

Etude réalisée par



**Mesure de l'état d'engraissement des
carcasses à l'abattoir
Rapport final
INTERBEV/OFIVAL/ADIV
Juillet 2002**



et



SOMMAIRE

1 – CONTEXTE – OBJECTIFS	1
2 – PROGRAMME	3
2.1 – METHODES ET TECHNIQUES DE MESURE DE L’ETAT D’ENGRAISSEMENT DES CARCASSES EN FIN DE LIGNE D’ABATTAGE	5
21.1 <i>Techniques existantes ou en cours de développement</i>	5
21.2 <i>Contraintes, limites et coût de chacune de ces méthodes</i>	6
2.2 – BIOMETRIE – RELATIONS ENTRE LES MESURES FAITES SUR LES CARCASSES EN FIN DE LIGNE D’ABATTAGE ET LES RENDEMENTS (ET/OU COMPOSITION CORPORELLE)	7
3 – ETAT DES LIEUX DES METHODES DE MESURE DE L’ETAT D’ENGRAISSEMENT	8
3.1 – CLASSIFICATION SELON UNE GRILLE D’EVALUATION	10
31.1 – <i>En Europe</i>	10
31.2 – <i>Etats Unis</i>	11
31.3 – <i>Autres pays</i>	12
3.2 – MACHINES A CLASSER	13
32.1 – <i>Les différents équipements</i>	13
32.2 – <i>Les performances des machines par rapport aux classificateurs</i>	19
32.3 – <i>Aptitude des machines à classer pour prévoir les rendements</i>	21
3.3 – SYSTEMES ULTRA-SONS	22
33.1 – <i>Les appareils ultra sons</i>	22
33.2 – <i>Les performances des systèmes à ultra sons</i>	25
3.4 – LES SYSTEMES OPTIQUES	28
3.5 – MESURES DES PROPRIETES ELECTRIQUES DE LA VIANDE	31
35.1 – <i>L’impédancemétrie</i>	31
35.2 – <i>Le balayage électromagnétique</i>	33
3.6 – AUTRES METHODES	35
36.1 – <i>Mesure du poids spécifique</i>	35
36.2 – <i>Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)</i>	36
36.3 – <i>Rayons X. Biphotonique</i>	36
3.7 – CONTRAINTES, LIMITES ET COUTS	36
4 – LA BIOMETRIE	40
5 – CONCLUSION – SYNTHÈSE	46

ANNEXES

1 – CONTEXTE – OBJECTIFS

Actuellement, l'état d'engraissement des carcasses de bovins est évalué en fin de ligne d'abattage par un classificateur agréé. Depuis peu de temps, une machine à classer est disponible (machine NormaClass) et est installée dans plusieurs abattoirs français.

Toutefois, l'évaluation de la conformation et de l'état d'engraissement par un classificateur reste subjective. Pour les machines à classer, les résultats concernant l'évaluation de la conformation sont bons, par contre, l'évaluation de l'état d'engraissement reste plus problématique.

D'autre part, la mise en place de la pesée brute sans émoussage va sans doute induire des modifications concernant l'appréciation de l'état d'engraissement par les classificateurs.

Or, actuellement, les méthodes d'évaluation de l'état d'engraissement (classificateur ou machine à classer) sont basées sur une grille d'évaluation qui résulte essentiellement d'un compromis entre les opérateurs de la filière mais n'est pas directement relié au sens prédictif du terme à des notions de rendement en découpe ou aux étapes ultérieures de la filière.

Le programme avait pour objectif de faire un état des lieux des méthodes existant ou en cours de développement qui permettent de quantifier (et pas seulement évaluer) l'état d'engraissement des carcasses en fin de ligne d'abattage.

2 – PROGRAMME

Le programme prévu avait pour objectifs de faire un état des lieux concernant les méthodes objectives de mesure de l'état d'engraissement des carcasses de bovins à l'abattoir.

En effet, les méthodes actuelles de classement des carcasses utilisés en Europe consistent à évaluer l'état d'engraissement externe des carcasses sur la base d'une grille d'évaluation comportant 5 classes.

Mais, la répartition entre le gras externe et le gras interne est variable selon les animaux, la race, la méthode d'engraissement, etc.

Outre le fait que le classement tel qu'il est fait actuellement dans la plupart des abattoirs est subjectif et peut varier selon le classificateur ; cette méthode d'évaluation n'est pas prédictive de la quantité réelle de gras contenu dans la carcasse (gras interne notamment) et *a fortiori* du rendement de découpe. Les méthodes de mesure de l'état d'engraissement et de prédiction du rendement en découpe ont fait l'objet de nombreux travaux.

Le programme avait pour but de faire un état des lieux des méthodes de mesure de l'état d'engraissement dans les deux domaines suivants :

- méthodes de mesure de l'état d'engraissement et de prédiction des rendements de découpe,
- biométrie.

2.1 – METHODES ET TECHNIQUES DE MESURE DE L'ETAT D'ENGRAISSEMENT DES CARCASSES EN FIN DE LIGNE D'ABATTAGE

Cet état des lieux a été réalisé dans les domaines suivants :

21.1 Techniques existantes ou en cours de développement

Plusieurs techniques sont actuellement utilisées ou en cours de développement. Parmi ces techniques on peut citer notamment :

- les méthodes de mesures directes de l'épaisseur de gras de couverture :
Ces techniques sont utilisées notamment en Australie, Nouvelle Zélande ainsi qu'aux USA. Elles consistent simplement à mesurer avec une règle graduée, l'épaisseur du gras de couverture en des points déterminés. Ces techniques sont simples à mettre en œuvre mais restent très manuelles.
- Mesures par ultra sons (ex : Ultra Fom – Autofom) :
Plusieurs appareils basés sur la vitesse de propagation des ultra sons ont été développés (SFK, etc.) notamment dans le cas des porcs et pourraient être adaptés au cas des bovins.
- Mesures par systèmes optiques (type Fat O Meter) :
Ces systèmes sont basés sur la différence de réflexion de la lumière entre les tissus gras et les tissus maigres. Ces techniques sont particulièrement bien adaptées au cas des porcs car pour cette espèce la séparation des tissus gras et des tissus maigres est très nette. Mais leur adaptation au cas des bovins risque d'être délicate.

- Systèmes Infra-rouges :

Des systèmes utilisant l'Infra-rouge ont également été développés (Daumas et Al 1998 – Devine et MC Glane 1998) mais n'ont pas eu à notre connaissance d'application industrielle.

- Mesures des propriétés électriques :

La Bio Impédance-métrie est utilisée depuis plusieurs années dans le domaine médical pour mesurer la composition corporelle des patients. Récemment, on a vu apparaître sur le marché des pèse-personnes utilisant ce principe. En théorie, il serait donc envisageable d'utiliser cette technique pour évaluer l'état d'engraissement des carcasses en fin de ligne d'abattage. Ce système présenterait l'avantage d'être très rapide (1 à 2 secondes) et de pouvoir être entièrement automatisé mais il n'a fait l'objet d'aucune application dans le domaine de la viande à notre connaissance.

Le balayage électromagnétique a également fait l'objet de nombreuses études, il est également utilisé par certains pays dans des abattoirs de porcs mais son application est encore très médicale.

- Autres systèmes

D'autres méthodes ont également fait l'objet d'expérimentations. On peut notamment citer la RMN. Mais cette méthode est très coûteuse et difficile à mettre en œuvre. Il existe également des méthodes basées sur des rayons X (notamment absorption biphotonique). Ces méthodes sont utilisées dans le domaine bio-médical. Elles sont très précises et pourraient éventuellement être adaptées au cas des abattoirs ou servir de référence pour valider une autre méthode. Le coût d'un appareil de ce type est de l'ordre de 500 KF minimum pour un appareil de laboratoire de petite capacité.

21.2 Contraintes, limites et coût de chacune de ces méthodes

L'état des lieux avait pour objectif de faire apparaître les contraintes et limites techniques des différentes solutions.

L'aspect économique a également été abordé afin d'éliminer les solutions manifestement trop coûteuses.

2.2 – BIOMETRIE – RELATIONS ENTRE LES MESURES FAITES SUR LES CARCASSES EN FIN DE LIGNE D'ABATTAGE ET LES RENDEMENTS (ET/OU COMPOSITION CORPORELLE)

La Biométrie est l'étude des relations entre des mesures faites sur les animaux vivants ou les carcasses et la composition corporelle de ces animaux vivants ou carcasses en terme de muscle, gras et os notamment. La Biométrie a fait l'objet de nombreuses publications. La compilation et la synthèse des résultats avait pour objectif de déterminer des points de mesure représentatifs de l'état d'engraissement et si nécessaire les relations avec la composition corporelle de la carcasse (information indispensable pour les méthodes ne donnant pas un résultat sur l'ensemble de la carcasse).

Pour les bovins, contrairement aux porcs, l'évaluation de la quantité de gras est plus délicate. En effet, dans le cas des porcs, il y a une séparation nette entre les tissus gras et les tissus maigres ce qui n'est pas le cas pour les bovins. D'autre part, la répartition gras externe/gras intramusculaire peut varier dans de fortes proportions d'une carcasse à l'autre.

3 – ETAT DES LIEUX DES METHODES DE MESURE DE L'ETAT D'ENGRAISSEMENT

Les méthodes de mesure de l'état d'engraissement et de prédiction des rendements ont fait l'objet de très nombreux travaux (plus d'une centaine de références bibliographiques).

Ces travaux concernent :

- les animaux vivants, les carcasses et la découpe :
De nombreux travaux ont été effectués soit pour prévoir l'état d'engraissement des carcasses à partir de mesures faites sur l'animal vivant soit pour prévoir les rendements de découpe à partir de mesures faites sur les carcasses.

- le gras, le maigre, les os :
certains travaux concernent uniquement la mesure du gras, d'autres ont pour objectif de mesurer les principaux éléments de la composition corporelle.

- les différentes espèces :
Des travaux ont été faits sur les différentes espèces de boucherie (Gros Bovins, Veaux, Moutons, Porcs et même volailles).
On peut également signaler que de nombreux travaux ont été faits dans le domaine médical pour mesurer la composition corporelle du corps humain.

Les différentes méthodes de mesure de l'état d'engraissement et de la composition corporelle sont les suivantes :

- classification selon une grille d'évaluation
- machines à classer
- ultra-sons
- systèmes optiques (types fat O Meter)
- infra rouges
- étude des propriétés électriques de la carcasse (impédancemétrie et balayage électromagnétique)
- mesures du poids spécifique
- autres méthodes : RMN – rayon X par absorption biphotonique.

3.1 – CLASSIFICATION SELON UNE GRILLE D’EVALUATION

31.1 – En Europe

La classification des carcasses est effectuée selon une grille d’évaluation pour la conformation et pour l’état d’engraissement.

Différentes études montrent qu’il n’y a pas ou peu de relations entre le classement carcasse et le rendement aux différentes étapes du process.

Les résultats suivants sont extraits d’une étude réalisée par l’ADIV sur des vaches et des taurillons Limousins concernant la relation entre le classement carcasses et les rendements aux différentes étapes du process.

	Classe II			Classe III		
	1/2	Avant	Arrière	1/2	Avant	Arrière
Rendement désossage	87,51	89,80	85,53	87,67	89,63	86,02
Rendement parage	75,70	80,40	71,40	74,80	78,50	70,80
Rendement morceaux nobles	43,10	22,90	62,50	42,40	21,80	62,10
Rendement bas morceaux	32,60	45,90	10,67	32,06	54,40	9,00

Tableau 1.a : Carcasses de vaches – Effet de l’état d’engraissement sur les rendements

	Classe II			Classe III		
	1/2	Avant	Arrière	1/2	Avant	Arrière
Rendement désossage	88,4	90,5	86,4	88,3	90,5	86,3
Rendement parage	78,0	81,7	74,4	76,9	80,6	73,3
Rendement morceaux nobles	44,3	24,3	64,9	43,8	23,8	66,5
Rendement bas morceaux	33,7	57,3	9,5	33,2	56,7	9,1

Tableau 1.b : Carcasses de taurillons – Effet de l’état d’engraissement sur les rendements

Les résultats ci-dessus montrent qu’il n’y a pas de différences significatives en fonction de l’état d’engraissement. L’échantillon considéré ici ne comporte que des carcasses classées II ou III. Mais ces classes constituent la grande majorité des carcasses.

31.2 – Etats Unis

Aux USA, la classification des carcasses de bovins est basée sur :

- la classe :

Les normes américaines distinguent 5 classes de carcasses : Steers (jeune bœuf), Bullock (bœuf), Bulls (taureaux), Heifers (génisses), Cows (vaches). La distinction entre ces classes est faite en fin de ligne d'abattage selon des critères détaillés dans une norme (cf. annexe).

- la catégorie (grades of carcass) :

La catégorie est subdivisée en 2 sous-catégories :

- yield grade :

Note de rendement censée représenter le rendement que l'on pourra obtenir en découpe sur les pièces de demi gros dégraissée (½ pouce maximum de gras externe). Il existe 5 notes de rendement (1 à 5) : la note 1 représente la meilleure carcasse. Ces notes dépendent de la taille de la noix d'entrecôte et de l'épaisseur de gras au niveau de la 12^{ème} côte.

Ces notes sont utilisées dans la formule officielle USDA suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{Yield Grade} = & 2,5 + [(2,50 \times \text{épaisseur de graisse ajustée, en pouces}) \\
 & + (0,20 \times \% \text{ de graisse contenu dans les reins, le quasi et le} \\
 & \quad \text{cœur}) \\
 & + (0,0038 \times \text{poids de carcasse chaude, en livres}) \\
 & - (0,32 \times \text{surface de la noix d'entrecôte, en pouces, au carré})]
 \end{aligned}$$

- quality grade :

Il s'agit d'une évaluation de la qualité en fonction de la maturité physiologique (ossification des cartilages), du persillé (marbling), de la couleur et de la texture de la noix d'entrecôte. Ce « classement qualité » permet de distinguer 8 catégories : prime, choice, select, standard, commercial, utility, cutter, canner.

Toutes ces catégories ne sont pas applicables à tous les types d'animaux (notamment taureaux et bœufs âgés).

