

Un scanner à rayons X au service de la filière

Cet article vise principalement à informer les acteurs de la filière porcine française des possibilités du scanner à rayons X. Il a été rédigé à partir des travaux bibliographiques* menés par l'Institut pour préparer l'acquisition d'un tel équipement par la filière française. Cette acquisition a été rendue possible grâce au financement conjoint d'Inaporc, de l'Office de l'Élevage et de l'IFIP. Un scanner RX mobile est arrivé en février 2008 à l'IFIP.

Contexte

La tomographie RX est utilisée en médecine en tant qu'outil de diagnostic depuis 30 ans. L'impact de cette technologie en médecine humaine est tel qu'il a valu aux inventeurs du scanner le prix Nobel de médecine (Hounsfield et Cormack en 1979). De leur côté, les sciences animales utilisent les techniques d'imagerie médicale depuis le début des années 80 (Skjervold et al., 1981).

Depuis cette première étude, les méthodes d'imagerie et les techniques d'analyse d'image n'ont cessé d'évoluer et dans le cadre de l'animal ; les chercheurs en imagerie se sont particulièrement intéressés à la composition corporelle. Ainsi en 1999, Szabo et al. ont réalisé une

synthèse bibliographique sur l'application des techniques d'imagerie digitale pour l'estimation *in vivo* de la composition corporelle des porcs.

Un intérêt nouveau pour les RX en classification porcine s'est manifesté suite au projet européen de recherche EUPIGCLASS (<http://www.eupig-class.net/>), dont l'objectif était d'améliorer l'harmonisation dans la classification porcine. Le pourcentage de muscle de référence, utilisé pour calibrer les méthodes de classement, est obtenu par dissection manuelle. La dissection étant laborieuse, coûteuse et difficile à standardiser, le consortium EUPIGCLASS a étudié les potentialités des RX et de l'IRM pour remplacer la dissection. Ce consortium a conclu que les deux méthodes étaient appropriées pour remplacer la dissection avec des avanta-

Tableau 1 : Modèles de scanners utilisés en production animale dans le monde

Pays	Lieu	Organisme	Année d'achat	Marque
Norvège	Aas	Agric. Univ. Of Norway	1981	Siemens
Norvège	Aas	Agric. Univ. Of Norway	1981	Siemens
Nouvelle-Zélande	Lincoln	Lincoln University	1985	Siemens
Nouvelle-Zélande	Invermay	Landcorp AgResearch &	1995	Siemens
Australie	Armidale	Univ. Of New England	1988	Hitachi
Australie	Armidale	Univ. Of New England	1995	Hitachi
Hongrie	Kaposvar	Univ. Of Kaposvar	1990	Siemens
Hongrie	Kaposvar	Univ. Of Kaposvar	1996	Siemens
France	Saint-Gilles	INRA	1990	G.E.
Royaume-Uni	Edimbourg	Scottish Agricultural College	1997	Siemens
Royaume-Uni	Edimbourg	Scottish Agricultural College	2002	Siemens
Irlande	Dublin	Teagasc	2005	Siemens
Allemagne	Kulmbach	BEFL	2003	Siemens
Danemark	Roskilde	DMRI	2004	Siemens
Danemark	Roskilde	DMRI	2006	G.E.
Japon			2005	Toshiba
Espagne	Monells	IRTA	2006	G.E.



Résumé

La filière porcine française, grâce à l'investissement de l'Office de l'élevage, d'Inaporc et de l'IFIP, vient de se doter d'un scanner RX mobile.

Ce type d'équipement, dédié à l'origine au diagnostic médical, est particulièrement adapté à la mesure de la composition corporelle des animaux.

Il permet de reconstruire des images en 3D basées sur les différences de densités des tissus et d'en mesurer les proportions par analyse d'image.

Ce type d'équipement, déjà en activité dans d'autres pays, permettra à la filière française de participer à la définition d'une future méthode de référence européenne de mesure RX de la teneur en muscle.

