

Évaluation de la technologie DXA pour étudier la composition des carcasses de porc et de ses coupes principales

Marcos KIPPER (1), Candido POMAR (2), Marcel MARCOUX (2), João RADÚNZ NETO (1)

(1) Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900 Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brésil.

(2) Agriculture et Agroalimentaire Canada, J1M 0C8 Sherbrooke, Québec, Canada.

Candido.Pomar@agr.gc.ca

Avec la collaboration technique de N. OUELLET et du personnel du
Centre porcin d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Sherbrooke, Québec.

Évaluation de la technologie DXA pour étudier la composition des carcasses de porc et de ses coupes principales

Cette étude vise à déterminer la précision de l'absorptiométrie biphotonique à rayons X (DXA, pour *dual energy X-ray absorptiometry*) et l'effet de facteurs qui pourraient interférer dans l'estimation de la composition des carcasses de porc et des coupes de viande. La répétabilité et la reproductibilité de cette technologie ont été estimées par les coefficients de variation (CV, %) obtenus dans des conditions spécifiques de mesure. Nous avons également étudié l'effet des régions (rectangulaire, tête, tronc, bras et jambes), de la température de l'échantillon et de l'épaisseur de la coupe sur les mesures DXA. L'erreur de répétabilité était de moins de 1% dans toutes les conditions de mesures, sauf pour la masse de graisse où elle atteignait 4,1% dans la région du tronc. Dans les conditions de reproductibilité, les CV étaient inférieurs à 3% lorsque les estimations étaient faites dans la région de la tête, des bras ou des jambes, mais certaines mesures pouvaient avoir des CV supérieurs à 5 % lorsqu'elles étaient réalisées dans la région du tronc. L'effet de la température de l'échantillon était de moins de 0,1 %. L'augmentation de l'épaisseur de l'échantillon n'a pas eu d'influence sur la mesure de la masse grasse, mais elle a réduit la masse maigre (43%). La technologie DXA utilisée dans cette étude s'est avérée une technologie précise pour évaluer la composition des coupes et des carcasses de porc.

Evaluation of DXA technology to study the composition of pig carcasses and primal cuts

The objective of this study is to assess the precision of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) and the effect of factors that could be interfering in the estimation of pig carcass and meat cuts composition. The repeatability and reproducibility were estimated by the adjusted coefficients of variation (CV, %) in repeatability and reproducibility conditions, which served to estimate the reliability of this technology. The effect of the measurement regions (custom, head, trunk, arm, and leg), the temperature and the thickness of the piece was also studied. The repeatability was less than 1 % for all measurement conditions studied, except for fat mass, which was 4.1 % when estimated in the trunk region. In reproducibility conditions, CV were less than 3 % when estimated in the head, arms, and legs regions, but some measurements had CV higher than 5 % when measured in the trunk region. The effect of temperature of the sample was negligible because it was less than 0.1 %. Increasing the thickness of the sample did not affect the measurement of fat mass, but it reduced the lean mass (43%). The DXA technology used in this study accurately estimates pork cuts and carcass composition.

INTRODUCTION

L'absorption biphotonique à rayons X (DXA pour *dual energy X-ray absorptiometry*) est une méthode d'imagerie médicale utilisée pour déterminer la composition corporelle des humains, notamment la densité minérale osseuse. Ces appareils DXA émettent des rayons X à deux intensités, pour être captés après être passés à travers l'échantillon analysé. Les rayons X perdent toutefois de l'intensité en traversant l'échantillon, ce qui permet d'estimer sa composition (Pietrobelli *et al.*, 1996). Ces appareils ont un grand potentiel scientifique, par exemple pour l'évaluation de la composition corporelle des animaux pendant leur croissance (Mitchell *et al.*, 1996) ou la composition des carcasses (Marcoux *et al.*, 2005). Toutefois, peu d'études ont porté sur l'évaluation des coupes principales. Le manque de données précises dans ce domaine peut être partiellement comblé par les connaissances générées à l'aide d'objets artificiels. Cependant, de nombreuses caractéristiques intrinsèques de la viande sont difficiles à simuler. Notre étude visait donc à vérifier l'exactitude d'un appareil DXA lors de la détermination de la composition des carcasses ainsi que l'effet de la température et de l'épaisseur de l'échantillon sur l'estimation de la composition de ses coupes primaires.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

La répétabilité et la reproductibilité des mesures DXA faites sur des carcasses et les effets de la température et de l'épaisseur des échantillons sur l'estimation de la composition des coupes ont été évalués à partir de trois études indépendantes.