Le tableau suivant montre comment sont affectées les classes de qualité en fonction de la maturité physiologique et du persillé.

Relationship Between Marbling, Maturity, and Carcass Quality Grade*

Degrees of Marbling	Maturity**					Degrees of Marbling
	A***	B	C	D	E	
Slightly Abundant	Prime					Slightly Abundant
Moderate			Commercial			Moderate
Modest	Choice					Modest
Small						Small
Slight	Select			Utility		Slight
Traces					Cutter	Traces
Practically Devoid	Standard					Practically Devoid

* Assumes that firmness of lean is comparably developed with the degree of marbling and that the carcass is not a “dark cutter”.

** Maturity increases from left to right (A through E).

*** The A maturity portion of the Figure is the only portion applicable to bullock carcasses.

Tableau 2 : La notation qualité (quality grade) aux USA

Le document « United States Standards for grades of carcass beef » en annexe donne toutes les informations détaillées concernant le système de classification utilisé aux USA.

31.3 – Autres pays

Les pays d’Amérique du Sud (Argentine, etc.) utilisent un système de classement des carcasses similaire à celui utilisé en Europe (différentes classes pour la conformation et l’état d’engraissement).

Les pays anglo-saxons de la zone Pacifique (Australie – Nouvelle Zélande) utilisent un système équivalent à celui des Etats Unis.

3.2 – MACHINES A CLASSER

32.1 – Les différents équipements

Grâce aux progrès technologiques notamment dans le domaine de l'analyse d'images vidéo, des machines ont été développées pour classer les carcasses.

- NormaClass :

Machine à classer de conception française basée sur un système d'analyse d'images développé dans le but de classer les carcasses en fonction de leur conformation (selon le schéma SEUROP, +, - ou =) et en fonction de leur état d'engraissement en notes de 1 à 5.

L'appareil se compose de 6 caméras devant lesquelles passent les demi-carcasses. Les caméras prennent plusieurs vues et les images sont stockées et numérisées puis comparées à un classement de référence.

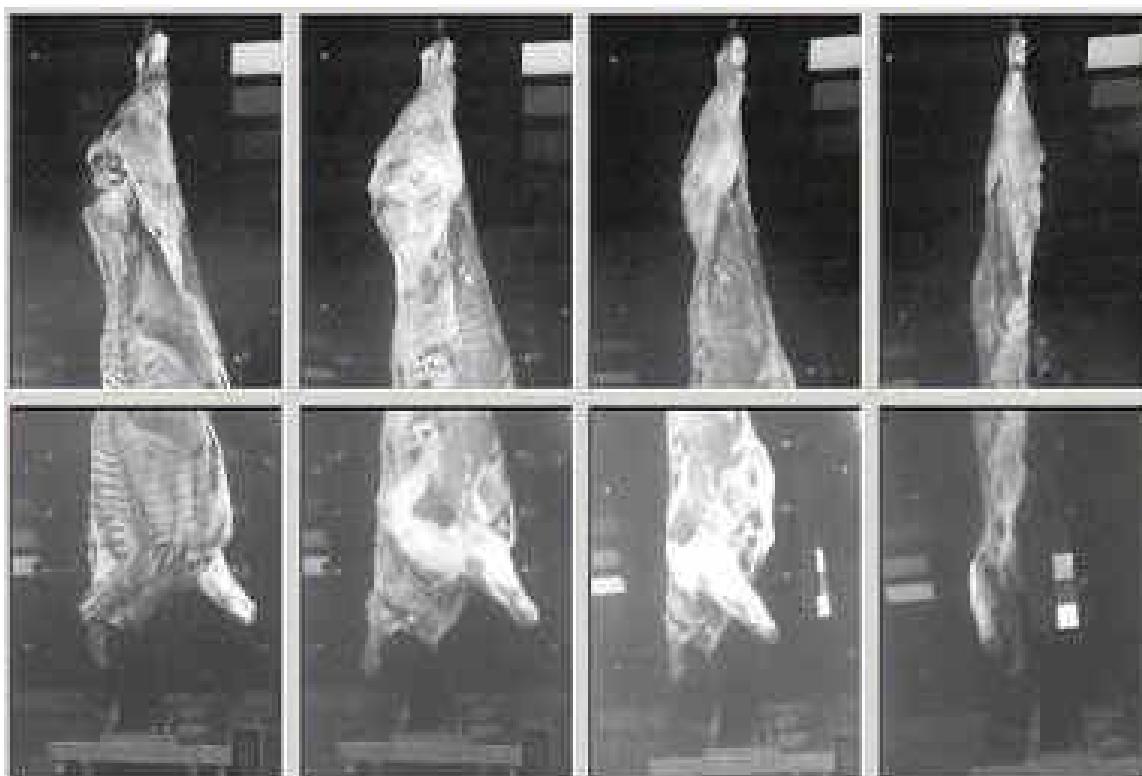


Photo 3 : Vues successives de la machine à classer NormaClass (source : NormaClass)

Plusieurs données importantes sont extraites de l'image :

- les distances entre des points fixes,
- les surfaces,
- le volume,
- le pourcentage de gras de couverture. Un système d'analyse de la couleur permet de distinguer les parties grasses et les parties maigres afin de faire un classement selon l'état d'engraissement.

Toutes ces données combinées avec le poids sont utilisées pour prédire le taux de gras et la conformation.

Près de 4 000 carcasses ont été utilisées pour le développement des algorithmes de classification. Cette base de données couvre tous les types et races de bovins français. Le traitement des données se fait en moins d'une seconde. La machine à classer fonctionne en continu sans intervention et s'adapte à la vitesse de la chaîne d'abattage, de 60 à environ 90 bêtes/heure.



Photo 4 : Machine à classer installée avec barrières de protection (source : NormaClass)

- BCC2 :

Ce système a été développé par le Danish Meat Research Institute et est actuellement commercialisé par la société SFK. La méthode utilisée consiste à éclairer la carcasse avec une série de raies lumineuses. La déformation des raies lumineuses sur la carcasse est analysée par des caméras et un système d'analyse d'image pour donner la conformation. L'état d'engraissement est basé sur l'analyse de la couleur comme pour la machine Normaclass. La figure ci-dessous montre le principe de cette machine à classer.



Photo 5 : Principe du système BCC2 (source : SFK)

- VIASCAN CARCASS SYSTEM (CS)

Il s'agit d'un appareil de classement des carcasses commercialisé par Meat and Livestock Australia qui permet d'évaluer la qualité de la viande et le rendement de découpe.

- « the VIAscan Carcass System » enregistre des mesures prises sur la carcasse au moyen de caméras et permet alors de prédire le rendement de découpe immédiatement après abattage.

Il fournit, en plus, une analyse de couleur objective de la surface de la carcasse permettant de localiser des zones plus ou moins grasses et

éventuellement des zones de contusion traduisant des mauvaises manipulations du personnel d'abattage. Ce même système existe aussi pour le classement des carcasses d'ovins.

- Il existe un autre type de système VIAscan : « the VIAscan chiller Assessment System » (ou ribeye camera), qui mesure de façon objective la surface et la forme de la noix d'entrecôte, le pourcentage de persillé, l'épaisseur du gras et la couleur de gras. Ces mesures permettent de prédire le rendement en découpe et la qualité de la carcasse. Ceci suppose une opération de découpe.

Le « VIAscan Caracass System » et le « VIAscan chiller Assessment System » peuvent être utilisés indépendamment ou simultanément.

- VBS 2000 :

Il s'agit d'une machine commercialisée par la société allemande E + V.

Cette machine s'intègre dans la ligne d'abattage et permet d'évaluer et de classer de façon automatique les carcasses de bovins. La méthode utilisée est identique à celle employée par le système BCC2 de SFK puisqu'elle consiste à éclairer la carcasse avec une série de raies lumineuses et à analyser leur déformation sur la carcasse.

La carcasse est disposée sur un support mobile muni d'une caméra externe.

Les données des images sont évaluées avec un logiciel spécial de traitement de données qui permet de classer les carcasses et d'estimer le rendement de découpe.



Photo 6 : Principe de fonctionnement du VBS 2000 (Source : E + V)

La société E + V a également développé un système d'évaluation automatique des carcasses de porc s'intégrant dans la ligne d'abattage : le VCS 2000.

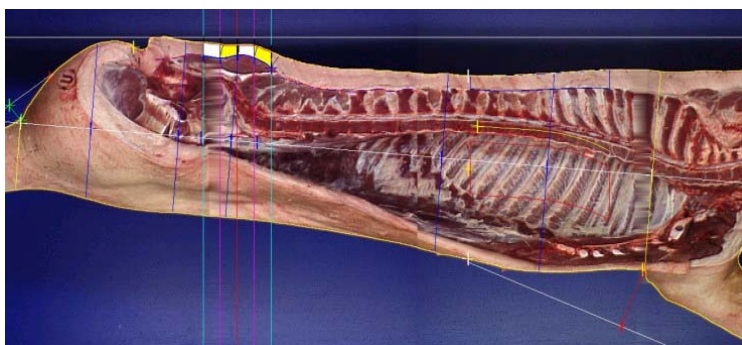


Photo 7 : Principe de fonctionnement du VCS 2000 (Source : E + V)

Le système est composé de 3 appareils photo permettant l'acquisition de la silhouette du porc. Tout comme le système VBS 2000, le traitement des données par un logiciel adapté permet de fournir des indications sur le rendement de découpe et le poids de certaines pièces telles que le jambon, l'échine, ...

Ce même type de machine existe également pour classer les ovins : le VSS 2000 et également les volailles : le VTS 2000.

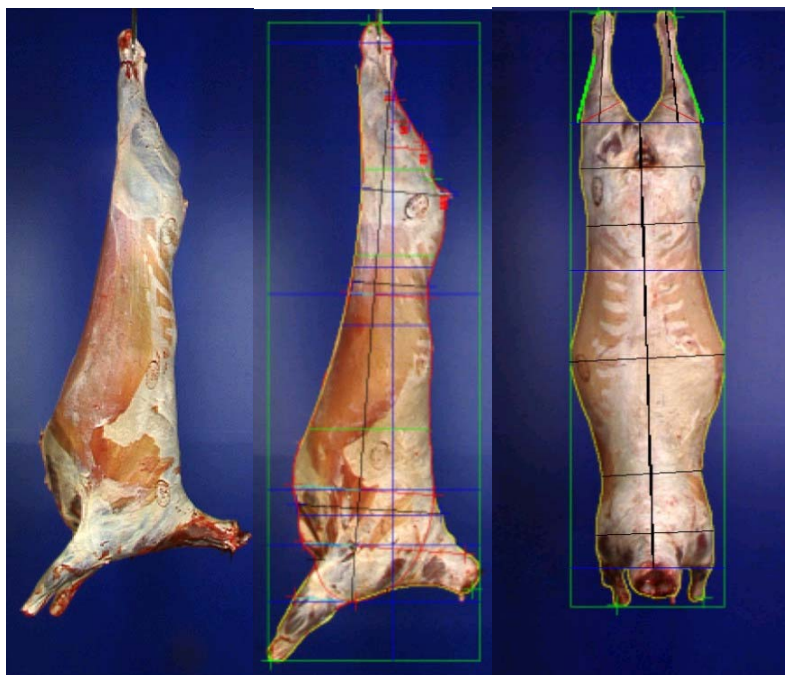


Photo 8 : Principe de fonctionnement du VSS 2000 (Source : E + V)

Dans le cas du VTS 2000, le système composé de 3 appareils photo, réalise une vue de face pour la détermination de la valeur commerciale, une vue avant et arrière pour l'inspection de défaut.

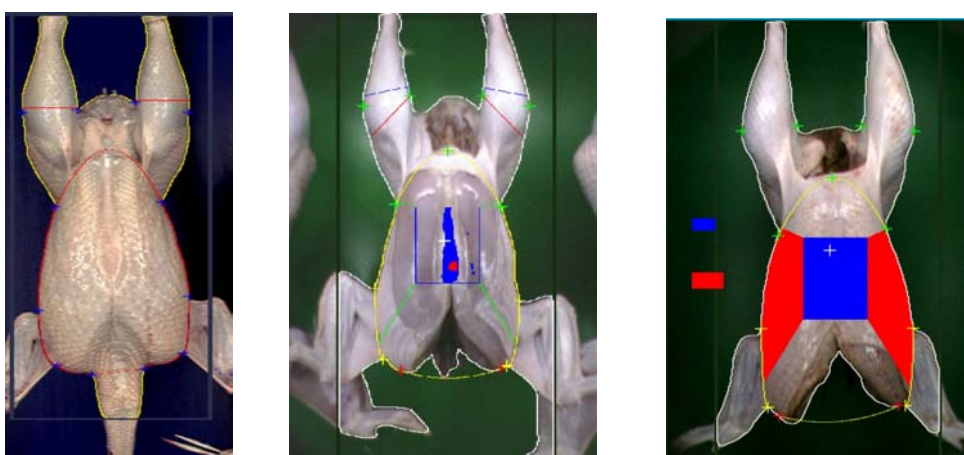


Photo 9 : Principe de fonctionnement du VTS 2000 (Source : E + V)

Le système est capable d'analyser une carcasse en moins de 0,5 seconde (> 7 200/h).

32.2 – Les performances des machines par rapport aux classificateurs.

Diverses études ont été réalisées par des organismes de recherche ou au niveau de la Commission Européenne pour comparer les performances des machines à classer.