De plus, à l'image des applications déjà développées chez le porc, mais aussi dans les autres espèces, notamment chez les ovins, le scanner RX sera utilisé pour de multiples applications en recherche et développement en qualité des produits, génétique, alimentation ou conduite d'élevage.

Financement du scanner RX :
Inaporc, Office de l'Élevage & IFIP.
Financement des travaux bibliographiques :
Office de l'Élevage & CASDAR.

Gérard DAUMAS
Mathieu MONZIOLS

Tableau 2 : Espèces animales utilisées dans les différents pays équipés de scanners

Pays	Lieu	Organisme	Année d'achat	Applications	
				principales	secondaires
Norvège	Aas	Agric. Univ. Of Norway	1981	Ovins vivants	
Norvège	Aas	Agric. Univ. Of Norway		Ovins vivants	Porcs vivants & morts
Nouvelle-Zélande	Lincoln	Lincoln University	1985	Ovins vivants	
Nouvelle-Zélande	Invermay	Landcorp AgResearch &	1995	Ovins vivants	pour vétos, poulets, chevreuils, viande, bois
Australie	Armidale	Univ. Of New England	1988	Ovins vivants	
Australie	Armidale	Univ. Of New England	1995	Ovins vivants	
Hongrie	Kaposvar	Univ. Of Kaposvar	1990		
Hongrie	Kaposvar	Univ. Of Kaposvar	1996		Porcs, veaux, viande de bovin, lapins, poulets, chevreuils
France	Saint-Gilles	INRA	1990		Cerveaux de porcs
Royaume-Uni	Edimbourg	Scottish Agricultural College	1997	Ovins vivants	Porcs (firmes génétiques)
Royaume-Uni	Edimbourg	Scottish Agricultural College	2002	Ovins vivants	Porcs (firmes génétiques)
Irlande	Dublin	Teagasc	2005	Ovins vivants	
Allemagne	Kulmbach	BEFL	2003	Porcs	
Danemark	Roskilde	DMRI	2004	Porcs	
Japon			2005		Bovins vivants
Espagne	Monells	IRTA	2006	Porcs	

En Europe, fin 2007, huit pays étaient équipés d'un scanner RX pour les animaux.

ges décisifs (vitesse, répétabilité, reproductibilité, standardisation du protocole de mesure et meilleur suivi de l'évolution de la population porcine)(Daumas, 2004). En conséquence, les grands bassins de production porcine (Allemagne, Danemark et Espagne) ont acheté un scanner RX, qui est moins cher qu'un IRM et plus facile à utiliser.

En Europe, fin 2007, huit pays étaient équipés d'un scanner RX pour les animaux (Tableau 1) et trois d'un IRM. La plupart des

applications concernaient les ovins et les porcins (Tableau 2). Les pays ayant une importante production ovine ont développé des programmes de sélection utilisant les RX.

En 2006 la filière française a également envisagé de s'équiper d'un scanner RX. Au vu des applications possibles, l'Office de l'élevage, Inaporc et l'IFIP ont décidé de financer un scanner installé à l'intérieur d'une semi remorque. Il est arrivé à l'IFIP fin février 2008 (Photos 1 et 2).

La technologie RX

Les scanners RX sont équipés d'un tube à rayon X positionné à l'opposé d'une batterie de détecteurs. Tous les deux tournent autour du «corps». Des rayons X sont émis à des intervalles de temps réguliers et les détecteurs mesurent la quantité de rayon absorbée par le «corps». L'information des détecteurs est traitée informatiquement pour reconstruire des images de coupes transversales du «patient». Chaque élément d'image, dénom-



Photo 1 : La semi remorque « scanner » de l'IFIP (en position tractée)



Photo 2 : Le scanner à l'intérieur de la semi remorque

mé pixel, est caractérisé par une valeur de densité ou CT, exprimée en unités Hounsfield. La plupart des scanners RX peuvent différencier 2000 valeurs de densité. L'eau a typiquement une densité de zéro et l'air de -1000. Le gras est autour de -100, le muscle autour de + 100 et les os durs autour de + 1000. Les valeurs de densité sont reconstruites en une image en niveaux de gris (figure 1).