1.1. Répétabilité et reproductibilité des mesures DXA

La répétabilité et la reproductibilité des mesures DXA ont été étudiées sur 9 demi-carcasses de porc comprises dans un intervalle de poids de 38,5 à 53,1 kg et une épaisseur de gras dorsal allant de 14 à 22 mm. Les demi-carcasses ont été obtenues auprès d'une entreprise commerciale après préparation selon les normes canadiennes. Les carcasses ont été radiographiées (GE Lunar Prodigy Advance, Madison, WI, É.-U.; logiciel version 13.40.038) en mode Corps entier et configuration standard.

La répétabilité mesure l'erreur inhérente à la lecture DXA et a été déterminée en radiographiant dix fois consécutives chacune des carcasses sans les manipuler. La reproductibilité mesure la variation inhérente à la position de la carcasse sur la table de l'appareil et sa mesure inclut la variation due à la répétabilité. La reproductibilité a été déterminée dans cette étude en radiographiant chaque carcasse dans dix positions différentes obtenues en tournant les carcasses (peau vers le haut ou vers le bas), et en changeant la direction du balayage (de la tête vers les pieds arrière ou des pieds arrière vers la tête), la disposition de la carcasse sur la table (droite ou en diagonale) et la présentation de la poitrine (étendue ou repliée). Les conditions de répétabilité et de reproductibilité ont été adaptées à partir de celles proposées dans des normes internationales (ISO, 1993).

Toutes les images obtenues dans les conditions de répétabilité et de reproductibilité ont été analysées en introduisant les images manuellement dans une région d'intérêt (ROI pour

region of interest) rectangulaire ou en utilisant les 4 ROI proposées par le fabricant de cet appareil pour le corps humain. Ces dernières ROI ont été obtenues en plaçant successivement la carcasse dans la région de la tête, du tronc, des bras et des jambes. Les coefficients de variation (CV) ont été calculés pour chaque carcasse individuellement, puis de manière combinée, en respectant une distribution de la variance normale (Glüer *et al.*, 1995). Les mesures obtenues avec DXA sont la densité minérale osseuse (DMO, g cm⁻²), le contenu minéral osseux (CMO, g), la masse totale (kg) et la masse de tissus mous (kg), ces derniers étant constitués de gras et de maigre. Les moyennes ont été comparées entre les ROI en conditions de répétabilité et reproductibilité et pour chaque ROI entre ces deux conditions à l'aide du test de Tukey ($P < 0,05$).

1.2. Effet de la température de l'échantillon

Pour l'évaluation de l'effet de la température de l'échantillon, une truie de réforme a été abattue au Centre de Recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Sherbrooke dans le respect des règles de bien-être animal (CCAC, 2009). Après l'abattage, 5 échantillons ont été prélevés dont 2 sur la longe, pesant 2,1 et 2,7 kg et 3 autres sur la poitrine, dont 1 pesant 3,7 kg sans os et 2 autres pesant 2,6 et 3,9 kg et comprenant des côtes. La température interne des échantillons mesurée au thermomètre (Copper-Atkins DFP450W, Middlefield, CT, É.U.) était de 39,4, 40,2, 39,7, 26,2, 34,4 et 40,2°C, respectivement dans les échantillons de longe, poitrine désossée et poitrine avec os. Immédiatement après la mesure de la température, les échantillons ont été emballés dans des sacs sous vide pour éviter toute perte d'eau.