		BCC2		VIAScan		VBS2000			NormaClass
		Test 1 ^a	Test 2 ^a	Test 1 ^a	Test 2 ^a	Test 1 ^b	Test 2 ^a	Test 3 ^a	Test 1 ^b
Conformation	% sous évalué d'une classe	47.4	22.5	18.5	15.1	14.1	18.5	14.2	22.2
	% bien classé	39.9	58.3	56.3	45.0	68.8	56.3	52.2	46.5
	% surévalué d'une classe	5.5	16.3	21.7	30.9	13.8	21.7	29.0	23.9
	TOTAL	92.8	97.0	96.5	91.0	96.7	96.5	95.4	92.7
	RSD	0.93		0.92	0.91	0.64	0.92		0.90
Engraissement	% sous évalué d'une classe	26.7	22.9	21.3	21.9	19.4	21.3	16.8	21.1
	% bien classé	34.4	34.8	29.4	28.0	49.1	29.4	30.8	24.3
	% surévalué d'une classe	19.3	22.0	23.9	22.1	18.6	23.9	26.7	22.9
	TOTAL	80.4	79.6	74.6	72.0	87.1	74.6	74.4	68.3
	RSD	1.14		1.38	1.38	1.01	1.38		1.56

BCC2 : SFK Danemark – VIAScan : Australie – VBS2000 : E + V Allemagne – NormaClass : France

^a = Allen P and Finnerty N - 2000

^b = European Commission - 2000

**Tableau10 : Correspondance entre différentes machines à classer et les classificateurs
(Echelle 15 points) – Lebert 2000**

Ce tableau montre que, en ce qui concerne la conformation, le pourcentage de carcasses classées par les machines de la même façon que les classificateurs varie de 91 à 97% selon les machines et les essais.

Pour ce qui concerne la mesure de l'état d'engraissement, les performances varient de 68,3% à 87,7% selon les machines et les tests effectués.

D'une façon générale, la prédiction de l'état de conformation est meilleure que la prédiction de l'état d'engraissement pour les différents systèmes.

Par ailleurs, on constate que la performance des systèmes est :

- meilleure pour la conformation et l'état d'engraissement lorsqu'ils sont jugés sur une échelle de 15 points,
- plus ou moins bonne selon la saison.

Les performances de la machine à classer NormaClass ont été également évaluées par une expérimentation en double aveugle. Cette étude a consisté à évaluer les taux de concordance :

1. entre le classement effectué par la machine et le classement réalisé par 3 experts de l'OFIVAL,
2. entre le classement réalisé par des juges standards et le classement par les experts.

Les résultats sont présentés dans le tableau 11 :

		CONFORMATION		ENGRAISSEMENT
		Taux de concordance au 1/3 de la classe +, - ou =	Taux de concordance à la classe	Taux de concordance à la classe
Bœufs	Machine	46%	90%	76%
	Juges standards	41%	86%	59%
Génisses	Machine	47%	93%	71%
	Juges standards	41%	85%	74%
Jeunes bovins	Machine	45%	89%	63%
	Juges standards	46%	89%	68%
Vaches	Machine	44%	92%	66%
	Juges standards	42%	82%	67%
Tous types confondus	Machine	39%	86%	58%
	Juges standards	40%	84%	68%

**Tableau 11 : Concordance en pourcentage entre le classement de la machine, le classement par des juges standards et 3 juges experts
(Résultats publiés sur www.normaclass.com)**

Ces résultats montrent que le classement qui concorde le plus au classement expert est celui réalisé par la machine. Par ailleurs, on remarque que les performances du système sont

meilleures pour la conformation que pour l'état d'engraissement mais ceci se remarque également chez les juges standards.

32.3 – Aptitude des machines à classer pour prévoir les rendements.

Une étude a été effectuée récemment pour mesurer l'aptitude des machines à classer pour prédire les rendements en découpe et la quantité de viande commercialisable.

Dans un premier temps, une calibration des machines a été effectuée sur un échantillon de carcasses afin de calculer les équations de prédiction de la quantité de viande commercialisable.

Dans un second temps, un échantillon de validation a été passé sur les machines afin de vérifier la précision des équations de validations. Les résultats sont donnés dans les tableaux 12 :

		Side weight (kg)	Yield weight (kg)	Yield (%)
Validation set N = 133	Mean	164.0	122.0	76.1
	Standard deviation	33.8	27.4	2.24
Full set N = 394	Mean	164.9	123.4	76.4
	Standard deviation	29.8	23.8	1.8

Tableau 12a : Caractéristiques de poids des demi carcasses(Side Weight), de la viande désossée (Yield Weight) et rendements (Yield) de l'échantillon de validation et de l'ensemble des carcasses

	VIA System		
	BCC2	VIA scan	VBS 2000
Correlation coefficient	0.84	0.85	0.87
Residual standard deviation (in % of sealable meat)	1.20	1.20	1.12

Tableau 12b : Corrélation entre la prédiction des machines à classer et la quantité de viande désossée réelle (Allen et Finnerty, 2000)

Les résultats obtenus montrent que le coefficient de corrélation entre les prédictions de la machine et la quantité réelle de viande désossée est de $r = 0,84$ à $r = 0,87$ selon les machines considérées.

L'écart type résiduel en pourcentage du poids de viande désossée mesure la précision de la prédiction faite par les machines à classer. On constate que l'erreur moyenne de prédiction est de 1,2% environ.

3.3 – SYSTEMES ULTRA-SONS

Les ultrasons sont utilisés depuis 1950 mais les techniques étaient lentes et laborieuses. Depuis, elles se sont nettement améliorées avec l'introduction, dans les années 70, du Scanogram et du SVC Scanner (Anderson, 1975) et plus récemment, le « Real Time Ultrasonic Scanning » (RTUS), qui utilise une nouvelle génération d'équipements portables et conçu dans un but médical, a offert la possibilité de réaliser des mesures rapides et exactes à un prix modéré (Turner et al., 1990).

La mesure de l'état d'engraissement par les Ultra-sons a fait également l'objet de nombreux travaux et des appareils ont été développés selon ce principe.

33.1 – Les appareils ultra sons

Différents systèmes ont été développés et sont d'ores et déjà utilisés pour les carcasses de porcs au stade industriel. Parmi ces systèmes, on peut citer :

▲ l'Ultra fom (Société SFK)

Il s'agit d'un appareil manuel qui est appliqué sur les carcasses, entre la 3^{ème} et la 4^{ème} côte, et qui envoie un train d'ondes ultra soniques à l'intérieur de celles-ci.

Quand l'onde ultra son rencontre une interface entre des tissus de densité différente (par exemple entre la graisse et le muscle), l'écho est renvoyé au capteur. L'intervalle de temps entre l'onde et l'écho permet de calculer la profondeur à laquelle se trouve l'interface et donc de calculer l'épaisseur de graisse et de muscles. Le système fournit également le pourcentage de maigre dans la carcasse.

La figure 13 montre une photographie de cet appareil.

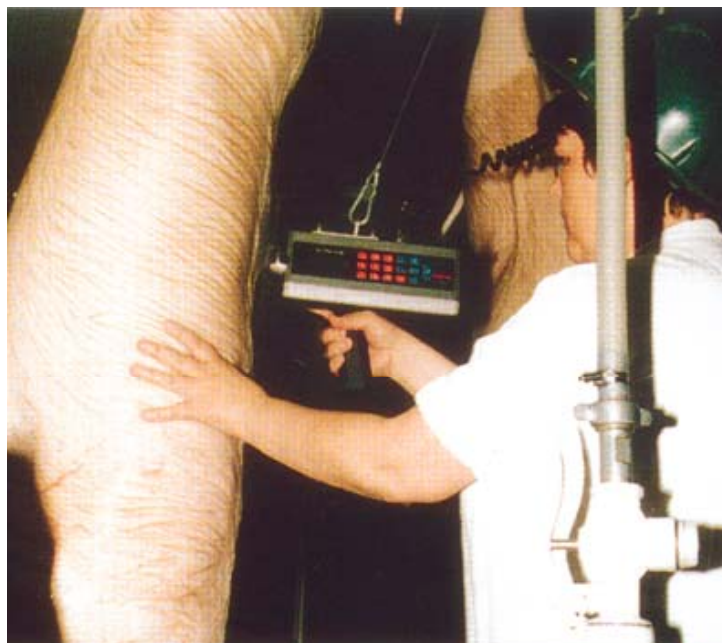


Figure 13 : Ultra Fom
(Source : SFK)

▲ L'Auto fom (Société SFK) :

Cet appareil a été mis au point plus récemment. Il s'agit d'un appareil entièrement automatique qui permet de mesurer l'état d'engraissement des carcasses.

La figure 14 montre une vue schématique de cet appareil.



Figure 14 : l'Auto fom (Source : SFK)

Cet appareil est constitué d'une série de transducteurs électro-acoustiques sur lesquels passent les carcasses de porcs (figure 15). Le signal recueilli permet de mesurer la quantité de tissus gras et tissus maigres.

En intégrant le poids de la carcasse, le système peut prédire le poids en kilos de morceaux de découpe de la carcasse. L'Auto fom indique aussi la répartition de la viande en prédisant le poids en kilos des morceaux de découpe venant du jambon, de l'échine, de l'épaule et de la poitrine.

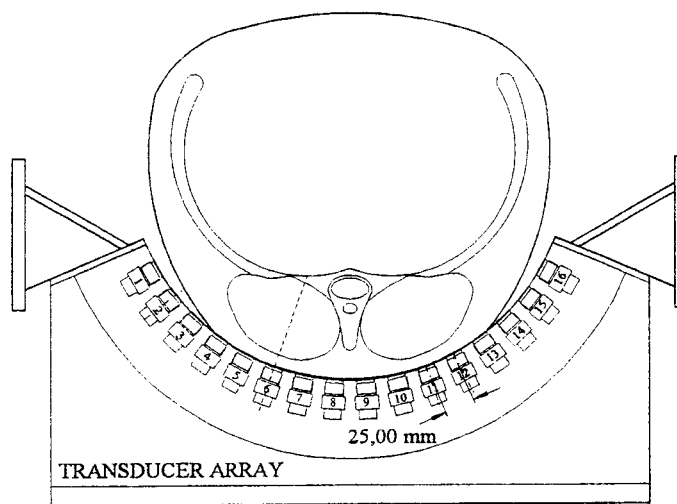


Figure 15 : Schéma de principe de l'auto fom

Ces appareils sont basés sur la mesure de la vitesse de propagation des ultrasons qui est différente dans les tissus gras et les tissus maigres comme le montre le schéma suivant :

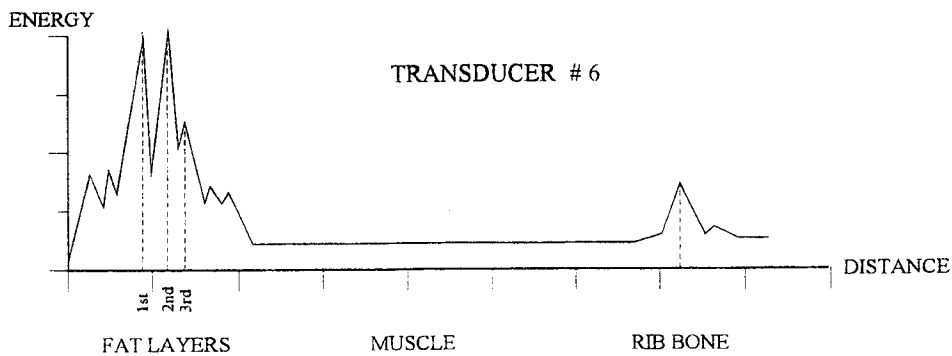


Figure 16 : Vitesse de propagation des ultra-sons dans les tissus gras et maigres

Plus la quantité de gras est importante dans les tissus traversés, plus la vitesse des ultrasons est faible.

De plus, cette méthode permet de prendre en compte les différents types de gras traversés au niveau des sites choisis : les gras sous-cutanés, les gras intermusculaires et les gras intramusculaires.

Dans le cas des porcs, ces appareils fonctionnent bien car la séparation des tissus gras et maigres est beaucoup plus nette chez les porcs que chez les autres espèces.

33.2 – Les performances des systèmes à ultra sons

Pour les bovins et les ovins, plusieurs expérimentations ont été réalisées pour savoir s'il était possible de prévoir les épaisseurs de gras de couverture et la surface de la noix d'entrecôte ainsi que les rendements en découpe en fonction de mesures ultrasoniques faites sur les animaux vivants.

Houghton et Turlington, en 1992, ont réalisé une synthèse des différents résultats obtenus concernant des mesures ultrasons.

La capacité des ultrasons à prédire la qualité de la carcasse est variable et dépend, entre autre, de l'espèce, de l'instrumentation employée et de la compétence du technicien.

Les études réalisées sur les ultrasons concernent essentiellement des mesures sur des animaux vivants.

Les coefficients de corrélation (r) entre les mesures réalisées sur carcasses et les mesures réalisées par ultrasons, sont, pour chaque espèce :

Espèce	Mesures	Coefficient de corrélation (R)
Porc	Epaisseur de gras	0,20 à 0,94
	Surface du faux-filet	0,27 à 0,93
Mouton	Epaisseur de gras	0,42 à 0,95
	Surface du faux-filet	0,36 à 0,79
Bœuf	Epaisseur du gras	0,45 à 0,96
	Surface du faux-filet	0,20 à 0,94
	Persillé	0,20 à 0,91

Tableau 17 : Relation entre la mesure aux ultrasons sur les animaux vivants et la qualité des carcasses pour différentes espèces

L'application des ultrasons dans le cas du porc fournit une bonne prédiction des caractéristiques de carcasse (taux de graisse, ...) et une bonne prédiction du pourcentage de morceaux maigres avant abattage.

L'utilisation des ultrasons a également été étudiée comme méthode possible de prédiction du rendement de découpe dans le cas du porc (Akridge et al., 1992 et Gresham et al., en 1992). Ces études révèlent que cette technique pourrait être utilisée pour prédire le rendement de découpe. La meilleure corrélation a été trouvée en réalisant une mesure de l'épaisseur de graisse sous-cutanée au niveau de la longe.

Mesures US	Coefficient de corrélation (R)
Epaisseur de graisse	0,76 à 0,80
Surface de la longe	< 0,39

Tableau 18 : Coefficients de corrélation entre les mesures ultrasons et le rendement de découpe

Le développement actuel du logiciel de l'appareil Autofom permet notamment de calculer le pourcentage de maigre de la carcasse et le poids de maigre de certaines pièces de découpe (cf. tableau 19) :

Prédiction du maigre	Coefficient de corrélation (R)
% maigre de carcasse	0,89
Poids de maigre :	
- de l'épaule	0,95
- de l'échine	0,95
- du jambon	0,92
- de la poitrine	0,87

Tableau 19 : Coefficient de corrélation entre les données de l'Autofom et le pourcentage de maigre chez le porc (Source : SFK)

Par ailleurs, les ultrasons présentent l'avantage de fournir de bons résultats à partir de mesures réalisées sur l'animal vivant, celles-ci expliquant 64% de la variation du rendement de découpe.

