

# Utilisation de la technologie ultrasons pour la prédiction *in vivo* du pourcentage de gras intramusculaire de la longe et perspectives d'utilisation en amélioration génétique porcine

Laurence MAIGNEL (1), Jean-Paul DAIGLE (2), Brian SULLIVAN (1)

(1) Centre Canadien pour l'Amélioration des Porcs, Ferme Centrale Expérimentale, Édifice 54,  
Ottawa (Ontario) K1A0C6, Canada

(2) Centre de Développement du Porc du Québec, 2795, boul. Laurier, bureau 340  
Québec (Québec) G1V 4M7, Canada

laurence@ccsi.ca

Avec la collaboration technique de S. Wyss (1)

## Utilisation de la technologie ultrasons pour la prédiction *in vivo* du pourcentage de gras intramusculaire de la longe et perspectives d'utilisation en amélioration génétique porcine

L'utilisation de l'échographie pour prédire la qualité de la viande sur l'animal vivant serait une méthode rapide, non invasive et peu coûteuse présentant de multiples avantages pour la sélection porcine. Afin de tester un nouvel équipement disponible, un groupe de 1000 animaux de race Duroc a fait l'objet de mesures aux ultrasons suivies d'analyses d'images afin d'estimer le pourcentage de gras intramusculaire dans le muscle long dorsal, à l'aide du logiciel Biosoft Swine Toolbox. Parmi eux, 150 animaux ont été abattus et ont fait l'objet de notes visuelles de persillage et d'une mesure chimique du pourcentage de gras intramusculaire dans le muscle long dorsal. Les corrélations entre la mesure *in vivo* et la note visuelle de persillage d'une part, et la mesure chimique d'autre part, étaient de 0,69 et 0,55 respectivement, dans cet échantillon d'animaux. L'erreur standard de prédiction pour la mesure chimique était de 0,71 %. L'héritabilité estimée du pourcentage de gras intramusculaire prédit *in vivo* était de 0,69, et une corrélation génétique modérément positive a été mise en évidence entre ce caractère et l'épaisseur de gras dorsal, ainsi qu'une corrélation négative significative avec l'épaisseur du muscle long dorsal. Ces résultats sont très encourageants quant à la possibilité d'utilisation des ultrasons pour prédire efficacement le pourcentage de gras intramusculaire et sélectionner sur ce caractère.

## Using ultrasound technology to predict intramuscular fat of loin in live pigs and perspectives on the use of ultrasounds in pig genetic improvement

The use of ultrasound technology to predict meat quality on live animals would be a quick, non-invasive and affordable method including numerous advantages for swine selection. To test new available equipment, a group of 1000 Duroc pigs were scanned using ultrasound technology and image analysis to estimate the intramuscular fat percentage in the *Longissimus dorsi* muscle using Biosoft Swine Toolbox software developed by Biotronics. Among these animals, 150 were slaughtered for a visual examination of marbling in loins and a chemical analysis of intramuscular fat percentage in the *Longissimus dorsi* muscle. The correlations between *in vivo* measures and visual scores for one part and chemical analysis were 0.69 and 0.55, respectively, in this sample. The standard error for the prediction of chemical analysis from *in vivo* measures was 0.71%. The estimated heritability of intramuscular fat predicted *in vivo* was 0.69 and a moderately positive correlation was observed between this trait and backfat thickness as well as a significant negative correlation with the thickness of the *Longissimus dorsi* muscle. These results are very encouraging with respect to the possibilities of using ultrasounds to efficiently predict the percentage of intramuscular fat and to select for this trait.

## INTRODUCTION

La sélection des porcs pour des carcasses plus maigres a été très efficace au cours des dernières décennies, cependant elle a sans doute influencé le taux de gras intramusculaire (GIM) en même temps que la proportion des tissus gras et maigres dans la carcasse. Le gras intramusculaire est un facteur reconnu comme influençant notablement les qualités gustatives de la viande de porc et la préférence visuelle des consommateurs (Fortin et al., 2004 ; Ngapo et al., 2007). Au Canada, près de la moitié des porcs produits sont exportés, dont une fraction vers le marché japonais, qui présente des exigences précises en matière de qualité de la carcasse et de la viande, en particulier des niveaux élevés de gras intramusculaire dans la longe. Les porcs commerciaux bénéficient des avantages conférés, de ce point de vue, par les verrats de race Duroc traditionnellement utilisés au Canada. Cependant il serait intéressant de pouvoir contrôler l'évolution du gras intramusculaire afin de mieux répondre aux besoins des marchés domestiques et internationaux.