L'analyse DXA a été faite en trois étapes, avec huit répétitions pour chaque échantillon de viande, pour un total de 120 radiographies. Les morceaux de viande n'ont pas été déplacés entre les répétitions et ont toujours été radiographiés dans la même position. L'appareil DXA a été réglé en mode Corps entier et configuration standard. Les images ont été analysées à l'aide de la ROI rectangulaire prévue pour l'expérience. Les échantillons ont été radiographiés 1) immédiatement après avoir été emballés sous vide (première étape), 2) après 24 heures de réfrigération à 4 °C et 3) après 24 heures à -18 °C. Les conditions auxquelles les échantillons ont été soumis reflètent celles régnant dans les salles de refroidissement (4°C) et de congélation (-18°C) en conditions commerciales.

Les analyses statistiques ont été faites avec la procédure MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, É.-U.), en considérant les différentes mesures DXA comme les variables dépendantes, ainsi que la température de l'échantillon (effet fixe) et l'échantillon de viande (effet aléatoire) comme variables indépendantes.

1.3. Effet de l'épaisseur de l'échantillon

Huit poitrines commerciales désossées ayant un poids moyen de 3,6 kg ont été obtenues dans une boucherie locale et groupées en paires de 6,5, 6,6, 8,1 et 8,1 kg. Les poitrines de chaque paire avaient été découpées pour qu'elles aient les mêmes longueur et largeur. Les radiographies ont été effectuées en trois étapes (figure 1). Pour chaque étape, nous avons utilisé trois modes de balayage pour un total de 36 radiographies.

Le balayage en mode Corps entier a été utilisé avec les options mince (pour les échantillons de moins de 16 cm d'épaisseur), normale (pour les échantillons de 16 à 25 cm), et épaisse (pour les échantillons de 25 cm et plus). Les poitrines ont d'abord été placées sur la table de balayage de manière à former quatre piles (une par groupe). Dans la deuxième étape, les poitrines ont été coupées en deux sur le sens de la largeur. Les moitiés ont ensuite été superposées à l'intérieur de chaque groupe. Finalement, tous les morceaux ont été coupés encore une fois sur le sens de la longueur et superposés de nouveau, toujours à l'intérieur de chaque groupe. Cette stratégie a permis d'augmenter l'épaisseur de l'échantillon tout en maintenant constants le poids et la composition de l'échantillon. L'épaisseur moyenne des piles de poitrines était de 6,6, 11,8 et 23,4 cm pour chacune des étapes.

Les données ainsi obtenues ont été analysées par covariance avec la procédure GLM de SAS. Le mode de lecture, l'épaisseur de l'échantillon et l'interaction ont été considérés comme des variables indépendantes, tandis que les différentes mesures de tissus mous DXA ont été considérées comme les variables dépendantes. La procédure REG de SAS a permis de générer les régressions linéaires, quadratiques et cubiques pour toutes les mesures DXA sur lesquelles l'épaisseur a eu un effet ($P < 0,05$). Pour choisir le meilleur modèle, nous avons tenu compte de l'écart type résiduel et du coefficient de détermination de ces régressions.

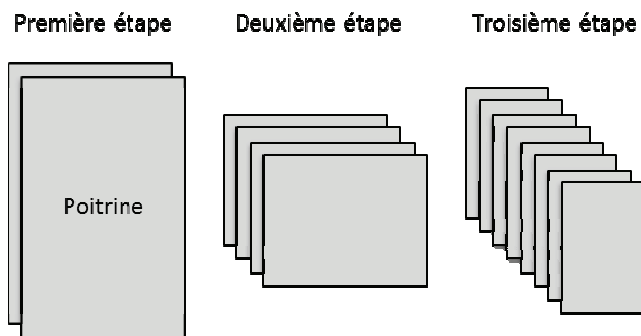


Figure 1 – Coupe et disposition des morceaux de poitrine dans les trois étapes de l'étude visant à évaluer l'effet de l'épaisseur de l'échantillon sur les mesures DXA.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Répétabilité et reproductibilité des mesures DXA