Dans le cas de l'agneau, les résultats sont un peu plus limités. La plupart des données indiquent que le poids et/ou l'estimation visuelle de la graisse sont tout au moins aussi exacte que les prévisions par ultrasons de la composition de la carcasse.

Dans le cas du bœuf, les ultrasons ont été utilisés, avec succès parfois, pour prédire la teneur en graisse, les caractéristiques du muscle avant abattage et la composition chimique des carcasses de bœuf.

Smith et al. en 1992 ont obtenu les résultats suivants (dans le cas des bovins) :

	Précisions des résultats	Coefficient de corrélation
Epaisseur de gras	62 à 74% des échantillons classés à $\pm \frac{1}{2}$ pouce	0,81 à 0,82
Surface de la noix d'entrecôte	47 à 54 % des échantillons classés à $\pm \frac{1}{2}$ pouce carré (6,45 cm ²)	0,43 à 0,63

Tableau 20 : Relation entre la mesure aux ultrasons sur les animaux vivants et la qualité des carcasses

Les résultats obtenus (cf. tableaux 17 et 20) montrent que les systèmes ultrasons permettent une bonne prédiction de l'épaisseur de gras sur la carcasse mais ne sont pas très efficaces pour prédire la surface de la noix d'entrecôte et d'une manière plus générale le rendement de découpe.

Par ailleurs, la capacité à prédire le persillé (cf. tableau 17) reste incertaine et nécessite quelques améliorations.

Quoiqu'il en soit, il existe peu d'études sur l'utilisation des ultrasons sur les carcasses de bovins à l'abattoir pour prédire les rendements en découpe. Les informations obtenues auprès des fournisseurs d'équipements semblent montrer que ce système ne peut être utilisé sur les carcasses de bovins pour prédire le rendement en découpe.

3.4 – LES SYSTEMES OPTIQUES

Plusieurs appareils ont été développés sur le principe de réflectance. Il s'agit de mesurer la différence de réflectance entre muscles et tissus adipeux, à une longueur d'onde déterminée de la lumière visible suffisamment éloignée du rouge, pour localiser les limites entre ces tissus. Plusieurs appareils ont été développés sur ce principe : le Fat-O-Meat'er de SFK, le PG-100 electronic Pork Grader de Destron, le HGP de Hennessy ou bien encore le CGM version 01-A fabriqué par la société SYDEL. Certains sont utilisés indirectement par les machines à classer pour estimer l'état d'engraissement.



***Photo 21 : Le Fat-O-Meat'er
(Source : SFK Technology)***



***Photo 22 : Le PG-100 Pork Grader
(Source : Anitech)***



Photo 23 : Le CGM de SYDEL
(Source : SYDEL)



Photo 24 : HGP, Hennessy Grading Probe
(Dr. Eric Berg, U. MO.)
(Source : “Midwest Regional Sheep
Seedstock Workshop”, Purdue University)

L'appareil se compose en général d'une sonde, et d'un boîtier contenant les systèmes électroniques, équipée d'une poignée-pistolet et d'une mire pour le repérage des sites de mesures. Une source lumineuse diffuse de la lumière par une ouverture située près de l'extrémité de la sonde et un détecteur mesure l'intensité de la lumière réfléchie.

Au fur et à mesure que la sonde pénètre dans les tissus, un microprocesseur enregistre la distance parcourue par la sonde (avec une précision de 0,125 mm) ainsi que l'intensité de la lumière réfléchie. L'appareil peut ainsi calculer la position des interfaces muscle/graisse ainsi que les épaisseurs de tissus adipeux et de muscles. Les mesures préalables permettent d'établir une équation de régression multiple entre les épaisseurs des tissus à des sites déterminés et le rendement réel en viande. Ainsi l'estimation du rendement en viande se fait par simple calcul à partir des mesures enregistrées (Eynard, 1990).

Toutes ces applications sont réalisables dans le cas du porc. Par contre, dans le cas des bovins ou des ovins, les mesures d'épaisseurs de gras sous cutané et de muscles à partir des sondes de réflectance n'autorisent pas une estimation suffisamment précise du rendement en viande de ces carcasses pour être utilisées commercialement.

Elles peuvent néanmoins constituer une partie des paramètres de l'estimation et pourraient être combinées à d'autres types de mesure (analyses d'image, impédance, ...).

Une étude a d'ailleurs été réalisée par Garrett et al, en 1992, pour évaluer la capacité du Hennessy Grading Probe (HP ; Hennessy Lamb Grading Probe SP2, Hennessy Grading systems, Auckland, New Zealand) à estimer le rendement en découpe de carcasses d'agneaux. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Types de mesures	Découpe « vente en gros »		Découpe « vente au détail »	
	Épaisseur de graisse	Rendement de découpe	Épaisseur de graisse	Rendement de découpe
Mesures HP sur carcasses chaudes	0,79 (p < 0,001)	- 0,59 (p < 0,01)	0,70 (p < 0,001)	- 0,69 p < 0,001)
Mesures HP sur carcasses froides	0,82 (p < 0,001)	- 0,59 (p < 0,01)	0,83 (p < 0,001)	- 0,62 p < 0,001)

Tableau 25 : Coefficient de corrélation entre l'épaisseur de graisse réelle (mesurée par une réglette métallique) et le rendement de découpe avec les différentes mesures HP.

Les mesures réalisées par le HP se révèlent être meilleures lorsqu'elles sont pratiquées sur des carcasses refroidies.

Bien que les coefficients de corrélation entre les mesures HP et les rendements de découpe soient significatifs, Garret et al., concluent que les équations de régression incluant les mesures HP ne sont pas très bien corrélées au rendement de découpe sauf si l'on inclut d'autres variables comme le pourcentage de graisse contenue dans les reins et la région pelvienne (le quasi).

Pomar et al., 2000, concluent , dans le cadre d'une étude sur les porcs, que le modèle de prédiction du rendement de découpe devrait inclure l'estimation par la sonde de l'épaisseur de gras et de muscle au niveau dorsal pour être plus précis.

3.5 – MESURES DES PROPRIETES ELECTRIQUES DE LA VIANDE

Les variations des caractéristiques électriques de la viande en fonction de sa composition lipides/protéines ont fait l'objet de nombreuses études aussi bien chez le porc que pour les bovins ou les ovins.

35.1 – L'impédancemétrie

a) Etudes sur les ovins

Différentes études ont été effectuées en mesurant l'impédance entre 2 électrodes placées aux extrémités de la carcasse.

Sur des carcasses d'agneaux, Hegarty et al., 1998 ont obtenu les résultats suivants :

Composition corporelle	Coefficient de corrélation R
Eau	0,80
Protéines	0,58
Matières grasses	0,59

Tableau 26 : Impédancemétrie sur des ovins

Selon ces auteurs, les résultats obtenus sont meilleurs lorsque la mesure d'impédance est faite en diagonale sur la carcasse par rapport aux mêmes mesure faites verticalement.

Concernant les corrélations entre les mesures d'impédance sur des ovins (environ 60) et les rendements de découpe, Slinger et al., en 1994, obtiennent les résultats suivants (tableau 27) :

Rendements en découpe	a	b	c
Animal vivant	0,89	0,87	0,88
Carcasse chaude	0,97	0,96	0,95
Carcasse refroidie	0,98	0,98	0,97

- a = Gigot, carré, filet, coffre, épaule, collier, côtelettes, jarret, viande parée
- b = Gigot, carré, filet, coffre, épaule
- c = Gigot, carré, filet

Tableau 27 : Coefficients de corrélation R entre les mesures d'impédance et le poids total en kg de pièces de découpe

L'impédance donne donc de bons résultats pour les ovins puisqu'elle permet de quantifier le rendement de découpe de certaines pièces avec beaucoup de précision.

b) Etudes sur les porcs

Une étude a également été réalisée sur des porcs (90 environ) par Swantek et al., en 1992. Les résultats obtenus sont très encourageants. L'équation établie intègre des variables obtenues par mesure d'impédance et prédit la masse de tissu maigre avec un coefficient de corrélation $r = 0,90$ pour des mesures sur animal vivant et $r = 0,92$ pour des mesures après ressuage.

c) Etudes sur les bovins

Marchello et Slanger, en 1994, ont étudié la possibilité d'utiliser l'impédancemétrie sur des carcasses de bovins pour prédire la quantité de viande. Des mesures ont été faites sur les animaux vivants après saignée, en fin de ligne d'abattage, et sur les carcasses après réfrigération. Les résultats ont été obtenus sur 33 animaux :

Lieu de mesure	Coefficient corrélation (R)	
	Quantité muscle	Quantité maigre
Animal vivant	0,95	0,93
Après saignée	0,98	0,96
Fin de ligne d'abattage	0,97	0,95
Après ressuage	0,96	0,93

Tableau 28 : Impédancemétrie sur des bovins

Une équation a également été développée pour prédire le pourcentage de graisse intramusculaire du faux filet avec un coefficient de corrélation $R = 0,91$.

Ces résultats montrent que l'impédancemétrie peut être une méthode intéressante pour prédire les rendements de découpe et la composition des carcasses de bovins.

Ceci confirme notamment des études faites dans le domaine médical pour prévoir la composition corporelle des patients.

d) Appareil à impédancemétrie

Différents systèmes ont été développés pour faire des mesures ponctuelles sur les carcasses.

Le DMRI (Danish Meat Research Institute) a notamment développé un appareil portable permettant de mesurer le persillé des carcasses : l'EIT (Electrical Impedance Tomography) et fonctionnant sur le principe de l'impédancemétrie. Une photo de cet appareil est donnée ci-dessous

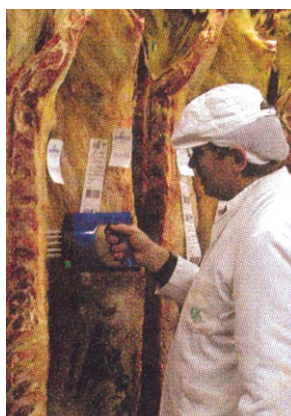


Figure 29 : appareil EIT mis au point par le DMRI (Source : DMRI)

Cet appareil est composé d'une série d'aiguilles disposées en forme de couronne que l'on plante dans la carcasse pour évaluer le niveau de persillé. Il n'a pas été possible d'avoir des informations concernant les performances de cet appareil.

35.2 - Le balayage électromagnétique

Il faut distinguer l'impédance bioélectrique de la mesure TOBEC (Total Body Electrical Conductivity ou balayage électromagnétique) qui est basée sur la conductivité du courant à travers les tissus maigres d'un corps ou d'une carcasse. En effet, contrairement au TOBEC, l'impédance bioélectrique implique un contact direct avec la carcasse pour appliquer le courant électrique.

De plus, dans le cas de l'impédance bioélectrique, la carcasse se comporte comme une combinaison complexe de résistance et de capacitance tandis que le TOBEC est une méthode

uniforme qui est basée sur le principe physique d'induction et de perméabilité électromagnétique.



Photo 30 : TOBEC

(Dr. Micke Neary, Purdue U.)

(Source : “Midwest Regional Sheep Seedstock Workshop”, Purdue University)

Les résultats obtenus pour les 2 méthodes sont similaires selon Segal et al. (1998).

Berg et al. (1993) ont montré que la géométrie des carcasses devait être uniforme pour obtenir des résultats corrects avec les mesures TOBEC. Les coefficients de corrélation varient entre 0,94 et 0,99 selon la température et l'orientation.

Berg et al., en 1994, ont étudié la capacité du balayage électromagnétique à prédire le rendement en découpe des carcasses de porcs. Ils obtiennent les résultats suivants :

lieu de mesure	Quantité de maigre		% de maigre	
Préigor	R = 0,95	erreur ± 1,59 kg	R = 0,93	erreur ± 2,05%
Après ressuage	R = 0,91	erreur ± 1,80 kg	R = 0,91	erreur ± 2,29%

Tableau 31 : Balayage électromagnétique sur des porcs

Les résultats obtenus par balayage électromagnétique sont donc très satisfaisants dans le cas du porc.

Toutefois, le principe de cette méthode implique que les carcasses passent au travers d'un tunnel, ce qui est très encombrant, et qui ne paraît pas envisageable dans le cas des bovins.

Dans le cas des ovins, le poids de carcasse semble être le meilleur estimateur de la composition chimique mais le balayage électromagnétique pourrait être employé quand les carcasses ont approximativement le même poids (Wishmeyer et al., 1998).

Par ailleurs, bien que nous n'ayons pas pu récolter des informations sur le montant de l'investissement, il semblerait que le coût soit très élevé. En effet, ce système nécessiterait un équipement très spécialisé. Sa cadence est également limitée (300 à 400 carcasses/h). Son application reste donc, pour l'instant, surtout d'ordre médical.

3.6 – AUTRES METHODES

36.1 – Mesure du poids spécifique

Le poids spécifique des carcasses est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Poids spécifique} = \frac{\text{poids dans l'air}}{\text{poids dans l'eau} \times \text{poids dans l'air}}$$

Il a fait l'objet de plusieurs études en relation avec la composition corporelle. Les résultats obtenus sont les suivants :

Espèce	Corrélation (R) avec	
	Lipides	Protéines
Porcs	0,82	0,88
Volailles	0,87	0,86
Bovins	?	?

Tableau 32 : Corrélation du poids spécifique avec la quantité de lipides et de protéines des carcasses

Les résultats obtenus sur des porcs et des volailles (Pesti and Bakalli, 1997) semblent montrer une très bonne corrélation entre le poids spécifique et la composition de la carcasse en lipides et protéines. On peut signaler également que toutes les études mettent en évidence une corrélation négative entre lipides et protéines.

Aucune étude n'a été faite sur les bovins.

Cette méthode pourrait être très intéressante en complément de la machine à classer. En effet, l'analyse d'image permet d'obtenir le volume de la carcasse et le poids est connu en fin de ligne d'abattage.

Si cette méthode fonctionne, elle devrait permettre sans équipement supplémentaire d'obtenir une information plus pertinente que celle de la machine à classer concernant la prédiction des rendements en découpe.