Le pourcentage de gras intramusculaire est un caractère relativement héritable. Sa mesure requiert cependant l'abattage des animaux et son utilisation en sélection passe donc le plus souvent par le contrôle de collatéraux, en général en nombre limité pour des raisons logistiques et financières. La mesure du gras intramusculaire est généralement réalisée à l'aide de notations visuelles par des techniciens entraînés, ou par des mesures chimiques en laboratoire, ce qui en fait une méthode coûteuse et difficile à mettre en œuvre, comportant de multiples contraintes telles que le suivi individuel à l'abattoir, la prise d'échantillons sur des pièces nobles de la carcasse, la dépréciation de la carcasse, etc. . .

Le développement d'une méthode de mesure *in vivo* du gras intramusculaire suffisamment précise et pratique permettrait de mesurer potentiellement tous les candidats à la sélection sans nécessiter d'abattage. De telles technologies ont été développées et mises en application avec succès chez les bovins (Park et al., 1994 ; Wilson et al., 2001). Elles sont également en développement chez le porc depuis quelques années à l'université d'Iowa (Ragland et al., 2001 ; Newcom et al., 2002 ; Schwab et Baas, 2006). Cet article présente quelques résultats préliminaires d'un projet visant à tester une méthode de mesure et un logiciel d'analyse d'images développé par la compagnie Biotronics en Iowa. Cette étude a été réalisée en collaboration entre le Centre canadien pour l'amélioration des porcs (CCAP) et le Centre de développement du porc du Québec (CDPQ).

## 1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 1.1. Animaux

Dans cette étude, pour des raisons pratiques, il a été décidé de se concentrer sur la race Duroc, qui présente des taux moyens plus élevés et une certaine variabilité du pourcentage de gras intramusculaire, comparativement aux autres races disponibles au Canada. Les animaux mesurés dans le cadre du projet ont été scannés entre janvier et juin 2008 dans 16 élevages participant au programme canadien d'amélioration génétique des porcs, situés dans les provinces du Québec, de l'Ontario, de l'Alberta, de la Saskatchewan et sur l'Île du Prince Edward. Au total, 1000 porcs de race Duroc, issus de 88 verrats et 290 truies, ont été scan-

nés pour le pourcentage de gras intramusculaire, à un poids vif moyen de 111 kg. Parmi eux, 150 porcs (82 femelles, 31 castrats et 37 mâles), provenant d'un seul troupeau, ont été abattus au cours de 10 séries d'abattage, 3 à 4 jours après avoir été scannés.

### 1.2. Mesures *in vivo*

#### 1.2.1. Mesures aux ultrasons

La collecte des images nécessaires à la prédiction du pourcentage de gras intramusculaire a été réalisée par cinq techniciens accrédités pour la prise de mesures aux ultrasons, préalablement entraînés pour utiliser l'équipement, qui différait de celui habituellement utilisé pour la mesure de l'épaisseur de gras et de muscle. Les porcs ont été pesés puis scannés à l'aide d'un appareil Aloka 500 SSD et d'une sonde linéaire de 3,5 MHz et 12,5 cm munie d'un gel-pad, en utilisant de l'huile végétale comme couplant. De 8 à 10 images longitudinales ont été collectées sur chaque animal, à 7 cm de la ligne médiane, en gelant l'image à chaque fois, puis sauvegardées pour une analyse ultérieure. Idéalement, la zone à l'image devait couvrir la zone de la 10<sup>ème</sup> à la 13<sup>ème</sup> côte, et laisser voir l'extrémité du muscle Spinalis en avant de l'image, tel que montré sur la figure 1.

#### 1.2.2. Analyse des images

Les images sauvegardées par chaque technicien ont été centralisées au CDPQ pour y être analysées, à l'aide du logiciel Biosoft Swine Toolbox, par un seul opérateur préalablement entraîné à l'évaluation de la qualité des images (en matière de site de mesure et de contraste) et à l'utilisation du logiciel. Seules les images jugées de qualité suffisante ont été analysées, soit environ 80 % des images reçues. L'interprétation de chaque image a été réalisée en plaçant une fenêtre d'analyse mesurant 80x80 pixels ou 100x100 pixels (« Region of Interest ») entre les 10<sup>ème</sup> et 11<sup>ème</sup> côtes. L'analyse d'image a ensuite fait l'objet d'une validation par un expert de la compagnie Biotronics (Iowa) pour chaque animal. La prédiction *in vivo* du pourcentage de gras intramusculaire (GIMIV) a ensuite été fournie par le logiciel comme la moyenne des résultats des différentes images de bonne qualité collectées pour chaque porc. La méthode d'analyse a été décrite par Newcom et al. (2002).