Mesurer la composition corporelle chez le porc au scanner

Quelques résultats prometteurs ont été publiés par «l'école norvégienne» (Skjervold et al., 1981 ; Allen et Vangen, 1984 ; Vangen, 1984 ; Vangen et Stetal, 1984). Afin de réduire les coûts de calibrage et recalibrage des instruments de classement des carcasses, le Norwegian Meat Marketing Board a financé une expérimentation de RX avec dissection. Sehested et Vangen (1989) ont rapporté un écart type résiduel de 1,02 % de muscle à partir de 6 coupes transversales de demi-carcasse. Sur les 128 porcs mesurés, il n'y avait pas d'effet significatif du poids de carcasse, du sexe (femelle vs castré) et du type génétique. Dans les programmes norvégiens, résumés par Vangen (1992), 11 scans étaient utilisés pour prédire la quantité de protéine, de gras et d'eau de la carcasse, mais 7 étaient considérés comme suffisants.

En 1990, la Hongrie s'est équipée d'un scanner RX. La première question posée était de savoir si le scan de porcs vivants pouvait remplacer les évaluations en abattoir pour le contrôle de la descendance menée dans des stations de testage (Horn, 1995). Dans les années 90, les RX ont été utilisés dans la sélection des types génétiques et des lignées.

Des études de Luiting et al. (1995), Kolstad et Vangen (1996) et Kolstad et al. (1996), basées sur les RX, ont démontré des différences entre races dans les besoins en maintenance, dans la distribution du gras et dans la mobilisation du gras. Selon Kolstad (2001), les RX pouvaient être inclus dans l'évaluation génétique des verrats.

Jopson et al. (1995) ainsi que Glasbey et Robinson (1999 et 2002) ont proposé les RX comme alternative à la dissection. A partir des données d'EUPIGCLASS, Dobrowolski et al. (2004a et b) ont conclu que dans l'utilisation future des RX comme instrument de référence pour le % de muscle les deux demi-carcasses devraient toujours être scannées à cause des différences de morphologie entre elles. En 2005, Judas et al., trouvant une erreur d'estimation de 1 % du poids de carcasse, ont conclu que le scanner RX, avec un protocole bien défini, de préférence combiné à une régression PLS, fournissait une alternative pratique à la dissection manuelle. La liaison entre le poids de muscle disséqué et le volume de muscle mesuré au scanner est illustrée à la figure 2.

Judas et al. (2006) ont proposé une analyse des spectres d'atténuation des RX par de la régression PLS combinée à un lissage du modèle de calibrage par PLS.

Au Danemark, Christensen et Borggaard (2005) se sont d'abord focalisés sur la reproductibilité des rayons X. Ils ont suggéré l'utilisation d'une étape de pré-traitement avant d'appliquer des méthodes de modélisation multivariée pour prédire le % de muscle. Puis, afin de prendre en compte le contexte spatial lors des scans RX, Lyckegaard et al. (2006) ont appliqué des méthodes contextuelles issues du domaine

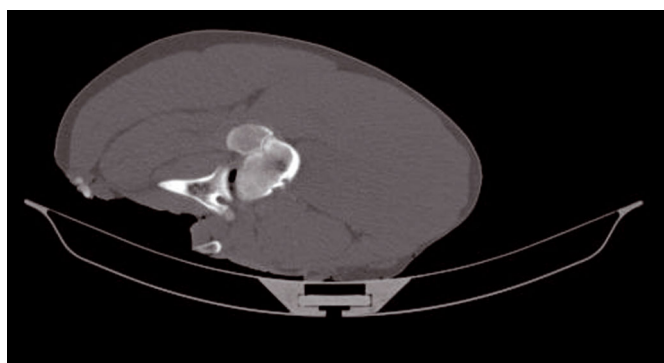


Figure 1 : Image scanner de jambon

de l'analyse d'image. En combinant un algorithme contextuel (Larsen, 2000) avec une étape de post-traitement mathématique, ils ont développé un modèle de poids de carcasse basé sur des «dissections virtuelles».

