peu encombrants, permettent des mesures plus rapides et expriment directement l'épaisseur du lard dorsal. Ceux en mode B sont plus coûteux et permettent en revanche de visualiser les deux couches de lard et de s'assurer ainsi qu'elles sont bien prises en compte dans la mesure. Les figures 1a et 1b présentent des images en mode B obtenues à partir d'un appareil à ultrasons en temps-réel. En

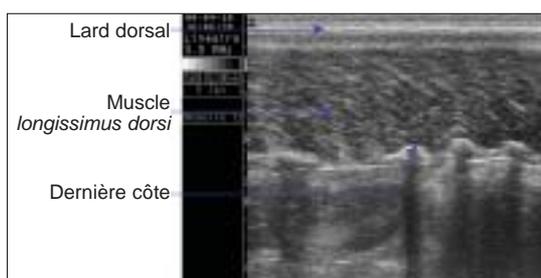


Figure 1a : Image longitudinale de la région dorso-lombaire chez le porc Piétrain

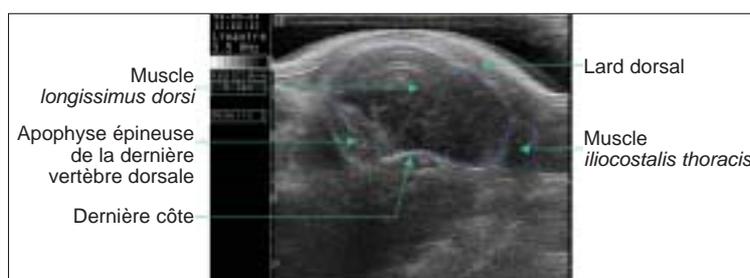


Figure 1b : Image transversale de la région dorso-lombaire chez le porc Piétrain

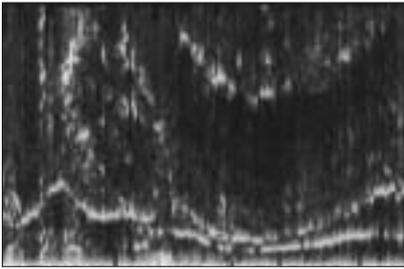


Figure 2a: Image d'une carcasse de porc obtenue à partir de l'Autofom (Fully Automatic Ultrasonic Carcass Grading) (Brondum *et al.*, 1998)



Figure 2b: Photographie de la carcasse représentée à la figure 2a (Brondum *et al.*, 1998)

1995, la firme SFK (SFK Technology A/S, Herlev, Danemark) a mis au point un nouvel appareil à ultrasons pour la classification des carcasses de porcs. Cet appareil appelé "Fully Automatic Ultrasonic Carcass Grading" (Autofom) est différent des appareils à ultrasons en temps réel. Il est muni d'un boîtier équipé de 16 sondes (transducteurs) disposées à des intervalles réguliers de 25 mm. Le déplacement horizontal des carcasses sur ces sondes disposées transversalement par rapport à l'axe du déplacement permet à ce système de présenter des images en trois dimensions contrairement aux modes A et B (Brondum *et al.*, 1998). Ce système a été autorisé pour la classification des carcasses de porcs au Danemark en 1996 (Busk et Olesen, 1996). La figure 2a présente l'image en trois dimensions de la carcasse et la figure 2b correspond à la photographie de la carcasse représentée à la figure 2a. L'image en trois dimensions fournie par l'appareil montre de gauche à droite les structures du jambon, de la longe, des épaules, et de bas en haut le lard dorsal (y compris la peau) et les muscles jusqu'à une profondeur d'environ 10 cm (Brondum *et al.*, 1998).

PRINCIPE DE FORMATION DES IMAGES EN TEMPS REEL

Les appareils à ultrasons en temps réel se caractérisent par l'enregistrement sans interruption des mouvements des structures anatomiques sur un écran de visualisation. Si la sonde est placée à la surface du dos, l'onde

sonore est projetée et se propage dans la peau. Elle dissipe une partie de son énergie dans ce milieu par absorption, puis rencontre l'interface entre la peau et la couche externe du lard. Une partie est alors réfléchiée et constitue le premier écho. Le reste de l'onde sonore est transmis dans la couche externe du lard dorsal, puis une partie est absorbée tandis que l'autre rencontre l'interface des couches externe et interne du lard qui émet un nouvel écho et ainsi de suite. Le même principe s'applique ainsi aux ondes qui traversent la couche interne du gras, l'interface couche interne du gras et muscle *longissimus dorsi*, le muscle *longissimus dorsi*, etc. La réflexion de l'énergie sonore dépendra des vitesses de propagation des ondes sonores et des différences de densité entre deux milieux. La réflexion est importante lors d'un transit entre le tissu musculaire et l'os (vertèbres) et elle est quasi totale lors de passage entre l'air et un tissu mou. Ceci explique pourquoi il faut éviter la présence d'air entre la sonde et la peau et appliquer un gel à cette fin. Les tissus mous tels que le tissu musculaire et le tissu adipeux constituent des zones échogènes qui apparaissent selon leur densité en gris plus ou moins foncé. Les os et les cartilages se comportent vis-à-vis des ultrasons comme des barrières réfléchissant quasiment toute l'énergie sonore. Ces structures solides hyperéchogènes donnent des points d'intensité sur l'écran. Les échos rendent également compte de la discontinuité des tissus traversés. Les différents échos sonores reviennent vers la sonde dans l'ordre de leur émission et cela quelle que soit la distance à parcourir. Ces échos sont amplifiés et donnent ensuite une image qui s'affiche sur l'écran. Pour que les échos soient captés par la sonde, il faut que l'angle entre l'onde

sonore incidente et l'interface soit proche de 90°. Ainsi, plus le faisceau incident est perpendiculaire à l'interface, plus nombreux sont les échos et meilleure est la qualité de l'image. Les équipements à ultrasons en mode B sont capables de détecter les petites particules de graisse intramusculaire ou le persillé des muscles. Toutefois, il est difficile de faire la différence entre l'échogénicité des particules de graisse intramusculaire et des structures telles que les veines et les artères présentes dans ces muscles (Miller, 1996). Le traitement de l'image obtenue permet de mesurer la surface ou l'épaisseur du muscle *longissimus dorsi*, l'épaisseur du gras ou du lard dorsal, voire du gras intramusculaire (McLaren *et al.*, 1991; Houghton et Turlington, 1992; Gresham, 2000).