Les CV obtenus en conditions de reproductibilité étaient toujours plus élevés que ceux obtenus dans des conditions de répétabilité (tableau 1), ce qui signifie que la technologie DXA utilisée était correctement calibrée. Une méthode avec une reproductibilité inadéquate peut être ajustée et améliorée alors qu'une méthode avec répétabilité inadéquate est peu fiable et les concepts de base de la méthode elle-même doivent être revus (Burdick *et al.*, 2005). En général, les mesures obtenues dans les deux conditions de mesure étaient différentes ($P < 0,05$; données non présentées), mais avec trois exceptions qui sont le poids total de l'échantillon et le poids des tissus mous dans la ROI de la tête et le CMO dans la région du tronc. D'un autre côté nous avons observé une différence de 22% dans la masse grasse et 5% dans la masse maigre dans cette même région du tronc. Le reste des estimations DXA avaient une différence moyenne de 0,1%. Par conséquent, à quelques exceptions près, les mesures obtenues dans les

conditions de répétabilité et de reproductibilité, tout en étant différentes, sont peu variables. En comparant les valeurs moyennes entre ROI, le poids total et des tissus mous n'étaient pas différents, pendant que le CMO et la masse grasse étaient les plus différents. Les différences de DMO entre régions étaient de 0,5 et 0,8% en conditions de répétabilité et reproductibilité, respectivement et de 4,7 et 5,6% pour la répétabilité et la reproductibilité de la masse maigre.

Les ROI de la tête, des bras et des jambes ont présenté les plus basses erreurs de mesure dans des conditions de répétabilité et reproductibilité. Ainsi, en moyenne, ces erreurs étaient respectivement de 0,31, 0,36 et 0,36% pour la répétabilité et de 0,79, 0,84 et 0,82% pour la reproductibilité.

La répétabilité des mesures DXA de cette étude était, en général, inférieure à 1%, et la reproductibilité était inférieure à 3%. C'est la masse totale et des tissus mous qui ont été les plus répétables (moyenne de 0,3 et 0,4%, respectivement) et reproductibles (moyenne de 0,4 et 0,6%, respectivement) dans toutes les régions d'intérêt. À l'inverse, la masse grasse est la mesure DXA qui a été la moins répétable et reproductible (moyenne de 20 et 22%, respectivement) dans la ROI rectangulaire et de la tête conduisant au fait qu'elles se sont démarquées des autres ROI.

La ROI rectangulaire utilisée dans cette étude n'a pas permis d'estimer de manière précise le CMO, mais a permis d'obtenir des valeurs acceptables pour la DMO. La région du tronc n'a pas permis d'obtenir d'estimation précise de la masse grasse ce qui peut être expliqué par le fait que cette région d'analyse est configurée par le fabricant pour analyser une région avec peu de tissus mous chez l'homme.

2.2. Effet de la température de l'échantillon

Les écarts types des mesures de composition déterminée par DXA sont élevés, ce qui reflète une variation importante de la composition des échantillons (données non présentées). Le poids des échantillons obtenus par DXA a été sous-estimé de 3,6 % par rapport au poids déterminé par pesée (3003 vs 2895 g). À l'exception des mesures de CMO, les relations entre la température et les mesures DXA étaient généralement négatives (tableau 2). La température n'a pas eu d'effet sur la mesure de la masse maigre DXA ($P > 0,05$), mais elle a eu un effet limité sur les autres mesures DXA. Le pourcentage de variation de la mesure DXA par degré de variation de température (pente de la régression/moyenne de la mesure, %) était de -0,07 % pour la DMO, 0,02 % pour le CMO et la masse de tissus mous et 0,05 % pour la masse de gras. Autrement dit, pour une augmentation de température de 10°C, on observe une réduction de 0,007 g cm⁻² de la DMO, 0,225 g de CMO, 1,98 g de gras et une réduction de 4,24 g de tissus mous. Le coefficient de variation de l'erreur résiduelle des mesures DXA prises aux différentes températures (ETR/moyenne, %) variait entre 0,6% pour le poids des tissus mous à 4,7% pour la masse grasse. Une partie de cette variation est due à la reproductibilité des mesures, car les échantillons ont été déplacés pour le refroidissement et la congélation, et replacés sur la table DXA pour chaque radiographie. Ces résultats sont similaires à ceux de DMO et CMO mesurés avec un Lunar Prodigy Advance par Wahnert *et al.* (2009) sur des fémurs congelés et dégelés (températures variant de -27 à 20 °C) montrant que les mesures différaient selon la région de l'os analysé, avec des variations de 1,2 et 1,4% pour la DMO le CMO, respectivement.