Finalement, Christensen et al. (2006) ont comparé les deux techniques : analyse par volume contextuel et calibrage du spectre. Ils ont trouvé que la première méthode constituait une alternative très intéressante à la seconde méthode. Cependant, des améliorations étaient nécessaires pour éviter les erreurs de classement de la couenne en muscle.

Il n'y a pas de doute que les recherches prévues dans les prochaines années dans le domaine de la classification porcine en Europe profiteront à la communauté mondiale et au secteur des productions animales en général.

Quelques autres travaux ont été menés. En Hongrie, Romvari et al. (2005) ont étudié la variabilité de

Dans les années 90, les RX ont été utilisés dans la sélection des types génétiques et des lignées.

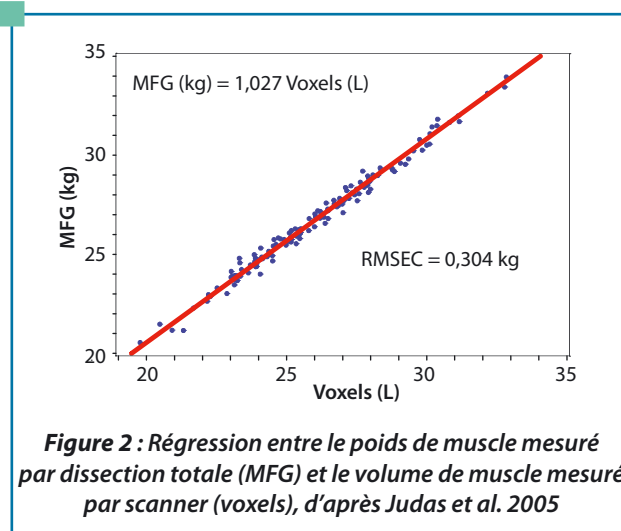


Figure 2 : Régression entre le poids de muscle mesuré par dissection totale (MFG) et le volume de muscle mesuré par scanner (voxels), d'après Judas et al. 2005

Comme la poitrine est constituée de multiples couches fines de tissu, une difficulté consiste à gérer efficacement les zones où les tissus musculaires et adipeux sont mélangés.

la composition de la poitrine par le scan d'animaux vivants. Leurs résultats sont en accord avec ceux de Horn et al. (1997). Ils ont développé un protocole d'imagerie et d'analyse des données pour des objectifs de sélection. Cependant, comme la poitrine est constituée de multiples couches fines de tissu, une difficulté consiste à gérer efficacement les zones où les tissus musculaires et adipeux sont mélangés.

Et d'autres choses ...

Si la mesure de la composition corporelle a été la principale application de la technologie RX appliquée à la filière porcine, quelques chercheurs l'ont appliquée à d'autres thématiques.

Au niveau génétique, en appliquant des mesures de composition corporelles RX *in vivo*, Knap et al. (2003) ont proposé un modèle de croissance susceptible de discriminer les types génétiques. Ce type de suivi de composition corporelle *in vivo* des animaux paraît extrêmement intéressant pour des applications en génétique mais aussi en **alimentation ou en conduite d'élevage**.

Au niveau sanitaire, Magyar et al. (2003) ont envisagé d'utiliser des

images issues de scanner RX afin d'appréhender sans coupe de groin **les structures nasales et notamment l'atrophie des cloisons.**

Au niveau technologique, Vestergaard et al (2005) ainsi que Haseth et al. (2007) se sont employés à modéliser **l'incorporation de sel dans les jambons au cours du salage**. En effet l'apport de sel dans le jambon augmente progressivement la densité des muscles et donc le signal sur les images de scanner RX (Figure 3).