**Figure 1 - Exemple d'image ultrasons de bonne qualité et emplacement de la ROI (« Region Of Interest ») dans laquelle l'analyse d'image est réalisée**

### 1.3. Mesures sur la carcasse

#### 1.3.1. Note visuelle de persillage

Les 10<sup>ème</sup>, 11<sup>ème</sup>, 12<sup>ème</sup>, et 13<sup>ème</sup> côtes ont été prélevées à l'abattoir au niveau de la longe droite, 24 heures après abattage. Une note visuelle de persillage (NPPC, 1999) a été attribuée à chacune des coupes par un technicien entraîné, selon une échelle de 1 (plus faible) à 10 (plus fort).

#### 1.3.2. Mesure chimique

Les 11<sup>ème</sup> et 12<sup>ème</sup> côtes de la longe droite ont été prélevées et envoyées au laboratoire du CRDA (Centre de Recherche et de Développement des Aliments, St Hyacinthe, Québec) pour y subir une analyse chimique du taux de lipides, selon la méthode décrite par Chandrasekar et al. (2001) (extraction par fluide supercritique).

### 1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide des procédures GLM et CORR du logiciel SAS (SAS/STAT, 2002-2003). L'erreur standard de prédiction (ESP) a été calculée selon la formule suivante :

$$ESP = \sqrt{\frac{\sum (GIMIV - GIMC - \text{biais})^2}{N - 1}}$$

où GIMIV est la valeur de gras intramusculaire prédite *in vivo*, GIMC est la mesure chimique de gras intramusculaire, et biais est la différence moyenne entre GIMIV et GIMC.

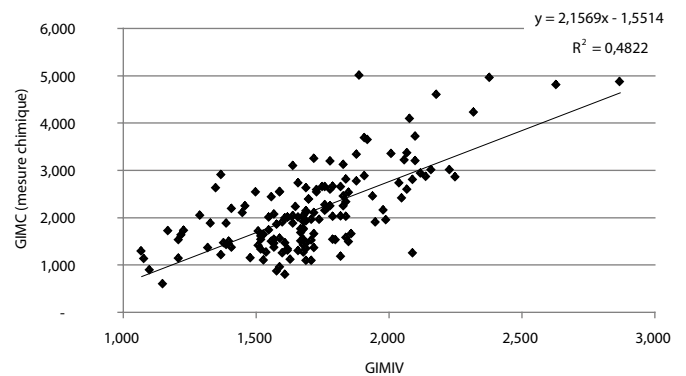
Les paramètres génétiques ont été estimés par la méthode du maximum de vraisemblance restreinte (REML), appliquée à un modèle animal multivariable. Les calculs ont été réalisés à l'aide de la version 5 du logiciel VCE (Kovac & Groeneveld, 2003).

## 2. RESULTATS

### 2.1. Précision de la prédiction *in vivo*

Le tableau 1 présente des statistiques générales concernant les animaux abattus et suivis à l'abattoir, composés de 82 femelles, 31 castrats et 37 mâles de race Duroc. L'âge moyen au sondage était de 149 jours, avec une variation de 127 à 172 jours. Le groupe de porcs se révèle relativement variable pour la mesure chimique du pourcentage de gras intramusculaire, avec une fourchette de 0,59 % à 5 %, cependant 84 % des animaux se situent entre 1 et 3 % (et près de 50 % entre 1 et 2 %). La mesure fournie par l'analyse d'image donne des valeurs en moyenne plus faibles que la mesure chimique, avec un biais moyen de -0,42 point.

En amélioration génétique, l'objectif est de pouvoir classer les animaux pour sélectionner les meilleurs, selon des critères suffisamment précis. Le chiffre fourni par le logiciel d'analyse d'images est biaisé par rapport au GIM réel, mais il peut cependant en être un bon prédicteur. La figure 2 présente la distribution conjointe de GIMIV et GIMC, et le tableau 3 présente les corrélations entre GIMIV, GIMC et la note moyenne NPPC.