2.3. Effet de l'épaisseur de l'échantillon

Il a été reconnu qu'un des facteurs de variation limitant l'utilisation du DXA est l'épaisseur de l'échantillon (Goodsitt, 1992). Dans cette troisième étude, le mode de lecture et ses interactions avec l'épaisseur de l'échantillon n'ont pas eu d'effet

sur les mesures DXA ($P > 0,05$). L'épaisseur de l'échantillon a cependant affecté ($P < 0,05$) la mesure des tissus mous et du maigre, mais pas ($P > 0,05$) celle du gras (figure 2). La fonction quadratique est celle qui représente le mieux la relation entre l'épaisseur de l'échantillon et la masse de tissus mous et maigres.

Tableau 1 – Moyennes et coefficients de variation ajustés des mesures de DXA obtenues avec des demi-carcasses de porc placées dans différentes régions d'intérêt dans des conditions de répétabilité et de reproductibilité¹

Mesure/région d'intérêt	Rectangulaire		Tête		Tronc		Bras		Jambes		ETM
	Moyenne	CV ²	Moyenne	CV	Moyenne	CV	Moyenne	CV	Moyenne	CV	
Test de répétabilité											
DMO ³ , g cm ⁻²	0,91 ^{ab}	0,61	0,92 ^a	0,52	0,91 ^a	0,57	0,90 ^b	0,53	0,91 ^a	0,56	0,004
CMO ⁴ , g	949 ^b	0,68	883 ^c	0,56	983 ^{ab}	0,68	1008 ^a	0,56	995 ^a	0,55	10,3
Masse totale, kg	46,98	0,07	47,23	0,04	46,92	0,10	46,87	0,04	46,86	0,04	0,536
Tissus mous, kg	46,03	0,07	46,35	0,05	45,93	0,11	45,87	0,05	45,87	0,04	0,528
Masse grasse, kg	9,65 ^a	0,77	5,27 ^c	0,59	8,09 ^b	4,10	8,54 ^b	0,80	8,51 ^b	0,78	0,236
Masse maigre, kg	36,38 ^b	0,24	41,08 ^a	0,09	37,84 ^b	0,96	37,32 ^b	0,17	37,36 ^b	0,17	0,439
Test de reproductibilité											
DMO, g cm ⁻²	0,90 ^{ab}	0,64	0,91 ^a	0,64	0,90 ^a	0,67	0,89 ^b	0,67	0,90 ^a	0,62	0,004
CMO, g	967 ^a	3,59	877 ^b	0,59	986 ^a	2,20	1004 ^a	0,52	990 ^a	0,60	10,6
Masse totale, kg	46,91	0,24	47,21	0,32	46,65	0,78	46,82	0,32	46,82	0,22	0,539
Tissus mous, kg	45,94	0,29	46,34	0,24	45,67	0,81	45,83	0,22	45,83	0,22	0,531
Masse grasse, kg	9,79 ^a	2,23	5,21 ^c	2,63	9,84 ^a	20,69	8,68 ^b	2,75	8,64 ^b	2,78	0,247
Masse maigre, kg	36,15 ^b	0,77	41,12 ^a	0,29	35,83 ^b	6,17	37,14 ^b	0,54	37,19 ^b	0,49	0,451

¹Les moyennes affectées de lettres différentes sur une même ligne sont significativement différentes ($P < 0,05$).

²Coefficient de variation ajusté pour tenir compte de la distribution normale de la variance entre les carcasses.

³Densité minérale osseuse.

⁴Contenu minéral osseux.

L'estimation de la masse maigre a varié de 43 % entre l'épaisseur la plus faible et la plus grande. D'après ces résultats, la gamme d'épaisseur de tissu maigre pour laquelle on obtient les résultats les plus stables se situe entre 17 et 23 cm approximativement.