Dans les autres filières...

La technologie RX a été aussi appliquée dans d'autres filières d'élevage ; il est évident que certaines de ces utilisations sont transposables à la filière porcine.

La filière qui a le plus bénéficié des apports de la technologie d'imagerie scanner est **la filière ovine**. En effet, dès 1997 en Nouvelle-Zélande, Jopson et al estimaient le bénéfice économique obtenu en incluant des mesures scanner sur la teneur en maigre et en gras dans les programmes de sélection des béliers terminaux. Sept ans plus tard la même équipe néo-zélandaise (Kvame et al, 2004) estimait à 1,02 million de \$ NZ (environ 500 000 €) le bénéfice net d'un

programme de sélection d'horizon 10 ans basé sur la composition des pièces par rapport à un programme basé seulement sur le poids de maigre de la carcasse.

L'apport du scanner dans ce type de programme permet d'avoir accès à des critères plus approfondis que le simple taux de muscle. Ainsi, toujours dans la filière ovine, Karamichou et al. (2007) ont proposé un « CT index » comme critère de sélection sur un programme de 5 ans. Cet index, basé sur 4 « coupes » scanner, permet **d'améliorer à la fois la composition de la carcasse et la conformation**. De même, Jones et al. (2002) tout comme Navajas et al. (2007) ont développé des mesures de « muscularité » chez le mouton *in vivo* et l'agneau à partir de 3 à 5 images de densité, permettant là aussi de ne pas se limiter à la teneur en maigre mais d'avoir aussi des informations plus poussées sur la conformation de la carcasse. Ce type d'approche semble pertinente à transposer dans la filière porcine ; en effet aujourd'hui les critères de qualité de carcasse ne prennent pas en compte ces aspects de **répartition du maigre et du gras et la notion de conformation**.

Toujours dans la filière ovine, Afonso en 2002 a étudié **la composition corporelle pendant la croissance, la gestation et la lactation**. Ce type d'études permet d'acquérir des connaissances approfondies sur **la réponse de la composition corporelle par rapport à des paramètres comme l'accès à l'aliment ou le stade physiologique**. Cela permet aussi d'étudier **les besoins nutritionnels en fonction du sexe et du type génétique** afin d'assurer une composition corporelle adéquate (Ball et al. 1995).

Outre des données quantitatives sur la composition, le scanner per-

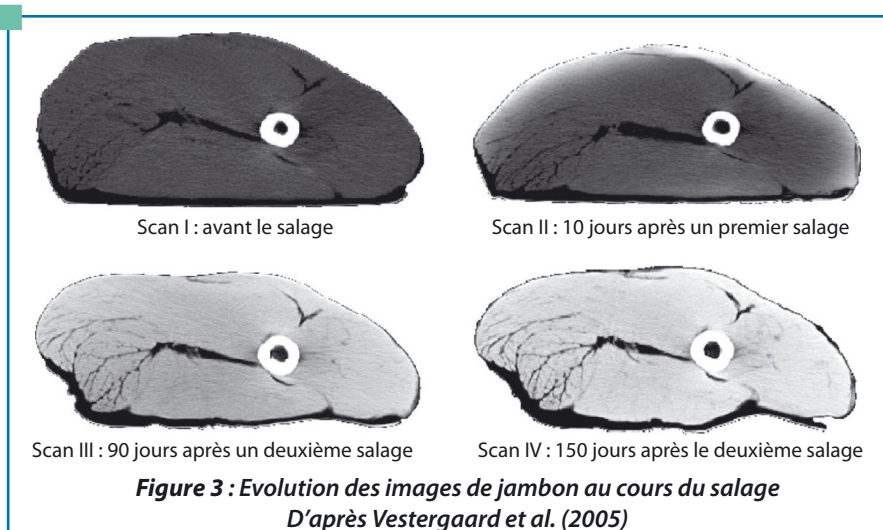


Figure 3 : Evolution des images de jambon au cours du salage
D'après Vestergaard et al. (2005)

met aussi d'acquérir des données quantitatives sur la densité des tissus ; ainsi, Campbell et al. en 2003 ont mené une étude sur la variation génétique de **la densité osseuse** mesurée au scanner RX chez le mouton. Ce type d'étude pourrait être appliqué dans la filière porcine, notamment pour juger de **la qualité des aplombs**.