36.2 – Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)

Cette technique a été utilisée pour mesurer la composition corporelle des carcasses. Les résultats sont très bons (coefficients de corrélation 0,9 à 1).

Mais cette technique est très coûteuse en investissement et ne paraît pas pouvoir être utilisée en abattoir.

36.3 – Rayons X. Biphotonique

Cette technique a fait l'objet d'un certain nombre de travaux et donne également de très bons résultats.

Mitchell et al., en 1998, obtiennent une bonne corrélation entre les mesures aux rayons X et le pourcentage de graisse ($R = 0,90$).

Toutefois, comme la RMN, l'investissement est très important (plusieurs millions de francs) et les machines actuelles ne permettent pas de passer une carcasse entière de bovins.

3.7 – CONTRAINTES, LIMITES ET COUTS

► La classification selon une grille

Le système de classification actuel des carcasses en Europe participe à la détermination du prix de la carcasse. Cependant, il est critiqué puisqu'il fait appel au jugement de l'homme et donc reste très subjectif. Le prix d'achat des animaux est fixé en fonction d'un classement établi par des classificateurs salariés par l'entreprise et agréés par l'OFIVAL.

De nombreuses méthodes ont donc été développées afin de rendre la classification des carcasses plus objective et dans le but de prédire le pourcentage de graisse et/ou le rendement de découpe.

► **Les machines à classer**

Ces machines à classer, de type NormaClass, BCC2, VIAscan et VBS 2000 obtiennent de très bons résultats puisque le coefficient de corrélation entre les prédictions de ces machines et la quantité réelle de viande désossée varie entre 0,84 et 0,87. Les résultats concernant la mesure de l'état d'engraissement sont toutefois un peu moins satisfaisants.

D'un point de vue technique, ces machines fonctionnent en continu et s'adaptent à la cadence d'abattage de 60 à 100 bêtes/heure.

L'investissement financier pour des machines à classer est relativement élevé.

Le coût d'un tel système s'élève à environ 115 000 € HT pour une machine NormaClass semi-automatique et autour de 130 000 € HT pour une machine entièrement automatique.

Le coût du système BCC-2 s'élevait en 1998 à 1,40 MF soit environ 213 400 €.

En plus du coût à l'achat, ces systèmes impliquent parfois une adaptation et donc une réorganisation de la chaîne d'abattage et par conséquent un investissement supplémentaire non négligeable.

Malgré le coût, les machines à classer présentent un certain nombre d'avantages :

- elles fournissent des résultats objectifs et permettent de quantifier avec une assez bonne précision le rendement de découpe,
- elles sont relativement rapides,
- elles sont automatiques et fonctionnent en continu sans intervention,
- elles représentent une aide au classement pour les classificateurs.

► **Les systèmes ultrasons**

Les systèmes US sont très développés dans le cas des porcs mais leur application ne semble pas envisageable dans le cas de bovins.

Les résultats obtenus concernant les relations entre les mesures ultrasons et la qualité des carcasses sont variables et dépendent surtout de l'espèce. Toutefois, dans le cas du porc, les mesures ultrasons fourniraient une bonne prédiction des caractéristiques de carcasse (taux de graisse, ...) et une bonne prédiction du pourcentage de maigre.

Parmi les systèmes ultrasons qui ont été développés, certains appareils sont manuels comme l'ultrafom ou bien automatiques comme l'Autofom.

L'ultrafom a l'avantage d'être économique, extrêmement robuste et ne demande que très peu de service et d'entretien. Il est facile à utiliser et est idéal pour les sites de petites et moyennes tailles. Il s'adapte à une cadence d'environ 1 200 carcasses/h (annoncée par SFK Technology). L'autofom représente un coût de 305 000 € environ mais comporte de nombreux avantages :

- il est automatique donc rapide,
- il est objectif,
- il est peu encombrant.

Tous ces systèmes ultrasons présentent également l'avantage d'être non invasifs ce qui réduit les possibilités d'introduction de bactéries.

► **Les systèmes optiques**

Plusieurs appareils ont été développés sur le principe de réflectance mais ne sont appliqués actuellement qu'aux porcs en raison de la différence de répartition du gras dans la carcasse des bovins.

Ces systèmes fournissent de bonne prédiction de l'épaisseur de graisse ($r = 0,70$ à $0,83$) mais ne semblent pas très bien corrélés au rendement en découpe.

De plus, les limites actuelles de performance de ces types de sondes sont liées en grande partie à leur mise en œuvre manuelle : cadence limitées en moyenne à 300 porcs par homme et par heure, mais aussi à leur défaut de répétabilité surtout à cadences élevées, qui est dû essentiellement à une mauvaise orientation de la sonde au moment de son insertion dans la carcasse.

► **Mesures des propriétés électriques de la viande**

○ **L'impédancemétrie**

L'impédancemétrie a fait l'objet de nombreuses études. Les résultats ont montré que ce système permettait de prédire avec une assez bonne précision les quantités de muscle et de maigre des carcasses de bovin ($r = 0,93$ à $0,98$) à différentes étapes (en vie, après saignée, en fin de ligne d'abattage et après ressuage). Les études sur les carcasses d'ovins permettent également de fournir de bonnes corrélation entre les mesures d'impédance et le poids total en kg de pièces de découpe ($r = 0,87$ à $0,98$). Les résultats obtenus dans le cas du porc sont tout aussi encourageant. Ce système présente d'autres avantages, notamment le fait d'être rapide, non destructeur et probablement économique (environ 5 000 €).

- **Le balayage électromagnétique**

Ce système semble donner d'aussi bons résultats que l'impédancemétrie, c'est ce que démontre Bert et al., dans une étude menée sur des ovins en 1997. Toutefois, il ne paraît pas applicable dans le cas des bovins en raison de son encombrement. De plus, son investissement est relativement élevé (environ 150 000 €) car cette technologie nécessite un équipement très spécialisé.

- **La mesure du poids spécifique**

Cette mesure étant basée sur la différence de densité entre les tissus gras et les tissus maigres, les coefficients de corrélations obtenus entre ces mesures et les teneurs réelles en lipides et protéines sont élevés ($r = 0,82$ à $r = 0,88$). Néanmoins, son application directe en abattoir ne semble pas envisageable surtout pour les bovins.

Par contre, la mesure du poids spécifique serait réalisable avec les systèmes de machines à classer puisqu'elles fournissent le volume de la carcasse. Ainsi, en divisant le poids de la carcasse par le volume, on accède au poids spécifique. On aurait alors une donnée supplémentaire qui ne nécessite aucune autre mise en œuvre, mais qui, combinée aux données de la machine à classer, permettrait de prédire avec plus de précision le rendement de découpe.

- **La résonance magnétique nucléaire et les rayons x biphotoniques**

Ces deux méthodes, bien que présentant de très bonnes corrélations avec la composition corporelle des carcasses, sont beaucoup trop coûteuses en investissement (plusieurs millions de francs) et ne paraissent pas pouvoir être utilisées en abattoir.

4 – LA BIOMETRIE

Il s'agit de l'étude des relations entre les mesures faites sur les animaux vivants ou sur les carcasses et la composition corporelle de ces animaux vivants ou carcasses en terme de muscles, gras et os notamment.

De nombreuses études ont été réalisées sur ce sujet afin de déterminer les points les plus représentatifs et les plus pertinents concernant la composition des carcasses.

◆ Dans le cas des bovins

Selon Morisse et al., en 1990, la pesée du gras d'abattage éliminé avant classement présenterait un intérêt.

La quantité de gras éliminée avant la pesée commerciale, dépend, toutes conditions égales par ailleurs, du niveau d'engraissement global de la carcasse. La quantité de gras éliminée dans ces conditions pourrait être aisément connue en plaçant un poste de pesée automatique après le poste d'éviscération. La différence entre ce poids et le poids chaud en bout de chaîne, lors de la pesée fiscale permettrait de connaître avec une grande précision, la quantité de gras éliminé : le pourcentage de gras ramené au poids brut serait dans ce cas, un indicateur très fidèle pour juger de l'état d'engraissement de la carcasse.

Dans une étude réalisée par Kent et al., en 1991, les résultats montrent que la teneur en graisse intermusculaire estimée à la 12^{ème} côte, à la 8^{ème} côte (niveau plat de côtes découvert) et à la 5^{ème} côte, est corrélée au pourcentage de graisse déterminée chimiquement : $r = -0,72$, $-0,70$ et $-0,55$ respectivement.

Le pourcentage de graisse et le rendement de découpe¹ pourraient donc être prédits à partir de l'estimation de la graisse intermusculaire (au niveau de la 12^{ème} côte) combinée à d'autres caractéristiques qui peuvent être estimées sur la carcasse chaude (surface du faux-filet, poids de carcasse chaude, pourcentage de graisse contenue autour des reins, du cœur et dans le quasi, épaisseur de graisse ajustée, ...).

Toutefois, ces données ayant été obtenues à partir de carcasses de jeunes bœufs génétiquement semblables et provenant d'un même élevage, il serait plus judicieux de réaliser d'autres études avant d'inclure ces variables dans un système de classement.

¹ Rendement de découpe obtenu selon les méthodes américaines : cutability 1 : boneless retail cuts of the round, loin, rib and chuck trimmed to 6 mm subcutaneous fat (≈ viande semi-parée)

Par ailleurs, Nour et Thonney, en 1994, ont réalisé une étude sur des carcasses de race Angus et Holstein afin de voir si la composition en eau, protéines et lipides au niveau des 9, 10 et 11^{èmes} côtes permettait de prédire la composition de la carcasse toute entière.

Les résultats sont les suivants :

Race	Eau en %	Protéines en %	Lipides en %
Angus (n = 74)			
Carcasse			
Moyenne ± ES	47,3 ± 0,52	13,6 ± 0,18	37,6 ± 0,68
Minimum	37,7	10,7	21,6
Maximum	59,8	18,3	50,2
Partie de côtes			
Moyenne ± ES	41,5 ± 0,59	11,7 ± 0,17	45,2 ± 0,77
Minimum	31,1	8,7	22,6
Maximum	60,7	15,5	59,1
Holstein (n = 69)			
Carcasse			
Moyenne ± ES	50,8 ± 0,52	14,6 ± 0,18	33,0 ± 0,67
Minimum	50,3	11,5	23,0
Maximum	59,5	18,3	46,6
Partie de côtes			
Moyenne ± ES	46,7 ± 0,56	13,4 ± 0,19	38,1 ± 0,75
Minimum	35,3	9,1	28,0
Maximum	55,7	17,0	54,1

Tableau 33 : Composition chimique des carcasses comparée à la composition chimique au niveau des 9, 10 et 11^{ème} côtes.

Ces résultats montrent que les pourcentages en eau, protéines et lipides au niveau des 9, 10 et 11^{èmes} côtes sont très fortement corrélés à ceux de la carcasse entière ($p < 0,001$) :

- $r = 0,89$ pour l'eau
- $r = 0,82$ pour les protéines
- $r = 0,91$ pour les lipides.

Des résultats similaires avaient également été observés par Powell et Huffman en 1968, Crouse et Dikeman en 1974 et plus récemment par Hedrick et al., en 1981.

La composition du tissu au niveau des 9, 10 et 11^{èmes} côtes peut donc servir comme moyen de prédiction de la composition de la carcasse entière chez le bœuf.

cutability 2 : boneless retail cuts of the round, loin, rib and chuck trimmed to 6 mm subcutaneous fat and 0 mm intermuscular fat (\approx viande parée).

Ceci est en accord avec les résultats de Brackebusch et al., en 1991, qui montrent que le pourcentage de graisse du long dorsal peut être utilisé pour prédire le pourcentage de graisse contenu dans d'autres muscles majeurs de la carcasse.

En 1998, O'Mara et al., ont étudié quelles étaient les caractéristiques à prendre en compte au niveau de l'animal vivant et/ou de la carcasse pour obtenir les meilleurs modèles de prédiction du pourcentage de maigre et de gras.

Pour cette étude, 120 vaches, de 4 génotypes différents et de 3 conformations différentes ont été testées.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Caractéristiques prises en compte	Coefficients de corrélation R obtenus entre le modèle et la composition réelle	
	Prédiction du pourcentage de graisse [Ⓐ]	Prédiction du pourcentage de maigre [Ⓑ]
① <u>sur l'animal vivant</u> - estimation du « yield grade » - l'état d'engraissement - la conformation - le poids de l'animal	R = 0,91	R = 0,91
② <u>sur la carcasse</u> - la note du « yield grade » - la teneur ajustée en graisse contenue dans les reins, le quasi et le cœur - le persillé - le poids de carcasse chaude	R = 0,96	R = 0,95

Ⓐ : % de graisse totale déterminée par analyse chimique

Ⓑ : % de maigre délipidé

Tableau 34 : Modèles de prédiction de la composition de la carcasse

Ces données montrent que les caractéristiques prises en compte aussi bien sur l'animal vivant que sur la carcasse peuvent servir à l'estimation du pourcentage de maigre.

◆ Dans le cas des porcs

Selon Johnson et al., en 1990, le poids spécifique de la demi carcasse de porc est un très bon élément de prédiction du pourcentage de graisse $R = 0,80$. Mais ils ont remarqué que ce résultat pouvait être amélioré en incluant, dans l'équation de prédiction, l'épaisseur de graisse au niveau de la 10^{ème} côte, $R = 0,85$.

D'ailleurs, Swensen et al, ont étudié, en 1998, la possibilité d'utiliser la 10^{ème} côte comme point de mesure pour prédire la composition de la carcasse entière.

L'épaisseur de graisse au niveau de la 10^{ème} côte, la surface de l'entrecôte à ce même endroit et le poids de la carcasse chaude sont pris en compte dans les équations de prédiction de la composition de la carcasse.

Les coefficients de corrélation R entre les équations de prédiction et la composition réelle de la carcasse sont présentés dans le tableau suivant :

Composition de la carcasse	Coefficient de corrélation R
Maigre (par dissection)	
En %	0,75
En kg	0,69
Graisse sous cutanée et intermusculaire (par dissection)	
En %	0,82
En kg	0,89
Matière délipidée	
En %	0,87
En kg	0,91

Tableau 35 : Coefficient de corrélation entre les équations de prédiction (incluant les mesures au niveau de la 10^{ème} côte) et la composition de la carcasse.