COLLECTE ET ANALYSE DES IMAGES

Les mesures sont prises de la première vertèbre thoracique à la dernière vertèbre lombaire, perpendiculairement à l'axe de la colonne vertébrale à une distance de 0 à 13 cm de celle-ci (Fortin *et al.*, 1980; Sather *et al.*, 1986). L'image longitudinale est prise parallèlement à l'axe de la colonne vertébrale (figure 3a), pour les mesures des épaisseurs du lard dorsal et du muscle *longissimus dorsi*, et l'image transversale est prise perpendiculairement à l'axe de la colonne vertébrale (figure 3b) pour la mesure de la surface du muscle *longissimus dorsi*. Les mesures transversales nécessitent un adaptateur en latex (*stand-off*) utilisé pour que la sonde épouse la courbure dorsale de l'animal. Le site choisi doit être localisé et défini facilement afin de minimiser les variations liées à l'endroit de mesure. Une fois localisé, ce site est



Figure 3a: Prise de l'image longitudinale du muscle *longissimus dorsi* au niveau de la dernière vertèbre thoracique d'un porc Piétrain



Figure 3b: Prise de l'image transversale du muscle *longissimus dorsi* au niveau de la dernière vertèbre thoracique d'un porc Piétrain

nettoyé et aspergé d'huile végétale ou de gel (Aquasonic 100™, Pie Medical equipment BV, Maastricht, Pays-Bas) afin d'obtenir un bon contact entre le *stand-off* et la peau. L'huile minérale est déconseillée parce qu'elle est nuisible à la transmission des ondes par la sonde et les fils conducteurs reliant la sonde à l'échographe (Gresham, 2000). La température de l'huile végétale peut influencer la qualité de l'image. Une température d'huile légèrement supérieure à la température corporelle facilite la propagation des ondes dans les différents tissus de l'animal. De meilleurs résultats ont été obtenus lorsque la température de l'huile est de 44°C (Gresham, 2000). La température ambiante peut également influencer la qualité de l'image. En hiver, surtout chez les bovins, il est plus difficile d'obtenir une image de qualité qu'en été en raison de l'abondance des poils. La quantité d'huile utilisée dépend de l'animal et de la préférence de l'opérateur. Les animaux doivent être maintenus calmes et immobiles durant la prise des images. Pour une bonne interprétation, les images doivent répondre à des critères clairement définis : couches du lard dorsal clairement visibles, épaisseur et surface du muscle *longissimus dorsi* bien délimités (figures 1 et 4). Enfin, l'orientation des faisceaux d'ultrasons est très importante pour la précision des mesures. La sonde doit être maintenue perpendiculairement à la peau. L'épaisseur du muscle est maximale au centre et diminue lorsqu'on oriente la sonde vers les vertèbres ou vers le côté externe.

RELATIONS ENTRE LES MESURES DE REFERENCE REALISEES SUR LA CARCASSE ET LES MESURES REALISEES PAR ULTRASONOGRAPHIE

Calibration et validation des modèles de prédiction

La calibration consiste à calculer par régression les équations de prédiction d'une variable (TVM, pourcentage de gras intramusculaire, etc.) à partir des mesures d'un appareil en des sites anatomiques précis. Cette équation de régression est ensuite validée sur un échantillon autre que celui qui a servi à calibrer l'appareil. Chaque équation

de régression est appelée modèle de prédiction. Les mesures de l'appareil en des sites anatomiques précis se font à partir des logiciels développés par des firmes. Il peut donc exister plusieurs modèles développés à partir d'un même logiciel et plusieurs logiciels pour le même appareil (Brethour *et al.*, 1994 ; Gresham, 1996 ; Amin *et al.*, 1997 ; Herring *et al.*, 1998 ; Hassen *et al.*, 2001). Les modèles d'estimation de la TVM des carcasses de porcs doivent se faire à partir d'un échantillon représentatif de la production porcine nationale ou régionale, composée d'au moins 50 carcasses pour une méthode d'évaluation rapide faisant appel à une double régression soit sur 120 carcasses en utilisant une technique de régression standard (Règlement N°2967/85 de la Commission Européenne, Ministère des classes moyennes et de l'agriculture, 1999). Aux États-Unis, un échantillon de 500 bovins a été utilisé pour développer des modèles de prédiction du pourcentage de gras intramusculaire à partir des données d'ultrasons et 71 bovins ont été utilisés pour la validation de ces modèles (Hassen *et al.*, 2001). Plusieurs paramètres statistiques sont utilisés dans l'appréciation de la qualité de la calibration et de la validation des modèles de prédiction.

Le coefficient de corrélation (R) mesure le degré de liaison entre la variable dépendante et la variable indépendante. Houghton et Turlington (1992) décrivent trois facteurs qui limitent l'utilisation du coefficient de corrélation pour estimer la précision des mesures d'ultrasons :

1. La variation de la population influence le coefficient de corrélation (si la variation de la caractéristique mesurée est très importante au sein d'une population, le coefficient de corrélation est très élevé ; par contre, une population peu variable entraîne une faible corrélation) ;
2. Le coefficient de corrélation ne reflète pas des biais entre deux mesures (les mesures peuvent surestimer ou sous-estimer les caractéristiques de la carcasse) ;
3. Les coefficients de corrélation ne sont pas faciles à comprendre par les producteurs ou les utilisateurs.

La qualité de la précision d'une équation de régression dépend de la valeur du coefficient de détermination (R²).

Plus le R² tend vers 1, plus la qualité de la prédiction est bonne. D'autres valeurs statistiques sont aussi utilisées pour estimer la précision :

1. L'écart quadratique moyen des erreurs (*RMSE*) décrit par Herring et collaborateurs (1994) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (U - C)^2}{n}}$$

Où n est le nombre d'observations, U est la valeur de la mesure à l'ultrason, C est la valeur de la mesure de la carcasse. Le *RMSE* est la valeur statistique qui donne le mieux le degré de précision (*accuracy*). Selon les réglementations européennes, l'autorisation des modèles de prédiction de la TVM est subordonnée à la condition que le *RMSE* soit inférieur à 2,5 (Règlement N°2967/85 de la Commission Européenne). Un bon modèle aura un *RMSE* de 2,0, alors qu'un modèle peu précis sera plus proche de 2,5 ;

2. Le biais est la moyenne de l'erreur pour chaque modèle et donne des indications sur la direction et l'importance des erreurs :

$$Biais = \frac{\sum (U - C)}{n}$$

Le biais indique si le modèle surestime ou sous-estime la prédiction. Il indique également la moyenne de l'erreur systématique présente pour chaque modèle ;

3. L'erreur standard de prédiction (*SEP*) est utilisée dans la validation du modèle (Herring *et al.*, 1998 ; Hassen *et al.*, 2001) suivant la formule :

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (U - C - Biais)^2}{n - 1}}$$

Cette valeur statistique est également utilisée pour évaluer l'opérateur et le technicien dans l'interprétation des images échographiques. *SEP* est similaire à *RMSE*, mais, *SEP* corrige le biais de chaque technicien.