De même, Karamichou et al. (2006) ont constaté chez le mouton une corrélation entre la densité du muscle mesurée par scanner et des mesures de qualité de viandes « classiques » comme **la teneur en gras intramusculaire, le pH, la jutosité et la flaveur**.

Ainsi, l'expérience de la production ovine dans les applications de la

tomographie RX permet d'envisager de telles applications chez le porc dans les années à venir.

Les applications RX dans les autres filières sont plus marginales. Dans la filière bovine, la taille de l'animal limite les applications ; néanmoins, les Japonais ont travaillé sur un prototype de scanner pour vache (Nade et al., 2005). En revanche, Hollo et al. (2006) ont montré qu'en se limitant à l'étude de trois côtes on pouvait prédire au scanner la valeur bouchère de bovins.

Conclusion

L'investissement récent de la filière porcine dans un scanner RX permet d'envisager de développer une gamme importante

d'applications de cette technique en recherche et développement chez le porc. Bien que l'application principale sera l'étude de la composition corporelle, avec en premier lieu le développement d'une méthode de mesure par scanner de la teneur en muscle, susceptible à terme de remplacer la mesure par dissection comme méthode de référence, d'autres applications sont envisagées. Dans les mois et années à venir, des mesures scanner RX devraient être incluses dans une forte proportion des études de l'IFIP, que ce soit sur **la qualité des produits frais et transformés, pour le développement de nouveaux critères de sélection génétique, dans des études d'alimentation, de croissance ou de techniques d'élevage.** ■

L'application principale sera l'étude de la composition corporelle, avec le développement d'une méthode de mesure par scanner de la teneur en muscle, susceptible de remplacer la mesure par dissection comme méthode de référence.

Contacts :

mathieu.monziols@ifip.asso.fr
gerard.daumas@ifip.asso.fr

* Cet article a été rédigé à partir des travaux bibliographiques menés par l'Institut pour préparer l'acquisition d'un scanner à rayons X par la filière française :

- Daumas G., Coudray L., Monziols M., Agapito G., 2008. Compte rendu annuel d'activité sur les méthodes de classement des porcs dans le cadre de la convention de partenariat entre l'Office de l'Élevage et l'IFIP pour 2007, 29-47.
- Pomar C, Marcoux M, Gispert M, Font i Furnols M and Daumas G, in press. Determining the lean content of pork carcasses. In: J P Kerry and D A Ledward (Eds), Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat, Chapter 21, section 21.4. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.