**Figure 2** - Distribution conjointe du pourcentage de gras intramusculaire estimé *in vivo* (GIMIV) et du pourcentage de gras intramusculaire estimé par mesure chimique (GIMC).

**Tableau 1** - Analyse descriptive des animaux sondés pour le gras intramusculaire et abattus (n=150 animaux)

	Moyenne	Ecart type
Poids au sondage (kg)	111,1	8,6
GIMIV (%)	1,707	0,280
GIMC (%)	2,130	0,870
Note visuelle NPPC entre les 9 <sup>ème</sup> et 10 <sup>ème</sup> côtes (points)	2,282	0,678
Note visuelle NPPC entre les 10 <sup>ème</sup> et 11 <sup>ème</sup> côtes (points)	2,419	0,665
Note visuelle NPPC entre les 12 <sup>ème</sup> et 13 <sup>ème</sup> côtes (points)	2,539	0,644
Note visuelle NPPC entre les 13 <sup>ème</sup> et 14 <sup>ème</sup> côtes (points)	2,550	0,692
NPPCmoy	2,448	0,619
ELD (mm)	12,73	2,69
MUSC (mm)	62,52	4,48

GIMIV = pourcentage de gras intramusculaire prédit à partir de la mesure *in vivo*

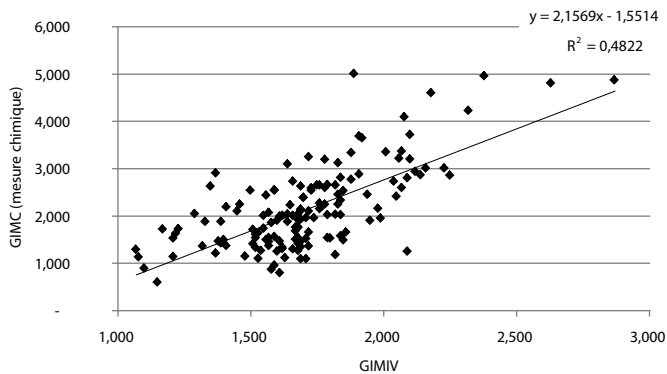
GIMC = pourcentage de gras intramusculaire (mesure chimique)

NPPCmoy = moyenne de 4 notes visuelles de persillage

ELD = épaisseur de gras dorsal mesurée à la 10<sup>ème</sup> côte

MUSC = épaisseur de muscle mesurée à la 10<sup>ème</sup> côte

L'erreur standard de prédiction (ESP) du gras intramusculaire (mesure chimique) par le gras intramusculaire prédit aux ultrasons est de 0,71 %. Les corrélations de Pearson et de Spearman entre GIMIV et GIMC sont plus élevées (0,694 et 0,620 respectivement) qu'entre GIMIV et la note moyenne NPPC.



**Figure 3** - Distribution conjointe du pourcentage de gras intramusculaire estimé *in vivo* (GIMIV) et de la note visuelle de persillage moyenne (cote NPPC)

Les corrélations de Pearson observées entre GIMIV et GIMC, d'une part, et entre GIMIV et NPPCmoy, d'autre part, sont relativement élevées. Les corrélations de rang sont légèrement plus faibles. La corrélation élevée entre GIMC et NPPCmoy (0,736) prouve que la note visuelle NPPC est un bon prédicteur de la mesure chimique, mais rappelle également que ces deux mesures ont probablement elles-mêmes des erreurs de mesure non négligeables.

**Tableau 2** - Corrélations de Pearson (au-dessus de la diagonale) et corrélations de rang de Spearman (au-dessous de la diagonale) entre le pourcentage de gras intramusculaire mesuré *in vivo* (GIMIV), la note de persillage NPPC moyenne (NPPCmoy), et la mesure chimique de gras intramusculaire (GIMC)

	GIMIV	GIMC	NPPCmoy
GIMIV	-	0,694	0,551
GIMC	0,620	-	0,736
NPPCmoy	0,469	0,673	-

## 2.2. Analyse de tous les porcs mesurés *in vivo*

Le tableau 3 présente les moyennes et écarts types pour le poids au sondage et le pourcentage de gras intramusculaire (tel que fourni par le logiciel Biosoft Swine Toolbox). Les 1000 ani-

maux mesurés étaient principalement des femelles et des mâles entiers. Les animaux ont également été sondés pour l'épaisseur de gras et de muscle (mais généralement pas le même jour que pour le gras intramusculaire), et leurs performances moyennes ajustées à 100 kg sont présentées.