Les performances d'un opérateur de Pie-Medical certifié pour la mesure du gras dorsal sont inférieures ou égales à 2,46 mm pour le *SEP* et

-2,26 mm pour le biais ; pour la surface du muscle *longissimus dorsi*, ces mesures sont de 7,44 cm² et -1,57 cm², respectivement pour le SEP et le biais (Gresham, 2001).

Prédiction de la composition de la carcasse

Les coefficients de corrélation entre les mesures corporelles obtenues par des appareils à ultrasons et les mesures correspondantes mesurées directement sur la carcasse (Tableau I) varient de 0,19 à 0,93 pour l'épaisseur du lard dorsal, de 0,29 à 0,55 pour l'épaisseur du muscle *longissimus dorsi* et de 0,27 à 0,93 pour la surface du muscle *longissimus dorsi*. Ces mesures sont utilisées pour prédire la TVM (Miller, 1996). Les résultats de la prédiction de la TVM sont donnés au tableau II. Le coefficient de détermination R² varie selon les auteurs de 0,06 à 0,58 lorsque la surface du muscle *longissimus dorsi* est utilisée seule dans l'équation de prédiction. La plus grande précision (R² = 0,58) atteinte par Gillis et collaborateurs (1972) pourrait être expliquée par la grande variation du poids vif observée dans l'expérience de cet auteur. Selon Smith et collaborateurs (1992) les faibles valeurs de R² pourraient être dues au fait que : le lard dorsal croît presque linéairement avec le poids vif alors que l'évolution de la surface musculaire atteint quasiment un plateau aux environs de 90kg. Ainsi, lorsque la TVM est estimée à partir de la surface musculaire seule, elle peut présenter des valeurs similaires à 90 et à 120 kg poids vif. En utilisant l'épaisseur du lard dorsal, la précision augmente de 0,22 à 0,88%. Le dépôt progressif du gras dorsal diminue en effet indirectement le pourcentage de viande maigre. La faible précision de la prédiction de la TVM sur base de la surface musculaire pourrait être due à la variance relative de la surface musculaire qui est égale à la moitié de celle du lard dorsal (Moeller et Christian, 1998). L'étendue de la précision de la TVM en utilisant le lard dorsal pourrait être expliquée par le nombre de sites utilisés pour la mesure de l'épaisseur du lard dorsal.

En utilisant un seul paramètre, la qualité de la prédiction de la TVM est généralement faible. Si plusieurs paramètres sont introduits dans le modèle de l'équation de prédiction, la

Tableau I : Corrélations entre les caractéristiques corporelles mesurées par ultrasonographie et celles correspondantes à la carcasse en fonction des sites de mesures chez le porc (revue de la littérature)

Sources	Appareils	Localisation	Coefficients de corrélation (R)
Lopes <i>et al.</i> , 1987	Technicare 210 DX	ELD de la 10ème côte	0,80 à 0,89
		ELD de la dernière côte	0,75 à 0,89
		SML de la dernière côte	0,27 à 0,70
Forrest <i>et al.</i> , 1989	Technicare 210 DX	ELD de la première côte	0,54
		ELD de la dernière côte	0,85
		ELD dernière vertèbre lombaire	0,85
		ELD de la 10ème côte	0,71
		SML	0,65 à 0,68
McLaren <i>et al.</i> , 1989	Technicare 210 DX	ELD de la 10ème côte	0,55
		ELD de la dernière côte	0,55
		SML de la dernière côte	0,61
Turlington, 1990	Technicare 210 DX	ELD de la première côte	0,74 à 0,90
		ELD de la dernière côte	0,83
		ELD dernière vertèbre lombaire	0,90
		ELD de la 10ème côte	0,88 à 0,93
		SML	0,91 à 0,93
McLaren <i>et al.</i> , 1991	Technicare 210 DX	ELD de la dernière côte	0,19 à 0,85
		SML de la dernière côte	0,35 à 0,73
Smith <i>et al.</i> , 1992	Aloka 210 DX	ELD de la 10ème côte	0,91
		ELD de la dernière côte	0,63
		SML	0,53
Gresham <i>et al.</i> , 1992	General Electric dataline	ELD de la première côte	0,32
		ELD de la dernière côte	0,88
		ELD dernière vertèbre lombaire	0,71
Cisneros <i>et al.</i> , 1996	Aloka 210 DX	PML de la dernière côte	0,29
		ELD de la 10ème côte	0,60 à 0,72
		PML de la 10ème côte	0,46 à 0,53
		ELD de la dernière côte	0,80 à 0,86
		PML de la dernière côte	0,35 à 0,55
		SML de la dernière côte	0,46
Moeller et Christian., 1998	Aloka 500V	ELD de la 10ème côte	0,69 à 0,82
		SML de la 10ème côte	0,57 à 0,68

ELD: épaisseur du lard dorsal

PML: profondeur du muscle *longissimus dorsi*

SML: surface du muscle *longissimus dorsi*

Tableau II : Coefficients de détermination (R²) et déviation standard résiduelle (R.S.D.) des équations de prédiction du pourcentage de viande maigre chez le porc (revue de la littérature)

Sources	N	Poids vifs (kg)	Variables indépendantes	R ²	R.S.D.
Gillis <i>et al.</i> (1972)	59	90,8	ELD	0,46 - 0,48	-
	59	90,8	SML	0,58	-
Sather <i>et al.</i> (1987)	54	100	ELD	0,56 - 0,61	1,78 - 1,66
	55	110	ELD	0,62 - 0,65	1,73 - 1,66
Forrest <i>et al.</i> (1989)	208	80 - 149	ELD	0,38 - 0,59	-
	208	80 - 149	SML	0,12	-
	208	80 - 149	PV + ELD + SML	0,63	2,81
Sather <i>et al.</i> (1991)	226	85 - 114	ELD + PELD	0,41 - 0,53	1,97 - 1,75
	226	85 - 114	ELD + SML	0,59 - 0,64	1,64 - 1,52
Smith <i>et al.</i> (1992)	54	91 - 118	ELD	0,26 - 0,36	-
	54	91 - 118	SML	0,06	-
Sather <i>et al.</i> (1996)	389	90 - 100	S + PV + ELD	0,66	2,57
	389	90 - 100	S + PV + ELD + SML	0,66	2,58
Cisneros <i>et al.</i> (1996)	80	108 - 148	ELD + SML	0,78	2,07
	80	108 - 148	ELD + PML	0,75	2,17

N : nombre d'animaux

ELD : épaisseur du lard dorsal

PML : profondeur du muscle *longissimus dorsi*

SML : surface du muscle *longissimus dorsi*

PV : poids vif

S : Sexe

valeur du R^2 augmente pour atteindre 0,59 à 0,78. Ces valeurs correspondent au niveau de précision approuvé par l'Union Européenne (0,64) pour la validation des équations de prédiction des TVM (Szabo *et al.*, 1999). La variabilité de la qualité de la précision est largement influencée par des facteurs présentés ci-dessous.