Références bibliographiques

- Afonso J J M (2002). Changes in body composition in sheep during growth, pregnancy and lactation. Ph.D. Thesis. Department of Animal Science, University of New England, Armidale, AUS.
- Allen P and Vangen O (1984). X-ray tomography of pigs - some preliminary results, in Lister D, In Vivo Measurement of Body Composition in Meat Animals. Elsevier, London, 52-66.
- Ball A J, Thompson J M, Hinch G N, Blakely A R, Fennessy P F (1995). Feed requirements for maintenance of mature rams and ewes from lines divergently selected for differences in body composition. Proceedings of the new Zealand Society of Animal Production 55:133.
- Campbell A W, Bain W E, Mc Rae A F, Broad T E, Johnstone P D, Dodds K G, Veenvliet B A, Greer G J, Glass B C, Beattie A E, Jopson N B, Mc Ewan J C (2003). Bone density in sheep: genetic variation and quantitative trait loci localisation. Bone, 33, 540-548
- Christensen L B and Borggaard C (2005). Challenges in the approval of CT as future reference for grading of farmed animals. 51st ICoMST, Baltimore, Maryland USA, 260-269.
- Christensen L B, Lyckegaard A, Borggaard C, Romvári R, Olsen E V, Branscheid W, Judas M (2006). Contextual volume grading vs. spectral calibration, 52nd ICoMST, Dublin, Ireland.
- Daumas G (2004). Pig classification in Europe: why and how to change the reference? Proceedings of the 39th Simposio Internazionale di Zootecnia "Meat Science & Research", CNR Roma 10 giugno 2004, 23- 42.
- Dobrowolski A, Branscheid W, Romvári R, Horn P, Allen P, (2004). X-ray computed tomography as possible reference for the pig carcass evaluation. Fleischwirtschaft, 84 (3), 109-112.
- Dobrowolski A., Romvári P., Allen P., Branscheid W., Horn P., (2004). Schlachtkörperwertbestimmung beim Schwein : Röntgen-Computertomographie als mögliche Referenzmethode. Fleischwirtschaft (3), pp 109-112.
- Glasbey C A and Robinson C D (2002). Estimators of tissue proportions from X-ray CT images. Biometrics, 58, 928-936.