**Tableau 3** - Analyse descriptive de tous les animaux sondés pour le gras intramusculaire (n=1000 animaux)

	Moyenne	Ecart type
Poids au sondage (kg)	102,1	14,1
GIMIV (%)	1,874	0,348
Age à 100kg (j)	143,2	11,7
Épaisseur de lard dorsal à 100 kg (mm)	10,91	1,80
Épaisseur de muscle à 100 (mm)	64,95	5,04

## 2.3. Effets du sexe et du poids au sondage sur le pourcentage de gras intramusculaire prédit *in vivo*

Une analyse de variance incluant le sexe, le poids au sondage et le groupe contemporain a montré que le sexe et le poids au sondage avaient un effet significatif au seuil de 0,1 % sur GIMIV. Le tableau 4 présente les moyennes ajustées de GIMIV par sexe. Les castrats, femelles et mâles ont des niveaux de GIMIV significativement différents, les castrats ayant le taux le plus élevé et les mâles entiers le taux le plus faible de gras intramusculaire.

**Tableau 4** - Moyennes des moindres carrés par sexe pour la mesure de gras intramusculaire *in vivo*

	Nombre d'observations	GIMIV	Erreur standard
Castrats	45	1,974a	0,032
Femelles	499	1,910b	0,013
Mâles	456	1,864c	0,015

Les moyennes affectées d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de 0,1 %.

L'effet du poids au sondage, considéré comme une covariable, s'est également révélé significatif (P=0,0084). Le coefficient de régression linéaire de GIMIV sur le poids vif est de 0,0019 ± 0,0007 % par kg.

## 2.4. Paramètres génétiques

À partir des données disponibles sur tous les animaux scannés pour l'épaisseur de gras dorsal et de muscle (entre les 11<sup>ème</sup> et 12<sup>ème</sup> côtes) au cours du premier semestre 2008 (5312 porcs

**Tableau 5** - Paramètres génétiques (héritabilités sur la diagonale, corrélations génétiques au-dessus, corrélations phénotypiques au-dessous) pour le gras intramusculaire prédit *in vivo* (GIMIV), l'âge et les épaisseurs de gras et de muscle ajustés à 100kg de poids vif

	GIMIV	ELD100	MUSC100	AGE100
GIMIV	0,69 ± 0,07	0,13 ± 0,11	-0,46 ± 0,11	-0,10 ± 0,19
ELD100	0,17	0,49 ± 0,04	0,37 ± 0,07	-0,27 ± 0,09
MUSC100	-0,14	0,18	0,38 ± 0,04	-0,14 ± 0,09
AGE100	0,05	-0,22	-0,08	0,28 ± 0,05

ELD100, MUSC100, AGE100 = épaisseur de gras dorsal, épaisseur de muscle et âge ajustés à 100kg de poids vif

contrôlés dans 44 élevages du Programme Canadien pour l'Amélioration Génétique des Porcs, issus de 206 verrats et 1072 truies), incluant les 1000 porcs ayant également des mesures de GIMIV, un calcul de paramètres génétiques a été réalisé afin d'avoir une première estimation de l'héritabilité du gras intramusculaire mesuré *in vivo*, et de ses corrélations avec les autres caractères déjà évalués dans le programme, tels que l'âge et les épaisseurs de gras et de muscle ajustés à 100kg de poids vif.

### 3. DISCUSSION

#### 3.1. Précision de la méthode de prédiction

L'échantillon d'animaux utilisés dans cette étude était assez réduit et relativement peu variable en terme de gras intramusculaire. Ces aspects influent fortement sur les critères de validation tels que la corrélation entre valeurs prédites et valeurs réelles. Il faut aussi tenir compte du fait que la mesure chimique a une certaine imprécision. La corrélation de 0,69 obtenue dans cette étude entre le GIM fourni par l'analyse d'images et le GIM déterminé par mesure chimique est dans la gamme haute des valeurs rapportées dans la littérature. Par exemple, Ragland et al. (2001) et Newcom et al. (2002), qui ont utilisé la même technologie en développement sur le porc, ont rapporté des corrélations de 0,57 et 0,60 respectivement. Les valeurs d'erreur standard de prédiction rapportées par ces deux mêmes auteurs étaient de 0,96 % et 0,80 % alors que la valeur rapportée ici est de 0,71 %. Ces observations tendent à démontrer que la technologie s'améliore au fil du temps et que le logiciel développé par Biotronics est de plus en plus performant. Cependant, il semble que l'algorithme pourrait encore être amélioré, notamment afin de minimiser le biais observé, à l'origine de la sous-estimation dans la prédiction du gras intramusculaire.