Effets du type d'appareil

Différents appareils sont utilisés pour prédire la composition de la carcasse de porcs. Ces appareils ont globalement une précision (R^2) pouvant atteindre 0,60 à 0,78 (Tableau II). Toutefois, des différences significatives ont été observées entre appareils (Busk, 1986; Sather *et al.*, 1991; Stouffer, 1991; Herring *et al.*, 1995; Hulsegge *et al.*, 1997). Le choix d'un appareil à ultrasons doit tenir compte de sa précision et de son coût. D'autres facteurs comme la répétabilité ou les applications potentielles peuvent également intervenir.

Effet de l'opérateur ou du technicien

Les variations de la corrélation entre les mesures sur la carcasse et celles qui ont été obtenues par ultrasons peuvent être dues à l'opérateur ou au technicien (McLaren *et al.*, 1991). Les différences de mesures entre les opérateurs pourraient être dues aux erreurs de localisation du site de mesures ou à l'interprétation des images. La formation et l'expérience de l'opérateur sont donc nécessaires pour améliorer la précision des mesures.

Effet du site de mesure

La corrélation entre les mesures par ultrasons et les mesures correspondantes réalisées sur la carcasse varie d'un site à l'autre. La dernière et la dixième vertèbre thoracique ont été reconnues pour leur plus grande précision. Selon certains auteurs, la dernière côte est le meilleur site de mesure dans la prédiction de la composition de la carcasse du porc (Diestre and Kempster, 1985; Busemann *et al.*, 1991; McLaren *et al.*, 1991; Smith *et al.*, 1992; Dourmad *et al.*, 2001). Pour d'autres, la 10^e côte présente la plus grande précision, comparativement aux autres sites (Lopes *et al.*, 1987; Forrest *et al.*, 1989; Gresham *et al.*, 1992; Moeller et Christian, 1998).

Quel que soit le site de mesures, il doit être clairement défini et facilement localisable pour limiter les variations liées au site de mesure (Sather *et al.*, 1986). Pour rappel, le tableau I résume les corrélations entre les mesures de l'ultrasonographie et celles correspondantes à la carcasse au niveau de plusieurs sites.

Effet du poids de l'animal

La corrélation entre les mesures du lard dorsal de la carcasse et celles obtenues par l'ultrasonographie est très faible pour des poids à l'abattage inférieurs à 53 kg, et s'élève au fur et mesure que le poids vif augmente (McLaren *et al.*, 1989). La corrélation entre la surface du muscle *longissimus dorsi* de la carcasse et celle mesurée par l'appareil à ultrasons sur le porc *in vivo* est faible et augmente légèrement avec la croissance pondérale (McLaren *et al.*, 1989, Smith *et al.*, 1992).

Autres facteurs

Au niveau d'un même site, la précision entre les mesures d'ultrasons et celles réalisées sur les carcasses de 8 races porcines diffère d'une race à l'autre (Moeller et Christian, 1998). La précision peut être également influencée par le sexe et d'autres facteurs de variation liés à l'animal lui-même.

Prédiction de la qualité de la viande

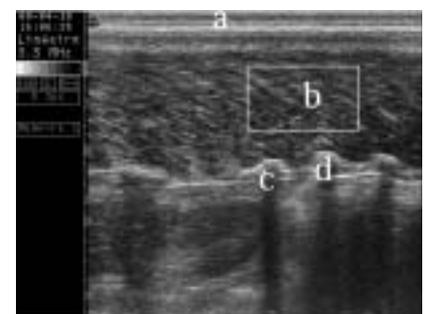
La prédiction de la qualité de la viande peut être obtenue à partir des images échographiques. La teneur en gras intramusculaire se détermine à partir du pourcentage de pixels blancs de l'image échographique du muscle *longissimus dorsi* (figure 4). Cette technique a été plus utilisée chez le bovin que chez le porc. Il existe une faible corrélation ($r < 0,24$) entre le degré de persillé ou la teneur en gras intramusculaire et le pourcentage de pixels blancs des images prises au même endroit (Sather *et al.*, 1996). Villé et collaborateurs (1997) ont prédit le pourcentage de gras intramusculaire à partir du pourcentage de pixels blancs des images échographiques avec des coefficients de détermination (R^2) variant de 0,312 à 0,435. Ces valeurs sont très faibles pour la validation de la prédiction du pourcentage de gras intramus-

culaire par l'ultrasonographie en temps réel. Plusieurs auteurs ont établi des équations de prédiction de la composition chimique (lipides, énergie, protéines, minéraux, matière sèche et eau) des animaux à partir du poids vif et de l'épaisseur du lard dorsal (Dourmad *et al.*, 2001). Des logiciels récents ont été développés aux Etats-Unis pour améliorer la prédiction *in vivo* du gras intramusculaire sur des animaux de production :

- le logiciel USOFT développé par Amin et collaborateurs (1997) à Iowa State University, Ames, USA ;
- le CPCE développé par Brethour et collaborateurs (1994) à Kansas State University, Oakley KS, USA ;
- la technique de Critical Vision, Inc., Atlanta, GA (CVIS) développée par Iowa State University (Herring *et al.*, 1998), Ames, USA ;
- la technique de Animal Ultrasound Services (AUS), Inc., Ithaca, NY, USA ;
- la technique de Classic Ultrasound Equipment, Tesquesta, FL (PIE), USA, développée par Gresham (1996).

Des études comparatives ont été réalisées entre ces différents logiciels sur la base de la prédiction du gras intramusculaire. Quatre logiciels d'analyse d'images (AUS, CPEC, CVIS et PIE) ont été utilisés par Herring et collaborateurs (1998) pour prédire le gras intramusculaire des bovins. Ces images ont été obtenues à partir de Aloka 500 V, Aloka 210 et Pie

Figure 4: Image longitudinale de la région dorso-lombaire permettant la prédiction du pourcentage de gras intramusculaire chez le porc



- a: couche de graisse sous-cutanée
- b: une portion de l'image qui est homogène et sans déficiences. Selon Amin et collaborateurs (1997), cette zone est appelée ROI (region of interest box area), et le pourcentage de pixels blancs contenu dans celle-ci peut être relié à la teneur en gras intramusculaire.
- c et d: respectivement la dernière et avant-dernière vertèbres thoraciques.