- Glasbey C A and Robinson C D. (1999) Inference from X-ray CT images of sheep, Invited talk at 52nd ISI Session, Helsinki, Finland.
- Haseth T T, Egeland S B, Bjerke F, Sorheim O. (2007). Computer tomography for quantitative determination of sodium chloride in ground pork and dry-cured ham. *Journal of food science*, 72 (8), E420-E427.
- Hollo G., Tözsér, Hollo I, Szücs E, Repa I. (2006). Estimation de la valeur bouchère de bovins à partir de la tomographie de rayons X en Hongrie. 3R Rencontres Recherche Ruminants.
- Horn P. Using X-ray Computed Tomography to Predict Carcass Leanness in Pigs. National Swine Improvement Federation Conference and Annual Meeting, Clive, Iowa, 1995.
- Horn P, Kövér Gy, Repa I, Berényi E, Kovách G (1997). The use of spiral CAT for volumetric estimation of body composition of pigs. *Arch Tierzucht*, 40, 445-450.
- Hounsfield G N (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography). Part I: Description of system. Part II: Clinical applications. *British Journal of Radiology*, 46:1016-1022.
- Jones H E, Lewis R M, Young M J, Wolf B T (2002). The use of X-ray computer tomography for measuring the muscularity of live sheep. *Anim. Sci.*, 75, 387-399.
- Jopson N B, Mc Ewan J C, Fennessy P F, Dodds K, G, Nicoll G B, Wade C M (1997). Economic benefit of including computed tomography measurements in a large terminal sire breeding programme. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.*, 12, 72-76.
- Jopson N B, Kolstad K, Sehested E, Vangen O (1995). Computed tomography as an accurate and cost effective alternative to carcass dissection. *Proc. Aust. Assoc. Anim. Breed. Gen.* 11, 635-639.
- Judas M, Höreth R, Dobrowolski A (2005). Computertomographie als Methode zur Analyse der Schlachtkörper von Schweinen [Computed tomography as an analytical method for pig carcasses]. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*, 44 (169), 145-151.
- Judas M, Höreth R, Dobrowolski A, Branscheid W (2006). The measurement of pig carcass lean meat percentage with X-Ray computed tomography. 52nd ICoMST, Dublin, Ireland, 641-642.
- Karamichou E, Richardson R I, Nute G R, Mc Lean K A, Bishop S C (2006). Genetic analyses of carcass composition, as assessed by X-ray computer tomography, and meat quality in Scottish Blackface sheep. *Animal Science*, 82, 151-162.
- Karamichou E, Merrell B G, Murray W A, Simm G, Bishop S C (2007). Selection for carcass quality in hill sheep measured by X-ray computer tomography. *Animal*, 1, 3-11
- Knap P W, Roehle R, Kolstad K, Pomar C, Luiting P (2003) Characterization of pig genotypes for growth modeling. *Journal of animal science* 81 (E. Suppl. 2) E187-E195.
- Kolstad K (2001). Evaluation of lean and fat deposition in swine selection. The use of computer tomography to measure lean and fat deposition in live pigs. 2nd int virtual conf Pork Quality, via Internet .
- Kolstad K, Jopson N B and Vangen O (1996). Breed and sex differences in fat distribution and mobilisation in growing pigs fed at maintenance, *Livest. Prod. Sci.*, 47, 33-41.
- Kolstad K and Vangen O (1996). Genetic differences in maintenance efficiency when accounting for changes in body composition. *Livest. Prod. Sci.*, 47, 23-32.
- Kvame T, Mc Ewan J C, Amer P R, Jopson N B (2004) Economic benefit in selection for weight and composition of lamb cuts predicted by computer tomography. *Livest. Prod. Sci.* 90, (2-3), 123-133.
- Larsen R (2000). 3-D contextual Bayesian classifiers. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9 (3), 518-524.
- Luiting P, Kolstad K, Enting H, Vangen O (1995). Pig breed comparison for body-composition at maintenance – analysis of computerized-tomography data by mixture distributions. *Livestock Production Science*, 43(3), 225-234.
- Lyckegaard A, Larsen R, Christensen L B, Vester-Christensen M, Olsen E V (2006). Contextual analysis of CT scanned pig carcasses. 52nd ICoMST, Dublin, Ireland.
- Magyar T, Kovacs F, Donko T, Biro H, Romvari R, Kovacs M, Repa I (2003). Turbinate atrophy evaluation in pigs by computed tomography. *Acta vet Hung*, 51 (4), 485-491.
- Nade T, Fujita K, Fujii M, Yoshida M, Haryu T, Misumi S, Okomura T (2005). Development of X-ray computed tomography for live standing cattle. *Animal Science Journal* 76, 513-517.
- Navajas E A, Lambe N R, McLean K A, Glasbey C A, Fischer A V, Charteris A J L, Bünger L, Simm G (2007). Accuracy of in vivo muscularity indices measured by computed tomography and their association with carcass quality in lamb. *Meat science* 75 (3) 533-542
- Romvari R, Szabo A, Karpati J, Kovach G, Bazar G, Horn P (2005). Measurement of belly composition in pigs by in vivo computed tomographic scanning. *Acta Vet Hung*, 53 (2), 153-162.
- Sehested E and Vangen O (1989). Computer tomography, a non-destructive method of carcass evaluation. Proceedings of the EAAP Symposium of the commission on pig production, Helsinki, Finland, 1 July 1988, 98-102.
- Skjervold H, Gronseth K, Vangen O, Evensen A (1981). In vivo estimation of body composition by computerised tomography. *Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie*, 98, 77-79.
- Szabo Cs, Babinszky L, Verstegen M W A, Vangen O, Jansman A J M, Kanis E (1999). The application of digital imaging techniques in the in vivo estimation of the body composition of pigs : a review. *Livestock Production Science*, 60, 1-11.
- Vangen O (1984). Evaluation of carcass composition of live pigs based on computed tomography. 35th Annual Meeting of the EAAP, The Hague. August 6-9, 1984.
- Vangen O (1992). Estimation of body composition of pigs using computer assisted tomography. *Pig News and Information*, 13 (4) 159-162.
- Vangen O and Standal N (1984). Tissue deposition rate in genetically lean and fat pigs estimated by computed tomography. 35th Annual Meeting of the EAAP. The Hague, August 6- 9, 1984.
- Vestergaard C, Erbou S G, Thauland T, Adler-Nissen J, Berg P (2005). Salt distribution in dry-cured ham measured by computed tomography and image analysis. *Meat Science* 69, 9-15.