Les mesures au niveau de la 10^{ème} côte permettent de fournir une indication sur la composition de la carcasse mais ne permettent pas de la prédire de façon exacte.

Swensen et al., dans une seconde étude en 1998, ont cherché à connaître quels morceaux étaient les plus représentatifs de la composition de la carcasse de porc.

En fait, les résultats montrent que le morceau à prendre en compte pour réaliser des estimations sur la composition de la carcasse entière dépend du type d'estimation que l'on souhaite faire.

Ainsi, si l'on souhaite estimer les proportions de chaque composant de la carcasse obtenus après dissection, alors la dissection de la poitrine fournira la meilleure prédiction.

Par contre, si l'on souhaite estimer la composition chimique de la viande débarrassée de la peau et des os, alors les analyses pourront être réalisées sur l'échine qui est le morceau le plus représentatif de cette estimation.

✦ **Dans le cas des ovins**

Peu d'études ont été réalisées sur ovins concernant la biométrie. Toutefois, selon Tatum, en 1998, l'évaluation visuelle de l'épaisseur des muscles sur l'animal vivant permet de détecter de façon significative les différences de rendement en maigre mais cela pour des moutons du même poids.

5 – CONCLUSION – SYNTHÈSE

Actuellement, l'état d'engraissement de carcasses de bovins est évalué en fin de ligne d'abattage par un classificateur agréé.

Depuis peu de temps, une machine à classer est disponible et permet d'harmoniser la méthode de classement.

Toutefois, le classement selon la grille OFIVAL ne permet pas de prédire le rendement en découpe et/ou la composition gras/muscles/os.

Le programme avait pour objectif de faire un état des lieux des méthodes qui permettraient de quantifier (et pas seulement évaluer) l'état d'engraissement des carcasses par des mesures faites en fin de ligne d'abattage.

Les résultats obtenus montrent que la mesure de l'état d'engraissement et la prédiction des rendements de découpe et/ou de la composition corporelle ont fait l'objet de nombreux travaux (plus de 120 références bibliographiques).

Les principales techniques qui ont fait l'objet de recherches sont les suivantes :

▲ Machines à classer :

Plusieurs machines basées sur des techniques d'analyse d'image ont été développées. Les résultats obtenus montrent que ces machines sont très performantes pour mesurer la conformation. Les résultats concernant la mesure de l'état d'engraissement sont un peu moins satisfaisants.

Concernant la prédiction du rendement, les résultats disponibles semblent indiquer un coefficient de corrélation de 0,84 à 0,87 entre la prédiction de la machine et le rendement en viande.

Malgré leur coût élevé, les machines à classer présentent un certain nombre d'avantage :

- elles sont objectives et prédisent avec une certaine précision le rendement de découpe,
- elles sont rapides,
- elles sont automatiques et fonctionnent en continu.

▲ Les Ultra-sons :

L'utilisation des ultrasons pour mesurer l'état d'engraissement a fait l'objet de nombreux travaux. Actuellement, il existe plusieurs appareils utilisables dans le cas des porcs, sur les animaux vifs pour prévoir l'état d'engraissement. Les résultats montrent que ces appareils donnent de bons résultats pour prévoir l'état d'engraissement des carcasses et permettent de prédire de façon assez précise le pourcentage de maigre de la carcasse ($r = 0,89$; Autofom SFK).

Au niveau de l'abattoir, il existe un certain nombre d'appareils pour mesurer l'état d'engraissement pour les porcs. Par contre, pour les bovins, les systèmes ultrasons fournissent une bonne prédiction de l'épaisseur de gras mais pas du rendement de découpe. Dans le cas de l'agneau, c'est un peu plus limité. Il semblerait que le poids et/ou l'estimation visuelle de la graisse sont tout au moins aussi exacte que les prédictions par ultrasons.

▲ Systèmes optiques :

Les systèmes optiques (typeFat O Meter) sont couramment utilisés pour les porcs mais ne sont pas applicables aux bovins. Bien qu'ils fournissent une bonne prédiction de l'épaisseur de graisse, ils ne semblent pas bien corrélés au rendement de découpe.

Ils présentent aussi quelques défauts dans certains cas (mauvaise répétabilité, cadence limitée, ...).

▲ Mesures des propriétés électriques de la viande

○ Impédancemétrie :

L'utilisation de l'impédancemétrie pour prédire les rendements et/ou la composition corporelle ont fait l'objet de nombreux travaux.

Les résultats obtenus semblent très bons et sont très prometteurs quelle que soit l'espèce considérée (porcine, bovine ou ovine) (coefficient de corrélation supérieur à 0,9). Ceci confirme des résultats obtenus dans le milieu médical pour mesurer la composition corporelle des patients. Ce système présente aussi l'avantage d'être rapide et non destructeur.

- Le balayage électromagnétique

Bien que très performant, il semble ne pouvoir être utilisé que dans le cas du porc, en raison de son encombrement potentiel dans le cas des bovins. Il est installé dans quelques abattoir de porcs de certains pays.

▲ Mesures du poids spécifique :

La mesure du poids spécifique pour prédire la composition des carcasses a fait l'objet de quelques travaux.

Il semble que les résultats obtenus soient très bons sur des porcs ou des volailles. Cette technique mériterait d'être validée sur les bovins. En effet, les machines à classer devraient permettre de mesurer le volume de la carcasse et le poids est mesuré en fin de ligne d'abattage. Cette technique ne nécessiterait donc pas d'équipements supplémentaires à l'abattoir.

▲ Autres techniques :

D'autres techniques ont fait l'objet de quelques études, on peut notamment citer la RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) et les Rayons X biphotonique. Compte tenu de leurs coûts et de leur complexité, ces techniques ne son pas utilisables en abattoir.

En conclusion, deux techniques semblent permettre un bon compromis entre le coût et l'efficacité. Il s'agit de l'Impédancemétrie et de la mesure du poids spécifique. Les différentes méthodes présentées ci-dessus sont résumées dans le tableau 36.

Concernant la biométrie, c'est-à-dire l'étude des relations entre des mesures faites sur les animaux vivants ou les carcasses et la composition corporelle de ces animaux vivants, de nombreux résultats ont été publiés dans le cas des bovins et des porcs mais très peu dans le cas des ovins.

Dans le cas des bovins, il semblerait que la composition au niveau des 9, 10 et 11^{èmes} côtes soit très corrélée à la composition de la carcasse entière.

Dans le cas du porc, les mesures au niveau de la 10^{ème} côte permettent de fournir une indication plus ou moins précise de la composition de la carcasse.

Par ailleurs, la dissection de la poitrine fournirait une bonne prédiction des proportions des différents composants de la carcasse après dissection.

Quoiqu'il en soit, la biométrie reste plus ou moins subjective et les résultats obtenus dans toutes les études ne sont jamais aussi bons que ceux obtenus par certaines techniques présentées ci-dessus (impédancemétrie, machine à classer, ...). Mais elle pourrait éventuellement être utilisée ponctuellement pour compléter d'autres méthodes.

Méthodes de classification	Carcasses considérées	Coût approximatif en €	Possibilité de prédiction	Avantages	Inconvénients
Mesures des caractéristiques électriques ① L'impédancemétrie ② Le balayage électromagnétique	① Porcin Bovin ovin ② Porcin Ovin Serait trop encombrant pour les bovins	① Aucun système n'a été commercialisé dans ce but Usage uniquement médical ② Système existe chez les porcs mais il n'y a aucune donnée financière	① et ② Très bonne prédiction du rendement de découpe	① - précise - rapide - non destructive - probablement peu encombrant ② - précis - non destructeur	① : voir investissement à l'achat et les conditions d'utilisation ② : - semble beaucoup trop cher et trop encombrant, demande un équipement très spécialisé - cadence limitée à 300-400 carcasses/h
La mesure du poids spécifique	Porcin Ovin Bovin		Très bonne corrélation avec la composition de la carcasse en lipides et protéines	intéressant en complément de la machine à classer puisque : - précis - sans équipement supplémentaire - économique	- la mesure traditionnelle est inapplicable. Par contre, en complément de la machine à classer, il n'apparaît aucun inconvénient (que ceux relatif à l'achat de la machine à classer)

ANNEXES

Annexe 1 : Bibliographie

Références bibliographiques

- Aging and body composition. Harv Womens Health Watch 1999 Nov;7(3):7
- Ahmed PO, Miller MF, Shackelford SD, Johnson LP, Williams SE, McCann MA, Reagan JO : Effect of hot-fat trimming on factors associated with the subprimal yield of beef carcasses. J Anim Sci 1992 Feb;70(2):439-43
- Akridge JT, Brorsen BW, Whipker LD, Forrest JC, Kuei CH, Schinckel AP : Evaluation of alternative techniques to determine carcass value. J Anim Sci 1992 Jan;70(1):18-28
- Anderson B.B, Recent experimental development in ultrasonic measurement of cattle. Livest. Prod. Sci. 1975. 2 : 137
- Anderson DB, Corbin JE : Estimating body fat in mature beagle bitches. Lab Anim Sci 1982 Aug;32(4):367-70
- Anderson LM, Wahlstrom RC : Ultrasonic prediction of swine carcass composition. J Anim Sci 1969 May;28(5):593-600
- Apple JK, Dikeman ME, Cundiff LV, Wise JW : Determining beef carcass retail product and fat yields within 1 hour postmortem. J Anim Sci 1991 Dec;69(12):4845-57
- Aziz NN, Murray DM, Ball RO : The effect of live weight gain and live weight loss on body composition of merino wethers: chemical composition of the dissected components. J Anim Sci 1992 Nov;70(11):3412-20
- Baumeier A, Geissler C, Hoffmann M, Ulbrich M : [Urea utilization in growing lambs. 3. Effect of urea and straw on carcass composition]. [Article in German] Arch Tierernahr 1986 Jun;36(6):531-40
- Belk KE, Scanga JA, Tatum JD, Wise JW, Smith GC : Simulated instrument augmentation of USDA yield grade application to beef carcasses. 33: J Anim Sci 1998 Feb;76(2):522-7
- Bennett GL, Johnson DL, Kirton AH, Carter AH : Genetic and environmental effects on carcass characteristics of Southdown x Romney lambs: II. Genetic and phenotypic variation. J Anim Sci 1991 May;69(5):1864-74
- Bennett GL, Kirton AH, Johnson DL, Carter AH : Genetic and environmental effects on carcass characteristics of Southdown x Romney lambs: I. Growth rate, sex, and rearing effects. J Anim Sci 1991 May;69(5):1856-63
- Berg EP, Marchello MJ : Bioelectrical impedance analysis for the prediction of fat-free mass in lambs and lamb carcasses. J Anim Sci 1994 Feb;72(2):322-9
- Berg EP, Neary MK, Forrest JC, Thomas DL, Kauffman RG : Evaluation of electronic technology to assess lamb carcass composition. J Anim Sci 1997 Sep;75(9):2433-44
- [Berg, E. P., Neary, M. K., Forrest, J. C., Thomas, D. L., Kauffman, R. G.](#) Evaluation of electronic technology to assess lamb carcass composition. Journal of Animal Science, 75(9):2433-2444,.
- Berg E.P., Forest K.C., Tomas D.L. and Kauffman R.G., Predicting lean tissue of lamb carcasses from electromagnetic scans. J. Anim. Sci. 1993-71 (suppl. 1) : 52 (abstr.)
- Bixler EG, Combs GF, Shaffner C : Effect of protein level on carcass composition of turkeys. Poult Sci 1969 Jan;48(1):261-6
- [Blicharski, T., Ostrowski, A.](#) Evaluating the precision of slaughter **measurements** in high-meat swine **carcasses** obtained with the ULTRA-FOM 100 apparatus. Gospodarka Miesna, 47(9):32, 34,.
- Bouchard C, Bray GA, Hubbard VS : Basic and clinical aspects of regional fat distribution Am J Clin Nutr 1990 Nov;52(5):946-50.
- Brackebusch SA, Carr TR, McKeith FK, Dutton DM, McLaren DG : Relationship between marbling group and major muscle contribution to beef carcass mass. J Anim Sci 1991 Feb;69(2):625-30
- Brackebusch SA, McKeith FK, Carr TR, McLaren DG : Relationship between longissimus composition and the composition of other major muscles of the beef carcass. J Anim Sci 1991 Feb;69(2):631-40
- Brackelsberg PO, Kline EA, Willham RL, Hazel LN : Genetic parameters for selected beef-carcass traits. J Anim Sci 1971 Jul;33(1):13-7
- Brackelsberg PO, Willham RL : Relationships among some common live and carcass measurements and beef carcass composition. J Anim Sci 1968 Jan;27(1):53-7
- Brooks CC : Effect of sex, soybean oil, bagasse and molasses on carcass composition and composition of muscle and fat tissue in swine. J Anim Sci 1967 May;26(3):504-9
- Bullen BA, Quaade F, Olessen E, Lund SA : Ultrasonic reflections used for measuring subcutaneous fat in humans. Hum Biol 1965 Dec;37(4):375-84
- Bullock KD, Bertrand JK, Benyshek LL, Williams SE, Lust DG : Comparison of real-time ultrasound and other live measures to carcass measures as predictors of beef cow energy stores. J Anim Sci 1991 Oct;69(10):3908-16