Medical 200. Le nombre d'opérateurs était de 4 pour CPEC, 2 pour AUS et 1 pour CVIS et 1 pour PIE. Les résultats de cette étude (corrélations, *RMSE*, Biais et *SEP*) ont montré que le CPCE et le CVIS sont les plus précis, vient ensuite le AUS et enfin le PIE. La corrélation (*R*) entre le pourcentage de gras intramusculaire mesuré par l'ultrasonographie (PGIM) et le pourcentage de gras intramusculaire réel de la carcasse (PGIMC) chez les bovins est de 0,60 à partir des analyses de CVIS (Izquierdo *et al.*, 1996). Cette corrélation peut s'améliorer (*R*=0,73) en utilisant le CPCE pour l'analyse des images (Brethour, 1994). Des résultats comparables (0,72 et 0,75) ont été observés par Herring et collaborateurs (1998). Récemment, la précision de la prédiction du pourcentage de gras intramusculaire a été améliorée chez PIE grâce à la nouvelle technologie appelée QUIP (*Quality Ultrasound Index Program*) (Gresham, 1996).

Pour le même logiciel, plusieurs modèles différents peuvent être développés en vue d'améliorer la précision. Hassen et collaborateurs (2001) ont utilisé le logiciel USOFT pour développer quatre méthodes de prédiction du gras intramusculaire. Le modèle I est basé sur une régression de PGIMC sur les paramètres de l'image. Le Modèle II est basé sur une simple régression après une transformation logarithmique de la valeur du PGIMC. Le Modèle III est basé sur la procédure de régression "ridge" et le Modèle IV sur la procédure des composantes principales. Les quatre procédures ont été utilisées pour développer séparément quatre modèles de prédiction à partir des images prises sur Aloka 500 V et Classic scanner 200. Le *R*² et la *RMSE* des modèles I, II, III et IV de Aloka 500 V étaient respectivement de 0,72 et 0,84%, 0,72 et 0,85%, 0,69 et 0,91% et 0,71 et 0,86%. Les valeurs correspondantes de *R*² et de *RMSE* pour Classic scanner 200 étaient de 0,69 et 0,87%; 0,70 et 0,85%; 0,64 et 0,94% et 0,65 et 0,91%. La comparaison de la précision de la prédiction du PGIM en utilisant Aloka 500 V et Classic scanner 200 n'a pas donné de différences significatives. La valeur du *SEP* est proche de 0,80% pour le gras intramusculaire grâce aux nouvelles technologies. Il est donc actuellement possible, même en dehors des condi-

tions de test en laboratoire, de prédire le pourcentage de gras intramusculaire avec une assez bonne précision.

Répétabilité des mesures par ultrasons

La répétabilité est estimée par la corrélation entre les valeurs successives d'un même caractère sur le même animal. Elle est calculée comme suit :

$$t = \frac{Var(a)}{Var(a) + Var(e)}$$

Où *t* est la corrélation intra-classe, *Var(a)* est la variance entre les animaux, *Var(e)* est la variance erreur. La variance totale est la somme de la variance entre les animaux et la variance erreur.

La variance de la corrélation intra-classe est calculée suivant la formule de Falconer et Mackay (1996) :

$$Var(t) = \frac{2 [1 + (n-1)t]^2 (1-t)^2}{n(n-1)(N-1)}$$

Où *Var(t)* est la variance de la corrélation intraclasse, *t* est la corrélation intraclasse, *n* = le nombre de répétitions et *N* le nombre d'animaux.

L'erreur standard de répétabilité (*ESR*) est utilisée pour mesurer l'aptitude de la technologie et ou de l'opérateur dans la répétabilité des mesures. La performance d'un opérateur certifié de Pie-Medical dans la mesure de la répétabilité du gras dorsal est de 1,45 mm pour le *ESR* et pour la surface du muscle *longissimus dorsi*, elle est de 5,95 cm² (Gresham, 2001).

Tout comme la précision, la répétabilité est aussi influencée par le type d'appareil utilisé. Elle varie chez le porc de 0,61 à 0,88 pour l'appareil Renco LM et de 0,84 à 0,99 pour l'appareil Combison 310 (Busemann *et al.*, 1991). L'effet de l'appareil, de l'opérateur ou du technicien sur la répétabilité des mesures par ultrasons a été également observé chez les bovins, les moutons et les porcs (McLaren *et al.*, 1991). Les faibles valeurs de la répétabilité reflètent l'importance de l'effet opérateur. Elles indiquent également l'importance de l'interprétation des images dans la détermination de l'interaction entre l'opérateur et la machine utilisée. La précision de l'estimation augmente en fonction du nombre de

mesures avec pour corollaire une diminution de l'erreur standard moyenne de la prédiction. L'erreur standard de la moyenne des mesures du pourcentage de gras intramusculaire est réduite de 50% lorsque le nombre d'images par animal passe de 1 à 4 (Hassen *et al.*, 1999). Toutefois, la répétabilité des mesures ne peut pas compenser les erreurs liées au technicien ou à l'opérateur.

AMELIORATION DES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES

L'ultrasonographie peut être appliquée dans les études visant à optimiser les techniques d'engraissement des animaux. Un modèle de prédiction de la durée de l'engraissement a été développé chez le porc (Courchaine *et al.*, 1996). De même, McLaren et collaborateurs (1989) ont prédit le poids à partir duquel les porcs pourront être abattus en fonction de la durée d'engraissement. Dans cette étude, 110 mâles castrés et femelles ont été scannés deux fois par mois de l'âge de 42 jours jusqu'à l'abattage. Le gain quotidien de tissu maigre a été calculé et des régressions multiples ont été utilisées pour évaluer le degré de prédiction du poids à partir des données recueillies par échographie. Il ressort de cette étude que ces données sont utiles pour la détermination précoce du poids d'abattage.