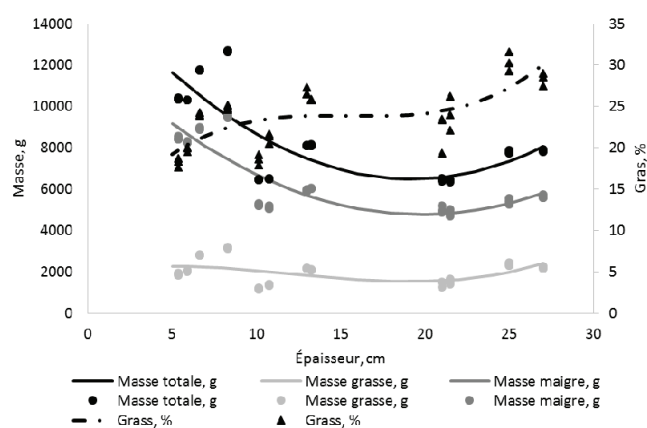


Figure 2 - Variation des mesures de DXA en fonction de l'épaisseur d'échantillons de poids constant. Les lignes continues et pointillées représentent les régressions. Les cercles et les triangles représentent les mesures.

La configuration et le mode de lecture n'ont pas eu d'effet sur les mesures DXA dans les conditions expérimentales de cette étude. Le mode de balayage a été établi selon l'épaisseur de l'échantillon en raison du phénomène physique du durcissement

du faisceau (*beam hardening*) caractérisé par une atténuation disproportionnée et plus prononcée des rayons X de faible énergie. Cet effet réduit les valeurs R (ratio des coefficients d'atténuation des rayons X) et par conséquent, augmente l'estimation de la teneur en gras. De plus, le durcissement du faisceau est plus important dans les substances ayant une valeur R plus élevée (Goodsitt, 1992). Ainsi, plus le pourcentage de masse maigre est élevé, plus il sera sous-estimé à cause de cet effet. Nous n'avons toutefois pas observé cet effet ($P > 0,05$) entre les différents modes de lecture. Comme les configurations ont été créées pour tenir compte de cet effet, on peut en déduire que cette configuration ne fonctionne pas correctement. Étant donné que nous avons évalué des poitrines désossées dans cette étude, on peut supposer que l'effet de l'épaisseur (et le durcissement du faisceau) est plus prononcé lorsque les os sont présents dans les échantillons. Cependant, il faut pousser les recherches davantage dans ce domaine pour mieux évaluer cet effet.

Les mesures de DXA ont révélé plusieurs profils d'évolution par rapport à l'épaisseur de l'échantillon. Les tissus mous et la masse maigre présentent un profil d'évolution quadratique, tandis que celui de la masse grasse n'a presque pas varié. Ces résultats s'accordent avec ceux de publications antérieures sur l'effet de l'épaisseur des échantillons ayant différents pourcentages de gras (Jebb *et al.*, 1995). Ces derniers auteurs ont montré qu'à faible épaisseur, il y a surestimation des faibles pourcentages de gras ($> 15\%$) et sous-estimation des forts pourcentages de gras ($< 25\%$).

En revanche, les fortes épaisseurs donnent toujours lieu à une surestimation du gras, et ce biais est encore plus important lorsque le pourcentage de gras est faible. Dans une autre étude, les chercheurs ont utilisé une combinaison d'assiettes en plastique pour simuler différentes épaisseurs toujours avec le même pourcentage de gras, et ils ont trouvé que le biais positif augmentait avec l'épaisseur de l'échantillon (Gottfredsen *et al.*, 1997). Il faut noter cependant que ces deux dernières études ont été faites avec des appareils DXA différents (Hologic et Norland) de celui de la présente étude et puisque chaque fabricant utilise des algorithmes qui leur sont propres, les résultats obtenus avec un appareil ne peuvent pas être extrapolés directement aux autres. Aucune étude n'a été trouvée à ce sujet dans la littérature, ce qui fait ressortir son importance pour l'évaluation future des coupes de viande.

CONCLUSION

La technologie DXA utilisée dans cette étude permet d'obtenir des résultats précis sur l'évaluation des carcasses et des coupes principales.

La répétabilité a été considérée comme excellente avec toutes les régions d'intérêt, sauf pour le gras dans la région d'intérêt du tronc. La reproductibilité a été considérée comme bonne pour toutes les régions d'intérêt, sauf pour le gras dans la région du tronc et pour le CMO dans la région rectangulaire utilisée pour les objectifs de la présente expérience.