- [Charagu, P. K.](#), [Crews, D. H., Jr.](#), [Kemp, R. A.](#), [Mwansa, P. B.](#) : Machine effects on accuracy of ultrasonic prediction of backfat and ribeye area in beef bulls, steers and heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, 80(1):19-24,.
- Cheek DB : Body composition studies. *Am J Clin Nutr* 1980 Sep;33(9):2060-1
- Cundiff LV, Gregory KE, Koch RM, Dickerson GE : Genetic variation in total and differential growth of carcass components in beef cattle. *J Anim Sci* 1969 Aug;29(2):233-44
- Cureton KJ : Error in estimating % fat. *Can J Appl Sport Sci* 1983 Mar;8(1):52
- [Desmoulin, B.](#), [Ecolan, P.](#), [Melani, C.](#). Estimation of pig carcass composition using the **Fat-o-Meter** instrument. *Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers*, 301,.
- [Desmoulin, B.](#), [Ecolan, P.](#), [Peiniau, P.](#), [Melani, C.](#). Classification of pig **carcasses** on the basis of their lean meat content. Possibilities and limitations of the **Fat-O-Meat'er** instrument. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 1637-48,.
- Dikeman ME, Cundiff LV, Gregory KE, Kemp KE, Koch RM : Relative contributions of subcutaneous and intermuscular fat to yields and predictability of retail product, fat trim, and bone in beef carcasses. *J Anim Sci* 1998 Jun;76(6):1604-12
- Dinkel CA, Busch DA, Schafer DE, Tuma HJ, Minyard JA, Costello WJ : Changes in composition of beef carcasses with increasing animal weight. *J Anim Sci* 1969;28(3):316-23
- Doornenbal H : Growth, development and chemical composition of the pig. II. Fatty tissue and chemical fat. *Growth* 1972 Sep;36(3):185-94
- Dumont B.L., Intérêt de la prise en compte des caractères morphologiques du squelette dans l'estimation de la composition des carcasses. *V.P.C. vol. 12 (4)*, juillet-août 1991
- [Duran, P.](#), [Harada, H.](#), [Kuwahara, M.](#), [Satou, K.](#), [Fukuhara, R.](#). The effects of operator, interpreter and machine on ultrasonic estimates of carcass traits in pigs. *Bulletin of the Faculty of Agriculture Miyazaki University*, 42(1,2):41-49,.
- el Shahat AA, el Ashry MA : Specific gravity measurements of lamb carcass joints. *Beitr Trop Landwirtsch Veterinarmed* 1987;25(4):439-42
- Elowsson P, Forslund AH, Mallmin H, Feuk U, Hansson I, Carlsten J : An evaluation of dual-energy X-Ray absorptiometry and underwater weighing to estimate body composition by means of carcass analysis in piglets. *J Nutr* 1998 Sep;128(9):1543-9
- Eston R, Evans R, Fu F : Estimation of body composition in Chinese and British men by ultrasonographic assessment of segmental adipose tissue volume. *Br J Sports Med* 1994 Mar;28(1):9-13
- Eymard P. (CEMAGREF), Procédés et systèmes objectifs d'estimation du rendement en viande des carcasses. *V.P.C. vol. 11(2)*, mars-varil 1990
- Fahmy MH, Boucher JM, Poste LM, Gregoire R, Butler G, Comeau JE : Feed efficiency, carcass characteristics, and sensory quality of lambs, with or without prolific ancestry, fed diets with different protein supplements. *J Anim Sci* 1992 May;70(5):1365-74
- Fix HP, Brutzke M, Peschke I, Hoffmann M : [The nutrient and energy disposition of growing lambs. 2. Results of slaughter and animal carcass analysis]. [Article in German] *Arch Tierernahr* 1988 Apr;38(4):327-41
- Fomon SJ : Body composition of the male reference infant during the first year of life. 44: *Pediatrics* 1967 Nov;40(5):863-70
- Forbes GB : The companionship of lean and fat. *Basic Life Sci* 1993;60:1-14
- Freking BA, Keele JW, Nielsen MK, Leymaster KA : Evaluation of the ovine callipyge locus: II. Genotypic effects on growth, slaughter, and carcass traits. *J Anim Sci* 1998 Oct;76(10):2549-59
- Fuller HL, Potter DK, Kirkland W : Effect of delayed maturity and carcass fat on reproductive performance of broiler breeder pullets. *Poult Sci* 1969 May;48(3):801-9
- Gaili ES : Effect of breed-type on carcass weight and composition in sheep. *Trop Anim Health Prod* 1979 Nov;11(4):191-8
- Garrett RP, Edwards JW, Savell JW, Tatum JD : Evaluation of the Hennessy grading probe to predict yields of lamb carcasses fabricated to multiple end points. *J Anim Sci* 1992 Apr;70(4):1146-52
- Garrett RP, Savell JW, Cross HR, Johnson HK : Yield grade and carcass weight effects on the cutability of lamb carcasses fabricated into innovative style subprimals. *J Anim Sci* 1992 Jun;70(6):1829-39
- Gauss H, Rudolph W, Fischer W : [Meat quality of broiler rabbits. 2. Chemical composition of meat of valuable cut-up parts of New Zealand white rabbits and hybrids of different body weight]. [Article in German] *Nahrung* 1976;20(2):175-9
- Gregory NG, Whelehan OP : Skull shape in relation to carcass fatness in pigs. *J Sci Food Agric* 1983 Dec;34(12):1397-403
- Gresham JD, Holloway JW, Butts WT Jr.: Prediction of mature cow carcass composition from live animal measurements. *J Anim Sci* 1986 Oct;63(4):1041-8McCurlay JR

- Gresham JD, McPeake SR, Bernard JK, Henderson HH : Commercial adaptation of ultrasonography to predict pork carcass composition from live animal and carcass measurements. *J Anim Sci* 1992 Mar;70(3):631-9
- Gresham JD, McPeake SR, Bernard JK, Riemann MJ, Wyatt RW, Henderson HH : Prediction of live and carcass characteristics of market hogs by use of a single longitudinal ultrasonic scan. *J Anim Sci* 1994 Jun;72(6):1409-16
- Griffin DB, Savell JW, Morgan JB, Garrett RP, Cross HR : Estimates of subprimal yields from beef carcasses as affected by USDA grades, subcutaneous fat trim level, and carcass sex class and type. *J Anim Sci* 1992 Aug;70(8):2411-30
- Grouse J.D. and Dikeman M.E., Methods of estimating beef carcass chemical composition. *J. Anim. Sci.* 1974-38 : 1190
- Gruber JJ, Pollock ML, Graves JE, Colvin AB, Braith RW : Comparison of Harpenden and Lange calipers in predicting body composition. *Res Q Exerc Sport* 1990 Jun;61(2):184-90
- Gu Y, Schinckel AP, Martin TG, Forrest JC, Kuei CH, Watkins LE : Genotype and treatment biases in estimation of carcass lean of swine. *J Anim Sci* 1992 Jun;70(6):1708-18
- Halvorson JC, Waibel PE, Oju EM, Noll SL, el Halawani ME : Effect of diet and population density on male turkeys under various environmental conditions. 2. Body composition and meat yield. *Poult Sci* 1991 Apr;70(4):935-40
- Hamlin KE, Green RD, Cundiff LV, Wheeler TL, Dikeman ME : Real-time ultrasonic measurement of fat thickness and longissimus muscle area : II. Relationship between real-time ultrasound measures and carcass retail yield. *J Anim Sci* 1995 Jun;73(6):1725-34
- Hassager C, Nielsen B, Christiansen C : Estimation of total body composition from single photon absorptiometry measurement of forearm fat content *Scand J Clin Lab Invest* 1989 May;49(3):233-8
- Hedrick H.B., Krause G.F., Eilersieck N.F., Epley R.J., Riley J.C. and Thomson G.B., Beef carcass composition as influenced by yield and quality grade. *J. Anim. Sci.* 1981-53 : 102
- Hegarty RS, McPhee MJ, Oddy VH, Thomas BJ, Ward LC : Prediction of the chemical composition of lamb carcasses from multi-frequency impedance data. *Br J Nutr* 1998 Feb;79(2):169-76
- Hewadikaram KA, Goff ML : Effect of carcass size on rate of decomposition and arthropod succession patterns. *Am J Forensic Med Pathol* 1991 Sep;12(3):235-40
- Hicks C, Schinckel AP, Forrest JC, Akridge JT, Wagner JR, Chen W : Biases associated with genotype and sex in prediction of fat-free lean mass and carcass value in hogs. *J Anim Sci* 1998 Sep;76(9):2221-34
- Hodgson RR, Belk KE, Savell JW, Cross HR, Williams FL : Development of a multivariate yield grade equation to predict compositional traits in mature cow carcasses. *J Anim Sci* 1992 Jul;70(7):2159-66
- Hodgson RR, Belk KE, Savell JW, Cross HR, Williams FL : Development of a quantitative quality grading system for mature cow carcasses. *J Anim Sci* 1992 Jun;70(6):1840-7
- Holloway JW, Savell JW, Hamby PL, Baker JF, Stouffer JR : Relationships of empty-body composition and distribution to live animal and carcass measurements in *Bos indicus*-*Bos taurus* crossbred cows. *J Anim Sci* 1990 Jul;68(7):1818-26fat
- Houghton PL, Turlington LM : Application of ultrasound for feeding and finishing animals: a review. : *J Anim Sci* 1992 Mar;70(3):930-41
- [Hulsegge, B.](#), [Merkus, G. S. M.](#) A comparison of the optical probe HGP and the ultrasonic devices Renco and Pie Medical for estimation of the lean meat proportion in pig carcasses. *Animal Production*, 64(2):379-383,.
- Johnson ER, Charles DD : An evaluation of the Australian beef carcass appraisal system. *Aust Vet J* 1976 Apr;52(4):149-54
- Johnson LP, Miller MF, Haydon KD, Reagan JO : The prediction of percentage of fat in pork carcasses, *J Anim Sci* 1990 Dec;68(12):4185-92
- Johnson LP, Reagan JO, Haydon KD, Miller MF : The prediction of percentage of protein in pork carcasses. *J Anim Sci* 1990 Dec;68(12):4176-84
- [Jones, S. D. M.](#), [Allen, O. B.](#), [Haworth, C. R.](#) The accuracy of two recording instruments in the measurement of subcutaneous fat thickness in pork carcasses. *Canadian Journal of Animal Science*, 62(3):731-738,.
- [Jones, S. D. M.](#), [Robertson, W. M.](#), [Price, M. A.](#), [Coupland, T.](#) The prediction of saleable meat yield in lamb carcasses. *Canadian Journal of Animal Science*, 76(1):49-53,.
- Judge MD, Martin TG, Outhouse JB : Prediction of carcass composition of ewe and wether lambs from carcass weights and measurements. *J Anim Sci* 1966 Feb;25(1):92-5
- Katsukawa F, Kataoka K : [Techniques for the measurement of body composition and body fat distribution]. [Article in Japanese] *Nippon Rinsho* 1997 Mar;55 Suppl 1:282-6
- Keim NL, Mayclin PL, Taylor SJ, Brown DL : Total-body electrical conductivity method for estimating body composition validation by direct carcass analysis of pigs. *Am J Clin Nutr* 1988 Feb;47(2):180-5

- Kemp JD, Barton RA : Composition of cuts and carcasses of New Zealand lamb when graded by United States grade standards. *J Anim Sci* 1969;28(3):324-30
- Kemp JD, Crouse JD, Deweese W, Moody WG : Effect of slaughter weight and castration on carcass characteristics of lambs. *J Anim Sci* 1970 Mar;30(3):348-54
- Kent KR, Davis GW, Ramsey CB, Schluter AR : Estimates of beef carcass intermuscular fat, *J Anim Sci* 1991 Dec;69(12):4836-44
- [Kirton, A. H.](#), [Carter, A. H.](#), [Clarke, J. N.](#), [Sinclair, D. P.](#), [Mercer, G. J. K.](#), [Duganzich, D. M.](#). A comparison between 15 ram breeds for export lamb production. I. Liveweights, body components, carcass **measurements** and composition. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 38(3):347-360.
- [Kirton, A. H.](#), [Mercer, G. J. K.](#), [Duganzich, D. M.](#), [Uljee, A. E.](#). Use of electronic probes for classifying lamb **carcasses**. *Meat Science*, 39(2):167-176.
- [Kirton, A. H.](#), [Uljee, A. E.](#), [Mercer, G. J. K.](#). A comparison between lamb drafters and the Phillips **Fat Displacement Meter (PFDM)** for predicting GR, hot carcass weight and class in live lambs. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 51309-313.
- Lambuth TR, Kemp JD, Glimp HA : Effect of rate of gain and slaughter weight on lamb carcass composition *J Anim Sci* 1970 Jan;30(1):27-35.
- Lane SF, Hogue DE : Effects of butylene and propylene glycols on body composition and fatty acid synthetase in lambs. *J Anim Sci* 1981 Dec;53(6):1473-81
- Leshner AI, Litwin VA, Squibb RL - A simple method for carcass analysis. *Physiol Behav* 1972 Aug;9(2):281-2
- Leymaster KA, Jenkins TG : Comparison of Texel- and Suffolk-sired crossbred lambs for survival, growth, and compositional traits. *J Anim Sci* 1993 Apr;71(4):859-69
- Liu Y, Stouffer JR : Pork carcass evaluation with an automated and computerized ultrasonic system. *J Anim Sci* 1995 Jan;73(1):29-38
- Lohman TG : Biological variation in body composition. *J Anim Sci* 1971 Apr;32(4):647-53
- Marchello MJ, Slinger WD : Bioelectrical impedance can predict skeletal muscle and fat-free skeletal muscle of beef cows and their carcasses. *J Anim Sci* 1994 Dec;72(12):3118-23
- [Marchello, M. J.](#), [Berg, P. T.](#), [Swantek, P. M.](#), [Tilton, J. E.](#) : Predicting live and carcass lean using bioelectrical impedance technology in pigs. *Livestock Production Science*, 58(2):151-157.
- Marshall MW, Smith BP, Munson AW, Lehmann RP : Prediction of carcass fat from body measurements made on live rats differing in age, sex and strain. *Br J Nutr* 1969 Jun;23(2):353-69
- May SG, Mies WL, Edwards JW, Williams FL, Wise JW, Harris JJ, Savell JW, Cross HR : Effect of frame size, muscle score, and external fatness on live and carcass value of beef cattle. *J Anim Sci* 1992 Nov;70(11):3311-6
- May SG, Mies WL, Edwards JW, Williams FL, Wise JW, Morgan JB, Savell JW, Cross HR: Beef carcass composition of slaughter cattle differing in frame size, muscle score, and external fatness. *J Anim Sci* 1992 Aug;70(8):2431-45
- McLaughlin CL, Hedrick HB, Veenhuizen JJ, Finn RF, Hintz RL, Hartnell GF, Kasser TR, Baile CA : Comparison of performance, clinical chemistry, and carcass characteristics of finishing lambs treated with recombinant ovine or bovine somatotropins. *J Anim Sci* 1993 Jun;71(6):1453-63
- McNair JR, Brown BS, Weber J, McGowan R : The clinical evaluation of body fat. *J Ark Med Soc* 1984 Mar;80(10):425-30
- [Miles, C. A.](#), [Fursey, G. A. J.](#), [Fisher, A. V.](#), [Page, S. J.](#). Estimation of lamb carcass composition from measurements of the speed of ultrasound in the soft tissues of live animals and carcasses. *Meat Science*, 30(3):245-256.
- Mitchell AD, Scholz AM, Pursel VG, Evock-Clover CM : Composition analysis of pork carcasses by dual-energy x-ray absorptiometry. *J Anim Sci* 1998 Aug;76(8):2104-14
- Mitchell AD, Wang PC, Song HF, Schmidt WF : Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging. *Basic Life Sci* 1993;60:105-8
- [Mitchell, A. D.](#), [Scholz, A. M.](#), [Pursel, V. G.](#), [Evock-Clover, C. M.](#) : Composition analysis of pork **carcasses** by dual-energy X-ray absorptiometry. *Journal of Animal Science*, 76(8):2104-2114.
- [Mitchell, A. D.](#), [Solomon, M. B.](#), [Rumsey, T. S.](#). Composition analysis of beef rib sections by dual-energy X-ray absorptiometry. *Meat Science*, 47(1,2):115-124.
- Moeller SJ, Christian LL : 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 Oct;76(10):2503-14
- Mokha R, Sidhu LS : Body fat in various sportive groups. *J Sports Med Phys Fitness* 1987 Sep;27(3):376-9
- Morisse J.P., Cotte J.P. et Huonnic D., Mesure et analyse multifactorielle de l'état d'engraissement des carcasses de taurillons. V.P.C. vol. 11(3), mai-juin 1990.