L'ultrasonographie est aussi utilisée dans la mesure de la qualité des produits. Au sein de l'Union Européenne, la valeur de la carcasse du porc est fonction de sa TVM. Cette teneur est estimée à partir d'une équation de régression incluant l'épaisseur du lard dorsal, l'épaisseur et la surface du muscle *longissimus dorsi* mesurés en des endroits précis. Plusieurs équations de régression ont été développées pour prédire la composition de la carcasse de porcs (Gresham *et al.*, 1992; Sather *et al.*, 1996). Les appareils à ultrasons en mode B présentent des images dont la texture est en relation étroite avec l'aspect marbré ou persillé des viandes (Park, 1994; Brethour, 1992; Brethour, 1994; Gresham, 2000). De telles mesures ont également été utilisées pour développer un modèle de prédiction du gras intramusculaire et de l'épaisseur du gras dorsal chez les bovins en engraissement (Brethour, 2000).

L'ultrasonographie est par ailleurs utilisée dans l'amélioration génétique des animaux de production. Lo et collaborateurs (1992) ont estimé l'héritabilité et les corrélations génétiques entre les mesures par ultrasons en temps réel de l'épaisseur du lard dorsal (UELD) et de la surface du muscle *longissimus dorsi* (USML) et les caractéristiques de la carcasse, notamment l'épaisseur du lard dorsal (CELD) et la surface du muscle *longissimus dorsi* (CSML) chez le Landrace et le Duroc. Il apparaît que les héritabilités estimées sont modérément élevées ou élevées pour UELD, USML, CELD, CSML et le gras intramusculaire. Les corrélations génétiques entre les mesures de UELD et CELD d'une part et entre USML et CSML d'autre part, indiquent que la sélection basée sur les données obtenues par ultrasons peuvent effectivement améliorer les caractéristiques de la carcasse. La corrélation génétique entre le gras intramusculaire et l'épaisseur du lard dorsal est très faible et montre que la sélection sur l'augmentation du gras intramusculaire peut être réalisée sans une augmentation du lard dorsal (Lo *et al.*, 1992 ; Gresham, 2000).

En Belgique, la Fédération belge des éleveurs de porcs utilise un appareil à ultrasons en mode A (Piglog 105) pour mesurer l'épaisseur du lard dorsal, l'épaisseur du muscle et la teneur en viande maigre dans la plupart des exploitations porcines de la Flandre et de la Wallonie dans le cadre du programme d'amélioration génétique des porcs (Fédération belge des éleveurs de porcs, 2000).

En France, les Chambres d'Agriculture de Bretagne ont utilisé des appareils à ultrasons en mode A pour étudier les performances de productivité numérique chez la truie à partir de l'épaisseur du lard dorsal

(Landrain *et al.*, 1998). Les résultats de cette étude ont montré que l'épaisseur du lard dorsal des truies issues des meilleurs élevages est inférieure à celle des élevages aux performances moyennes : 20,8 contre 23,1 mm à l'entrée de la maternité et 17,5 contre 18,8 mm au sevrage. La consommation totale d'aliment pendant la lactation est cependant supérieure d'environ 30 kg dans les élevages plus performants. La prolificité diminue en moyenne de 0,5 porcelets, lorsque l'écart de l'épaisseur du lard dorsal passe de 4 à 5 mm au cours du cycle (Dourmad *et al.*, 2001). L'intervalle sevrage-saillie fécondante passe de 12,8 jours dans les élevages où l'épaisseur du lard au moment du sevrage est inférieure à 12mm à 7,5 jours dans les élevages où elle est supérieure à 14 mm, la prolificité passant de 11,7 à 12,2 et le nombre de portées par truie reformée de 4,3 à 6,9.

CONCLUSION

La technique par ultrasons est utilisée dans l'évaluation de la composition de la carcasse du porc depuis les années 50. Son développement a donné lieu à de nombreuses applications permettant l'optimisation des techniques d'engraissement des animaux, la prédiction de la teneur en viande maigre des carcasses, de la teneur en gras intramusculaire de la viande, l'amélioration génétique et l'amélioration des performances de la productivité numérique des truies. De manière générale, les mesures par ultrasons sont précises et répétables. Elles peuvent néanmoins être influencées par de nombreux facteurs : le type d'appareil, l'opérateur, le site de mesure, le nombre de mesures, etc. Il est dès lors, recommandé de réaliser les mesures avec le même appareil, au niveau du même site et par le même

opérateur tout en répétant les mesures pour limiter les variations liées à l'environnement. De nombreux logiciels et modèles d'analyse d'images ont été développés ; d'autres sont à l'étude dans plusieurs laboratoires afin d'améliorer encore la prédiction *in vivo* de la qualité de la viande. L'utilisation de la technique par ultrasons en production porcine permet en outre, de sélectionner plus rapidement des animaux d'élevage en fonction des critères de qualité de la carcasse et de la viande sans qu'il soit nécessaire de les abattre ou d'attendre les résultats de mesures effectuées sur leur descendance.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient J-L. Hornick, F. Farnir, C. Michaux, A. Clinquart et le Commissariat Général aux Relations Internationales de la Communauté Wallonie - Bruxelles pour leur contribution.

SUMMARY

Evaluation of carcass composition and meat quality by ultrasonography in pig

Several technologies are used for the prediction of pork carcass composition *in vivo*. Among these technologies, the ultrasound is the most currently used today. This paper describes the various fields of ultrasound technology application in animal production. The accuracy and the repeatability of ultrasound measurements and their various factors of variation are approached. Several packages for prediction of intramuscular fat percentage from ultrasound image are presented.