L'effet de la température de l'échantillon sur les mesures DXA est faible. Il est possible cependant de corriger les résultats DXA lorsque les mesures ont été prises sur des échantillons de viande dont la température n'a pas été normalisée, ou dans les cas où l'on compare des résultats obtenus chez des animaux vivants avec ceux obtenus sur carcasses froides.

Dans les conditions expérimentales utilisées, l'épaisseur de l'échantillon a un effet marqué sur certaines mesures DXA. Ainsi, la masse de graisse est peu affectée par l'épaisseur alors que celle des tissus mous et du maigre varient avec l'épaisseur de l'échantillon selon un modèle quadratique. La meilleure plage d'épaisseur d'échantillons de viande pour leur analyse avec un appareil GE Prodigy est de 17 à 23 cm.

Tableau 2 – Analyse descriptive des mesures de DXA des échantillons de porc et régressions obtenues sur les relations entre les mesures de DXA et la température des échantillons

Mesure	Analyse descriptive			Analyse de régression				
	n	Moyenne	Écart type	Écart type résiduel	Point d'interception		Température, °C	
					Coefficient	p	Coefficient	p
DMO ¹ , g cm ⁻²	96	1,06	0,36	0,03	1,07	0,014	-0,0007	< 0,001
CMO ² , g	96	125	70	2	125	0,045	0,0225	0,042
Masse totale, g	120	2895	635	18	2898	< 0,001	-0,4067	< 0,001
Tissus mous, g	120	2795	687	17	2798	0,001	-0,4240	< 0,001
Masse grasse, g	120	382	254	18	384	0,039	-0,1979	0,005
Masse maigre, g	120	2424	590	84	2427	0,001	-0,3871	0,240

¹Densité minérale osseuse.

²Contenu minéral osseux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Canadian Council on Animal Care (CCAC). 2009. Guidelines on: The care and use of farm animals in research, teaching and testing. CCAC, Ottawa ON, 162 p.
- Burdick R.K., Borror C.M., Montgomery D.C., 2005. Design and analysis of gouge R&R studies: making decisions with confidence intervals in random and mixed ANOVA models. 1st ed, ASA-SIAM, Philadelphia, PA, 201 p.
- Glüer C.C., Blake G., Lu Y., Blunt B.A., Jergas M., Genant H.K., 1995. Accurate assessment of precision errors: How to measure the reproducibility of bone densitometry techniques. *Osteoporosis Int.*, 5, 262-270.
- Goodsitt M.M., 1992. Evaluation of a new set of calibration standards for the measurement of fat content via DPA and DXA. *Med. Phys.*, 19, 35-44.
- Gottfredsen A., Bæksgaard L., Hilsted, Jannik, 1997. Body composition analysis by DEXA by using dynamically changing samarium filtration. *J. Appl. Physiol.*, 82, 1200-1209.
- International Organization for Standardization (ISO), 1993. Statistics - Vocabulary and symbols Part I: Probability and general statistical terms. Eds, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 47 p.
- Jebb S.A., Goldberg G.R., Jennings G., Elia M., 1995. Dual-energy X-ray absorptiometry measurements of body composition: effects of depth and tissue thickness, including corn parisons with direct analysis. *Clin. Sci.*, 88, 319-324.
- Marcoux M., Faucitano L., Pomar C., 2005. The accuracy of predicting carcass composition of three different pig genetic lines by dual-energy X-ray absorptiometry. *Meat Sci.*, 70, 655-663.
- Mitchell A.D., Conway J.M., Pott W.J.E., 1996. Body composition analysis of pigs by dual-energy X-Ray absorptiometry. *J. Anim Sci.*, 74, 2663-2671.
- Pietrobelli A., Formica C., Wang Z., Heymsfield S.B., 1996. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 271, E941-E951.
- Wahnert D., Hoffmeier K., Lehmann G., Frober R., Hofmann G., Muckley T., 2009. Temperature influence on DXA measurements: bone mineral density acquisition in frozen and thawed human femora. *BMC Musculoskel. Dis.*, 10, 25-32.