Les valeurs de corrélation et d'erreur standard de prédiction rapportées dans cette étude sont du même ordre que celles rapportées pour la même technologie utilisée chez le bœuf (Park et al., 1994 ; Wilson et al., 2001).

Des études complémentaires sont en cours pour évaluer l'impact de la quantité de collagène dans le muscle long dorsal sur l'estimation du GIM *in vivo*. En effet, il semblerait que le collagène contenu dans le muscle pourrait influencer la note visuelle NPPC mais aussi la mesure aux ultrasons.

#### 3.2. Paramètres génétiques

Les effets du sexe et du poids au sondage sur GIMIV sont cohérents en général avec la littérature (Bahelka et al., 2007 ; Correa et al., 2006). L'estimation de l'héritabilité du GIM prédit par une mesure aux ultrasons est élevée (0,69), même si ces chiffres sont à confirmer avec un plus grand nombre d'animaux. Peu de publications rapportent des valeurs d'héritabilité pour le GIM prédit par ultrasons, hormis celles publiées par l'université d'Iowa (0,52 ; Newcom et al., 2003).

Les corrélations génétiques avec les autres caractères d'intérêt ont surtout révélé une corrélation négative avec l'épaisseur de

muscle. Ceci est en accord avec les résultats de Bahelka et al. (2007) et Newcom et al. (2005). La présente étude a révélé une corrélation génétique positive, mais faible, entre GIMIV et l'épaisseur de gras dorsal. Plusieurs auteurs rapportent une corrélation génétique positive faible à modérée entre le taux de gras intramusculaire et l'épaisseur de gras dorsal (de Vries et al., 1994 ; Newcom et al., 2005).

#### 3.3. Perspectives d'utilisation en sélection

Cette étude préliminaire montre des résultats très prometteurs qui suggèrent que cette méthode de mesure du gras intramusculaire serait relativement efficace pour classer les animaux et identifier les meilleurs pour l'amélioration génétique du gras intramusculaire. Cela requerra l'inclusion des prises de mesures au programme canadien d'accréditation des techniciens, la technique et le site de mesure étant relativement différents de ce qui est pratiqué pour les mesures classiques d'épaisseur de gras et de muscle.

Une expérience de sélection menée en Iowa (Burkett et al., 2008) pendant 5 générations sur les valeurs génétiques pour GIMIV dans une petite population Duroc a abouti à une forte hausse du GIM (+2,08 points) et du gras dorsal (+4,37 mm) et à une baisse de la surface de noix de côtelette (-5,84 cm<sup>2</sup>), ce qui semble cohérent avec nos résultats préliminaires. Il semble donc possible de sélectionner efficacement sur le GIM en utilisant les mesures ultrasons dans un système d'évaluation génétique adéquat, en tenant compte des liens entre le GIMIV et les autres caractères sélectionnés, avec pour objectif de contrôler l'évolution génétique du gras intramusculaire tout en maintenant des progrès élevés sur les autres caractères de croissance et de qualité de la viande et de la carcasse.

L'inclusion du GIMIV en tant que nouveau caractère dans le programme canadien d'amélioration des porcs nécessitera des analyses complémentaires sur un plus grand nombre d'animaux, en particulier pour valider les paramètres génétiques. De plus, des mesures répétées devront être collectées afin d'analyser la cinétique du dépôt du gras intramusculaire et développer des facteurs d'ajustement adaptés pour un poids vif standard. La validation de la technique devra également être réalisée sur d'autres races et sur des animaux présentant des taux de GIM soit très faibles soit très élevés, pour mieux évaluer la précision de la méthode. La méthode est sans doute également intéressante à tester sur les muscles du jambon.