BIBLIOGRAPHIE

- AMIN V., WILSON D.E., ROUSSE G., USOFT H. An ultrasound image analysis software for beef quality research. Beef Research Report, A. S. Leaflet R1437, Iowa State Univ., Ames, 1997, 41-47.
- BRETHOUR J.R. Estimating marbling score in live cattle from ultrasound images using pattern recognition and neural network procedures. *J. Anim. Sci.*, 1994, **72**, 1425-1432.
- BRETHOUR J.R. The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat of cattle. *J. Anim. Sci.*, 1992, **70**, 1039-1044.
- BRETHOUR J.R. Using serial ultrasound to generate models of marbling and backfat thickness changes in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 2000, **78**, 2055-2061.
- BRONDUM J., EGEBO M., AGERSKOW C., BUSK H. On-line pork carcass grading with the autofom ultrasound system. *J. Anim. Sci.*, 1998, **76**, 1859-1868.
- BUSEMANN V.E., KRIETER J., ERNST E. Möglichkeiten der schlachtkörperbewertung am lebenden schwein mit hilfe von ultraschallmessungen. *Züchtungskunde*, 1991, **63**, 375-384.
- BUSK H. Measure carcass quality on live pigs. *World Rev. Anim. Prod.*, 1986, **22**, 35-38.
- BUSK H., OLESEN E. Determination of percent meat in pig carcass with the autofom equipment. In Proc.47th Annu. Mtg. Eur. Assoc. Anim. Prod., August 25-29, Lillehammer, Norway. 1996, 268-276.
- CISNEROS F., ELLIS M., MILLER K.D., NOVAKOFSKI J., WILSON E.R., MCKEITH F.K. Comparison of transverse and longitudinal real-time ultrasound scans for prediction of lean cut yields and fat-free lean content in live pigs. *J. Anim. Sci.*, 1996, **74**, 2566-2576.
- COURCHAINE J.K., AZAIN M. J., JONES R.D., GLAZE, T.M. Use of Real-Time ultrasound in the early finishing phase to predict carcass composition at slaughter. http://www.ads.uga.edu/annrpt/1996/96_255.htm, consulté le 10/04/00.
- DAUMAS G., DHORNE T. Teneur en viande maigre des carcasses de porc. Evaluation et estimation. In : Institut national de la recherche agronomique (France). Institut technique du porc, 29^e journées de la recherche porcine en France. Institut technique du porc: Paris, 1997, 411-418.
- DIESTRE A.S., KEMPSTER A.J. The estimation of pig carcass composition from different measurements with special reference to classification and grading. *Anim. Prod.* 1985, **41**, 383.
- DOURMAD J.Y., ETIENNE M., NOBLET J. Mesurer l'épaisseur de lard dorsal des truies pour définir leurs programmes alimentaires. *Prod. Anim.*, 2001, **14**, 41-50.
- FALCONER D. S., MACKAY T. F. C. Introduction to quantitative genetic. 4th edition. Longman Group: Harlow, 1996, 464 p.
- FÉDÉRATION BELGE DES ÉLEVEURS DE PORC. Rapport annuel - Stations de contrôle. 2000, Scheldewindeke, 34p.
- FORREST J.C., KUEI C.H., ORCUTT M.W., SCHINCKEL A.P., STOUFFER J.R., JUDGE M.D. A review of potential new methods of on-line pork carcass evaluation. *J. Anim. Sci.*, 1989, **67**, 2164-2170.
- FORTIN A., SIM D.W., TALBOT S. Ultrasonic measurements of backfat thickness at different locations and position of the warm pork carcass and comparisons of ruler and ultrasonic procedures. *Can. J. Anim. Sci.*, 1980, **60**, 635-641.
- GILLIS W.A., BOWMANN G.H., GREIGER H., RAHNEFELD G.W. A comparison of ultrasonic with the ruler probe for the prediction of carcass yield in swine. *Can. J. Anim. Sci.*, 1972, **52**, 637-644.
- GRESHAM J. D. Introduction to characterization of live beef muscle tissue by use of the Pie 200 scanner quality indexing program : An automated system for estimating quality grade of beef animals. The ultrasound Review. Classic Ultrasound Equipment : Tequesta, 1996, 10 p.
- GRESHAM J. D. Technique of predicting and evaluating carcass composition in food animals by use of real-time ultrasonography. University of Tennessee-Martin, Knoxville, 2001, 13 p.
- GRESHAM J. D. Ultrasonography as an objective tool for evaluating live beef cattle : Using the Pie Scanner 200 Ultrasound Scanner. The ultrasound Review. Classic Ultrasound Equipment, Tequesta, 1995, 11 p.
- GRESHAM J.D. Study guide. Real-time ultrasound training conference beef cattle applications. University of Tennessee-Martin, Knoxville, 2000, 24 p.
- GRESHAM J.D., MCPEAKE, S.R., BERNARD, J.K., HENDERSON, H.H. Commercial adaptation of ultrasonography to predict pork carcass composition from live animal and carcass measurements. *J. Anim. Sci.*, 1992, **70**, 631-639.
- HASSEN A., WILSON D.E; AMIN V.R., ROUSSE G.H. Repeatability of Ultrasound-Predicted Percentage of Intramuscular Fat in Feedlot Cattle. *J. Anim. Sci.* 1999, **77**, 1335-1340.
- HASSEN A., WILSON D.E; AMIN V.R., ROUSSE G.H., HAYS C.L. Predicting percentage of intramuscular fat using two types of real-time ultrasound equipment. *J. Anim. Sci.*, 2001, **79**, 11-18.
- HEDRICK H. B. Method of estimating live animal and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 1983, **57**, 1316-1327.
- HEDRICK H. B., MEYER W.E., ALEXANDER M.A., LASLEY J.F., COMFOR J.E., DYER A.J., NAUMANN H.D. Indice of meatiness in beef. *Bull. Agric. Exp. Stat., Univ. Missouri*, 1963, 820-829.
- HERRING W.O., BERTRAND J.K., BENYSHEK L.L. Importance of real-time ultrasound use for live animal evaluation. Annual Report, 1995. http://www.ads.uga.edu/annrpt/1995/95_102.htm, Consulté le 10/07/00