- Moscip V, Walton JM : Ultrasonographic assessment of adipose tissue volume. *Br J Sports Med* 1997 Mar;31(1):84-5
- Mueller WH, Emerson JB : Functional differences between central and peripheral fat. *Am J Clin Nutr* 1988 Nov;48(5):1343-4
- Mukherjee D, Roche AF : The estimation of percent body fat, body density and total body fat by maximum R2 regression equations. *Hum Biol* 1984 Feb;56(1):79-109
- Murphy TA, Loerch SC, McClure KE, Solomon MB : Effects of grain or pasture finishing systems on carcass composition and tissue accretion rates of lambs. *J Anim Sci* 1994 Dec;72(12):3138-44
- Muscaritoli M, Gleason JR, Meguid MM, Lukaski HC : Densitometry-based equations for estimating body composition in Fischer rats. *Nutrition* 1993 Sep-Oct;9(5):439-45
- Nour AY, Thonney ML : Technical note: chemical composition of Angus and Holstein carcasses predicted from rib section composition. *J Anim Sci* 1994 May;72(5):1239-41
- Novak LP : Physical activity and body composition of adolescent boys. *JAMA* 1966 Sep 12;197(11):891-3
- O'Mara FM, Williams SE, Tatum JD, Hilton GG, Pringle TD, Wise JW, Williams FL : Prediction of slaughter cow composition using live animal and carcass traits. *J Anim Sci* 1998 Jun;76(6):1594-603
- Orcutt MW, Forrest JC, Judge MD, Schinckel AP, Kuei CH : Practical means for estimating pork carcass composition. *J Anim Sci* 1990 Dec;68(12):3987-97
- Orts FA, King GT, Butler OD : Bone muscle relationships in the bovine carcass. *J Anim Sci* 1969 Aug;29(2):294-7
- Parizkova J : Nutrition and its relation to body composition in exercise. *Proc Nutr Soc* 1966;25(2):93-9
- Perkins TL, Green RD, Hamlin KE : Evaluation of ultrasonic estimates of carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *J Anim Sci* 1992 Apr;70(4):1002-10
- Pesti GM, Bakalli RI : Estimation of the composition of broiler carcasses from their specific gravity. *Poult Sci* 1997 Jul;76(7):948-51
- Petrasek R, Rath R, Masek J : On the ratio of body fat in relation to different factors. *Rev Czech Med* 1965;11(4):251-8
- Powell W.E. and Huffman D.L., An evaluation of quantitative estimates of beef carcass composition. *J. Anim. Sci.* 1968-27 : 1554
- Ramsey CB, Kirton AH, Hogg B, Dobbie : Ultrasonic, needle, and carcass measurements for predicting chemical composition of lamb carcasses, *J Anim Sci* 1991 Sep;69(9):3655-64
- Reiling BA, Rouse GH, Duello DA : Predicting percentage of retail yield from carcass measurements, the yield grading equation, and closely trimmed, boxed beef weights. *J Anim Sci* 1992 Jul;70(7):2151-8
- Reverter A, Johnston DJ, Graser HU, Wolcott ML, Upton WH : Genetic analyses of live-animal ultrasound and abattoir carcass traits in Australian Angus and Hereford cattle. *J Anim Sci* 2000 Jul;78(7):1786-95
- Robinson DL, Hammond K, McDonald CA : Live animal measurement of carcass traits: estimation of genetic parameters for beef cattle. *J Anim Sci* 1993 May;71(5):1128-35
- Robinson DL, McDonald CA, Hammond K, Turner JW : Live animal measurement of carcass traits by ultrasound: assessment and accuracy of sonographers. *J Anim Sci* 1992 Jun;70(6):1667-76
- [Rong-Shinn Lin](#). Measurement of total body electrical conductivity in beef and its correlation with carcass composition. *Dissertation Abstracts International: Section B: the Sciences & Engineering*, 54(7):.
- Rush EC, Plank LD, Robinson SM : Estimation of body fat in caucasian and Polynesian women from anthropometric measurements. *Appl Radiat Isot* 1998 May-Jun;49(5-6):749-50
- [Sack, E.](#), [Fischer, K.](#), [Canstein, B. von](#), [Scheper, J.](#) **Fat-O-Meat'er** reflectance value and meat quality of pork carcasses. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt fuer Fleischforschung, Kulmbach*, 845911-5916,.
- Sanson DW, West TR, Tatman WR, Riley ML, Judkins MB, Moss GE : Relationship of body composition of mature ewes with condition score and body weight. *J Anim Sci* 1993 May;71(5):1112-6
- [Sather, A. P.](#), [Fredeen, H. T.](#), [Martin, A. H.](#) Live animal evaluation of two ultrasonic probes as estimators of subcutaneous backfat and carcass composition in pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 62(3):943-949,.
- [Schimitzek, P.](#), [Betteray, K. van](#). Exact and objective measurements directly on the slaughter line: comparison of carcass grading instruments. *Fleischerei*, 43(5):488,.
- Segal K.R., Van Loan M., Fitzgerald P.I., Hodgdon J.A. and Van Itallie T.P., Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis : A four – site cross – validation. *Am. J. Clin. Nutr.* (1998) 47 : 7
- Shackelford SD, Edwards JW, Smarr EK, Savell JW : Retail cut yields of Rambouillet wether lambs fed the beta-adrenergic agonist L644,969. *J Anim Sci* 1992 Jan;70(1):161-8
- Shahin KA, Abdallah OY, Shmeis AR : Genetic influences on growth and partition of fat between depots and its distribution in fowl carcasses. *Reprod Nutr Dev* 1990;30(6):673-81

- Siemens AL, Lipsey RJ, Martin WM, Siemens MG, Hedrick HB : Composition of pork carcasses by potassium-40 liquid scintillation detection estimation and validation. *J Anim Sci* 1991 Jan;69(1):47-53
- Slanger WD, Marchello MJ, Busboom JR, Meyer HH, Mitchell LA, Hendrix WF, Mills RR, Warnock WD : Predicting total weight of retail-ready lamb cuts from bioelectrical impedance measurements taken at the processing plant. *J Anim Sci* 1994 Jun;72(6):1467-74
- Smith BS, Jones WR, Hough JD, Huffman DL, Mikel WB, Mulvaney DR : Prediction of carcass characteristics by real-time ultrasound in barrows and gilts slaughtered at three weights. *J Anim Sci* 1992 Aug;70(8):2304-8
- Smith MT, Oltjen JW, Dolezal HG, Gill DR, Behrens BD : Evaluation of ultrasound for prediction of carcass fat thickness and longissimus muscle area in feedlot steers. *J Anim Sci* 1992 Jan;70(1):29-37
- Smith SB, Jenkins T, Prior RL : Carcass composition and adipose tissue metabolism in growing sheep. *J Anim Sci* 1987 Dec;65(6):1525-30
- Snowder GD, Glimp HA, Field RA : Carcass characteristics and optimal slaughter weights in four breeds of sheep. *J Anim Sci* 1994 Apr;72(4):932-7
- Southam ER, Field RA : Influence of carcass weight upon carcass composition and consumer preference for lamb. *J Anim Sci* 1969 May;28(5):584-8
- Specht SM, Faustman C, Bendel RB, Malkus LA, Kinsman DM, Sison C : Carcass composition of "bob" and "special-fed" veal and its prediction. *J Anim Sci* 1994 Oct;72(10):2635-41
- Stevenson JM, Seman DL, Littlejohn RP : Seasonal variation in venison quality of mature, farmed red deer stags in New Zealand. *J Anim Sci* 1992 May;70(5):1389-96
- Swantek PM, Crenshaw JD, Marchello MJ, Lukaski HC : Bioelectrical impedance: a nondestructive method to determine fat-free mass of live market swine and pork carcasses. *J Anim Sci* 1992 Jan;70(1):169-77
- Swensen K, Ellis M, Brewer MS, Novakofski J, McKeith FK : Pork carcass composition: I. Interrelationships of compositional end points. *J Anim Sci* 1998 Sep;76(9):2399-404
- Swensen K, Ellis M, Brewer MS, Novakofski J, McKeith FK : Pork carcass composition: II. Use of indicator cuts for predicting carcass composition. *J Anim Sci* 1998 Sep;76(9):2405-14
- Takki S, Takki K, Hopsu V, Palkama A : Fat patterning and its correlation to the age of children. *Ann Med Exp Biol Fenn* 1965;43(4):267-9
- Tatum JD, Samber JA, Gillmore BR, LeValley SB, Williams FL : Relationship of visual assessments of feeder lamb muscularity to differences in carcass yield traits. *J Anim Sci* 1998 Mar;76(3):774-80
- Terry CA, Savell JW, Recio HA, Cross HR : Using ultrasound technology to predict pork carcass composition. *J Anim Sci* 1989 May;67(5):1279-84
- Thiel LF, Beermann DH, Krick BJ, Boyd RD : Dose-dependent effects of exogenous porcine somatotropin on the yield, distribution, and proximate composition of carcass tissues in growing pigs. *J Anim Sci* 1993 Apr;71(4):827-35
- Tlaskal P, Bruzek J : [Article in Czech] [Quantitative changes in adipose and muscle tissue in normal infants]. *Cesk Pediatr* 1987 May;42(5):274-8
- Tran ZV, Weltman A : Predicting body composition of men from girth measurements. *Hum Biol* 1988 Feb;60(1):167-75
- [Trzybinska, D.](#) : The evaluation of usefulness of ultrasonic measurements in examining the slaughter value of lambs. *Annals of Warsaw Agricultural University, Animal Science*, 33105-109,.
- Turner J.W., Pelton L.S. and Gross H.R., Using live animal ultrasound measures of ribeye area and fat thickness in yearling Herford bulls. *J. Anim. Sci.* 1990.68 : 3502
- Ultrasonic measurement of depth of adipose tissue and muscle area in swine. *Nutr Rev* 1984 Sep;42(9):331-2
- Vakil DV : Comparison of four systems of lamb carcass evaluation. *Indian Vet J* 1967 Jan;44(1):34-7
- Waldner DN, Dikeman ME, Schalles RR, Olson WG, Houghton PL, Unruh JA, Corah LR : Validation of real-time ultrasound technology for predicting fat thicknesses, longissimus muscle areas, and composition of Brangus bulls from 4 months to 2 years of age. *J Anim Sci* 1992 Oct;70(10):3044-54
- [Waldner, D. N.](#), [Dikeman, M. E.](#), [Schalles, R. R.](#), [Olson, W. W.](#), [Houghton, P. L.](#), [Unruh, J. A.](#), [Corah, L. R.](#) Validation of real-time ultrasound for predicting **fat** thickness, longissimus muscle areas and composition of Brangus bulls from four months to two years of age. *Proceedings - Annual Reciprocal Meat Conference of the American Meat Science Association*, 44208,.
- Ward GM : [Radioisotopic methods for the in-vivo determination of body composition]. [Article in German] *Wien Tierarztl Monatsschr* 1970 May;57(5):204-10
- Weil WB Jr, Miller I : The role of whole carcass analysis in understanding body composition. *Pediatrics* 1971 Jan;47(1):Suppl 2:275+

Whismeyer D.L., Snowden G.D. et Clark D.H., Prediction of lam carcass chemical composition utilizing electromagnetic scanning (TOBEC T.M.). Tektran United States Department of Agriculture. 1998-12-18

[Williams, R. E.](#), [Bertrand, J. K.](#), [Williams, S. E.](#), [Benyshek, L. L.](#). Biceps femoris and rump fat as additional ultrasound measurements for predicting retail product and trimmable fat in beef carcasses. *Journal of Animal Science*, 75(1):7-13,.

Wright HF, Dotson CO, Davis PO : A simple technique for measurement of percent body fat in man. *US Navy Med* 1981 May;72(5):23-7

Wulf DM, Page JK : Using measurements of muscle color, pH, and electrical impedance to augment the current USDA beef quality grading standards and improve the accuracy and precision of sorting carcasses into palatability groups. *J Anim Sci* 2000 Oct;78(10):2595-607

Wulf DM, Romans JR, Costello WJ : Composition of the beef wholesale rib. *J Anim Sci* 1994 Jan;72(1):94-102

Yamaguchi K, Nakano M : [Fat measurement using MRI]. [Article in Japanese] *Nippon Rinsho* 1995 Jun;53 Suppl:215-20

Annexe 2 :
Normes américaines concernant le classement des carcasses