### CONCLUSION

La technologie des ultrasons joue un rôle majeur dans l'industrie porcine depuis de nombreuses années, en matière de reproduction, de gestion de l'alimentation et de sélection pour la composition corporelle. Les avancées récentes en matière de prédiction *in vivo* de la qualité de la viande, telles que celle étudiée dans ce projet préliminaire, sont très prometteuses pour l'industrie porcine canadienne, en particulier le secteur de la sélection. Ces résultats préliminaires devront être confirmés par des analyses complémentaires actuellement en cours et par des projets incluant de plus grands nombres d'animaux.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les éleveurs du Programme canadien d'amélioration génétique porcine ayant participé au projet, les techniciens du programme, le laboratoire du Centre de recherche et de développement sur les aliments de Saint-Hyacinthe,

ainsi que le Dr Wilson de la compagnie Biotronics Inc. pour la validation des analyses d'images.

Ce projet a été réalisé avec l'appui financier du Programme pour l'Avancement du Secteur Canadien de l'Agroalimentaire (PASCAA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bahelka I., Hanusova E., Peskovicova D., Demo P., 2007. The effect of sex and slaughter weight on intramuscular fat content and its relationship to carcass traits of pigs. *Czech. J. Anim. Sci.*, 52 (5), 122-129.
- Burkett J.L., Beitz D., Schwab C.R., Berry N., Zhang S., 2008. Correlated response in fatty acid composition after five generations of selection for intramuscular fat in Duroc pigs. *Iowa State University Animal Industry Report (Leaflet R2350)*, 1-2.
- Chandrasekar R., Calabrano R., Meyer L.J.D., Philippo T., King J.W., Eller F.J., 2001. Determination of crude fat in meat by supercritical fluid extraction: Direct method. *J. AOAC Int.*, 84, 466-471.
- Correa J.A., Faucitano L., Laforest J.P., Rivest J., Marcoux M., Gariépy C., 2006. Effects of slaughter weight on carcass composition and meat quality in pigs of two different growth rates. *Meat Sci.*, 72, 91-99.
- Fortin, A., Robertson W.M., Tong A.K.W., 2005. The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat. *Meat Sci.*, 69, 297-305.
- Kovac M., Groeneveld E., 2003. VCE-5 User's Guide and Reference Manual. Version 5.1, 68 pages.
- National Pork Producers Council, 1999. NPPC marbling standards. Des Moines, Iowa, USA.
- Newcom, D.W., Baas T.J., Lampe J.F., 2002. Prediction of intramuscular fat percentage in live swine using real-time ultrasound. *J. Anim. Sci.*, 80, 3046-3052.
- Newcom D.W., Baas T.J., Stalder K.J., 2003. Genetics of pork quality. *National Swine Improvement Federation Conference Proceedings*, 4-5 December 2003, Des Moines, Iowa, USA.
- Newcom D.W., Baas T.J., Schwab C.R., Stalder K.J., 2005. Genetic and phenotypic relationship between individual subcutaneous backfat layers and percentage of intramuscular fat percentage in Duroc swine. *J. Anim. Sci.*, 83, 316-323.
- Ngapo T.M., Martin J.-F., Dransfield E., 2007. International preferences for pork appearance: I. Consumer choices. *Food Quality and Preference*, 18, 26-36.
- Park B., Whittaker A.D., Miller R.K., Bray D.E., 1994. Measuring intramuscular fat in beef with ultrasonic frequency analysis. *J. Anim. Sci.*, 72, 117-125.
- Ragland K.D., Christian L.L., Baas T.J., Amin V.R., 2001. Efficacy of using real-time ultrasound to predict intramuscular fat in the Longissimus muscle of live swine. *Iowa State University Animal Industry Report Meat (Leaflet R1526)*, 1-3.
- SAS/STAT, 2002-2003. SAS Institute Inc, Version 9.3.1, Cary, NC, USA.
- Schwab C.R., Baas T.J., 2006. Development of a model to predict intramuscular fat in live pigs using real-time ultrasound. *Iowa State University Animal Industry Report Swine (Leaflet 2050)*, 1-2.
- de Vries A.G., van der Wal P.G., Long T., Eikelenboom G., Merks J.W.M., 1994. Genetic parameters of pork quality and production traits in Yorkshire populations. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 277-289.
- Wilson D.E., Rouse G.H., Hassen A., 2001. Ultrasound prediction model for % intramuscular fat in beef cattle. *Iowa State University Beef Research Report (Leaflet R1756)*, 1-2.