- HERRING W.O., KRIESE L. A., BERTRAND J.K., CROUCH J. Comparison of four real-time ultrasound systems that predict intramuscular fat in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 1998, **76**, 364-370.
- HERRING W.O., MILLER D.C., BERTRAND J. K., BENYSHEK L. L. Evaluation of machine, technician, and interpreter effect on ultrasonic measures of back fat and longissimus muscle area in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 1994, **72**, 2216-2226.
- HOUGHTON P.L., TURLINGTON L.M. Application of ultrasound for feeding and finishing animals : review. *J. Anim. Sci.*, 1992, **70**, 930-941.
- HULSEGGE B. MERKUS G.S.M. A comparison of the optical probe HGP and ultrasonic devices Renco and Pie Medical for estimation of the lean meat proportion in pig carcasses. *Anim. Sci.*, 1997, **64**, 379-383.
- HULSEGGE B., PATEMAN G., MERKUS G.S.M., WALSTRA P. Choice of probing site for classification of live pigs using ultrasonic measurements. *Anim. Sci.*, 1999, **68**, 641-645.
- ISLER G.A., SWIGER L.A. Ultrasonic prediction of lean cut percent in swine. *J. Anim. Sci.*, 1968, **27**, 377-385.
- IZQUIERDO, M. V., AMIN V., WILSON D.E., ROUSE G. H. Models to predict intramuscular fat percentage in live beef animals using real-time ultrasound and image parameters : Report on data from 1991-1994. Beef Research Report. Iowa State University, Ames, 1996, 3-6.
- LANDRAIN B., CALVAR C., CORLOUER A., PABOEUF F., ROY H. Epaisseur de lard des truies chez les meilleurs éleveurs. Edition EDE de Bretagne - Chambres d'Agriculture de Bretagne, 1998, 62 p.
- LO L.L., MCLAREN D.G., MCKEITH, F.K; FERNANDO R.L., NOVAKOFSKI J. Genetic analyse of growth, real-time ultrasound carcass, and pork quality traits in Duroc and Landrace Pigs : I. Breed effects. *J. Anim. Sci.* 1992, **70**, 2373-2386.
- LOPES D.M., WILLIAMSON S.A., JACOBS J.A., THOMAS M.W. Estimation of fat depth and longissimus muscle area in swine by the use of real-time ultrasonography. *Proc. Western Sect., Am. Soc. Anim. Sci.*, 1987, **38**, 155-162.
- MARINAT-BOTTE F., RENAUD G., MADEC F., COSTIQUO P., TERQUI M. Echographie et reproduction chez la truie : Bases et applications pratiques. Institut national de la recherche agronomique : Paris, 1998, 103 p.
- MCLAREN D.G., NOVAKOFSKI J., PARRETT D.F., LO L.L., SINGH S.D., NEUMAN K. R., MCKEITH F.K. A study of operator effects on ultrasonic measures of fat depth and longissimus muscle area in cattle, sheep and pigs. *J. Anim. Sci.* 1991, **69**, 54-66.
- MCLAREN D.G., MCKEITH F.K., NOVAKOFSKI J. Predictions of carcass characteristics and market weight from serial real-time ultrasound measures of back fat and loin area in the growing pig. *J. Anim. Sci.*, 1989, **67**, 1657-1667.
- MEYER W.E., MOODY W.G. HUNZIGER G.D., RINGKOB T.P., ALEXANDER M.A., HEDRICK B. Application of ultrasonic technics in live animal and carcass evaluation. *Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull.*, 1966, 905.
- MILLER D.C. Accuracy and application of real-time ultrasound for evaluation of carcasses merit in live animals. In: Animal husbandry newsletter, Department of Animal Science, North Carolina State University. Mai 1996, 25-37.
- MINISTERE DES CLASSES MOYENNES ET DE L'AGRICULTURE. Arrêté ministériel relatif au classement des carcasses de porcs. Moniteur belge du 19 juin 1999, http://www.just.fgov.be/cgi/article_bod, consulté le 02/06/00.
- MITCHELL A. D., CONWAY J.M. Body composition analysis of pigs by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). *J. Anim. Sci.* 1993, **71**, 146.
- MOELLER S.J. et CHRISTIAN L.L. Evaluation of the accuracy of real-time ultrasonic measurements of backfat and loin muscle area in swine using multiple statistical analysis procedures. *J. Anim. Sci.*, 1998, **76**, 2503-2514.
- PARK B., WHITTAKER A.D., MILLER R.K., BRAY D.E. Measuring intramuscular fat in beef with ultrasonic frequency analysis. *J. Anim. Sci.*, 1994, **72**, 117-125.
- POMAR C., RIVERS J. Evaluation in vivo de la composition corporelle des porcs à l'engrais. Agriculture et agroalimentaire Canada. http://res.agr.ca/swinenet/porcxpert/pub/1996_genet_cpaq/index.html, Consulté le 19/04/99.
- RANTANEN N.W., EWING R.L. Principles of ultrasound application in animals. *Vet. Radiol.*, 1981, **22**, 196-201.
- SATHER A. P., BAILEY D.R.C., JONES S.D.M. Real-Time ultrasound image analysis for the estimation of carcass yield and pork quality. *Can. J. Anim. Sci.* 1996, **76**, 55-62.
- SATHER A. P., NEWMAN J. A., JONES S. D. M., TONG A. K. W., ZAWADSKI S. M., COLPITTS G. The prediction of pork carcass composition using live animal echographic measurements from the Krautkramer USK7, Ithaca Scanoprobe 731C and Aloka SSD-210DXII Echo Camera. *Can. J. Anim. Sci.* 1991, **71** : 1001-1009.
- SATHER A.P., TONG A. K.W., HARBISON D.S. A study of ultrasonic probing techniques for swine. I. The effect of operator, machine and site. *Can. J. Anim. Sci.*, 1986, **66**, 591-598.
- SMITH B.S., JONES W.R., HOUG J.D., HUFFMAN D.L., MIKEL W.B., MULVANEY D. R. Prediction of Carcass Characteristics by Real-Time Ultrasound in Barrow and Gilts Slaughtered at Three Weights. *J. Anim. Sci.*, 1992, **70**, 2304-2308.
- STOUFFER J. R. Using ultrasound to objectively evaluate composition and quality of livestock. In 21st Century concepts important to meat-animal evaluation, Cornell University: Ithaca, 1991, 49-54.
- STOUFFER J.R., WALLENTINE M.V., WELLINGTON G.H., DIEKMANN A. Development and application of ultrasonic methods for measuring fat thickness and ribeye area in cattle and hogs. *J. Anim. Sci.*, 1961, **20**, 759-767.
- SVENDSEN O.L., HAARBO J., HASSAGER C., CHRISTIANSE C. Accuracy of measurements of body composition by dual-energy absorptiometry in vivo. *Am. J. Clin.*

- Nutr.*, 1993, **57**, 605-609.
- SZABO CS., BABINSZKY L., VERSTEGEN M.W.A., VANGEN O., JANSMANN A.J. M., KANIS E. The application of digital imaging techniques in the in vivo estimation of the body composition of pigs: review. *Livest. Prod. Sci.*, 1999, **60**, 1-11.
- TURLINGTON L.M. Live animal evaluation of swine and sheep using ultrasonics. (M.S. Thesis). Kansas State University : Manhattan, 1990, 211 p.
- VILLE H., MAES G., GEERS R., GOEDSEELS V., PAR-DUYNS G., VAN BAELE J., JANSSENS S., DEKEMPE-NEER P. A technique for muscle biopsy sampling on pigs to assess intramuscular fat. *Meat Sci.*, 1992, **32**, 123-129.
- VILLE H., ROMBOUTS G., VAN HECKE P., PERR-MANS S, MAES G., SPINCEMAILLE G., GEERS R. An Evaluation of Ultrasound and Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy to Measure In Vivo Intramuscular Fat Content of Longissimus Muscle of Pigs. *J. Anim. Sci.* 1997, **75**, 2942-2949.
- WILD J. J. The use of ultrasonic pulses for the measurement of biological tissue and the detection of tissue density changes. *Surgery*, 1950, **27**, 183-189.
- WILD J.J., NEAL D. Use of high frequency ultrasonic waves for detecting changes of textures in living tissue. *Lancet*, 1951, **260**, 655-661.