

---

# UNE NOUVELLE UTILISATION ZOOTECNIQUE DE L'ECHOGRAPHIE : ESTIMATION DE L'ETAT CORPOREL DES BOVINS ; APPLICATION SUR QUARANTE BLONDES D'AQUITAINE EN PERIODE D'ENGRAISSEMENT

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement en 2003  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**Olivier, Marcel MANIAVAL**  
Né, le 20 janvier 1978 à AURILLAC (Cantal)

---

Directeur de thèse : M. le Professeur Roland DARRÉ

---

## JURY

PRESIDENT :  
**M. Jean PARINAUD**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEUR :  
**M. Roland DARRÉ**  
**Mme Nicole HAGEN-PICARD**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE  
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Partie 1/2

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE  
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur	:	M.	<b>P. DESNOYERS</b>
Directeurs honoraires.....	:	M.	<b>R. FLORIO</b>
		M.	<b>J. FERNEY</b>
		M.	<b>G. VAN HAVERBEKE</b>
Professeurs honoraires.....	:	M.	<b>A. BRIZARD</b>
		M.	<b>L. FALIU</b>
		M.	<b>C. LABIE</b>
		M.	<b>C. PAVAUX</b>
		M.	<b>F. LESCURE</b>
		M.	<b>A. RICO</b>
		M.	<b>A. CAZIEUX</b>
		Mme	<b>V. BURGAT</b>
		M.	<b>D. GRIESS</b>

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

- M. **CABANIE Paul**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **CHANTAL Jean**, *Pathologie infectieuse*
- M. **DARRE Roland**, *Productions animales*
- M. **DORCHIES Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **GUELFY Jean-François**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*

**PROFESSEURS 1<sup>ère</sup> CLASSE**

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **BODIN ROZAT DE MANDRES NEGRE Guy**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
- M. **BRAUN Jean-Pierre**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **EECKHOUTTE Michel**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
- M. **EUZEBY Jean**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*
- M. **MILON Alain**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*
- M. **SAUTET Jean**, *Anatomie*
- M. **TOUTAIN Pierre-Louis**, *Physiologie et Thérapeutique*

**PROFESSEURS 2<sup>e</sup> CLASSE**

- Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **CORPET Denis**, *Science de l'Aliment et Technologies dans les industries agro-alimentaires*
- M. **DUCOS DE LAHITTE Jacques**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **KOLF-CLAUW Martine**, *Pharmacie -Toxicologie*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
- M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*

**PROFESSEUR ASSOCIE**

- M. **HENROTEAUX Marc**, *Médecine des carnivores*

**INGENIEUR DE RECHERCHES**

- M. **TAMZALI Youssef**, *Clinique équine*

**PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE**

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*  
M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

**MAITRE DE CONFERENCES HORS CLASSE**

- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*

**MAITRES DE CONFERENCES 1<sup>ère</sup> CLASSE**

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*  
Mme **BOUCRAUT-BARALON Corine**, *Pathologie infectieuse*  
Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*  
Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*  
M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*  
Mme **BRET-BENNIS Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*  
M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*  
Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*  
M. **DUCOS Alain**, *Zootechne*  
M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*  
Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*  
M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*  
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*  
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **MESSUD-PETIT Frédérique**, *Pathologie infectieuse*  
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*  
Mme **RAYMOND-LETRON Isabelle**, *Anatomie pathologique*  
M. **SANS Pierre**, *Productions animales*  
Mlle **TRUMEL Catherine**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*  
M. **VALARCHER Jean-François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*  
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

**MAITRES DE CONFERENCES 2<sup>e</sup> CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*  
Mlle **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*  
Mme **CAMUS-BOUCLAINVILLE Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
Mme **COLLARD-MEYNAUD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*  
M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie du Bétail*  
M. **GUERIN Jean-Luc**, *Productions animales*  
M. **MARENDIA Marc**, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*

**MAITRES DE CONFERENCES CONTRACTUELS**

- M. **DESMAIZIERES Louis-Marie**, *Clinique équine*  
M. **REYNOLDS Brice**, *Pathologie chirurgicale*

**ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS**

- Mme **MEYNADIER-TROEGELER Annabelle**, *Alimentation*  
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*  
M. **MONNEREAU Laurent**, *Anatomie, Embryologie*

**A Monsieur le Professeur Jean PARINAUD**

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier

*Biologie du développement et de la Reproduction*

**A Monsieur le Professeur Roland DARRE**

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

*Productions Animales*

**A Madame le Docteur Nicole HAGEN-PICARD**

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

*Pathologie de la Reproduction*



A L..JOURNAUX et G. RENAND de l'Institut de l'Elevage pour leur soutien dans l'élaboration de l'expérimentation sur le site de Pépieux.

A F. HUARD et L. SENECHAUX de l'AGPM pour respectivement l'organisation et la mise en pratique de l'expérimentation sur le site d'Orthez.



A POPAUL,  
Pour tout son soutien et sa patience lors de l'élaboration de cette thèse.  
Pour son amitié.

A mes parents,  
Qu'ils soient fiers de leurs deux garçons.

A mon petit frère.

A Hélène.

A tous mes copains, depuis le Nord de la France au Sud de la Corse en passant par bien  
diverses régions.

A cybelle.



**UNE NOUVELLE UTILISATION ZOOTECHNIQUE DE L'ECHOGRAPHE :**  
**ESTIMATION DE L'ETAT CORPOREL DES BOVINS ;**  
**APPLICATION SUR QUARANTE BLONDES D'AQUITAINE**  
**EN PERIODE D'ENGRAISSEMENT.**

**INTRODUCTION** **p11**

---

**I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE** **p17**

---

A. Utilisation actuelle de l'échographe en cabinet vétérinaire (reproduction, canine) p20

B. L'échographie p24

1. Principes généraux de l'échographie
2. Les équipements échographiques
3. Limites et avantages de l'échographie

C. Engraissement des bovins p40

1. Répartition des différents dépôts adipeux
2. Evolution au cours de l'engraissement
3. Influence du génotype et du sexe
4. Influence du poids d'abattage
5. Teneur en lipides intramusculaires
6. Engraissement des vaches de réforme

D. Différentes méthodes d'évaluation de la composition corporelle p48

1. Notation d'état corporel
2. Echographie
3. Mesure de la vitesse des ultrasons
4. Autres techniques expérimentales d'évaluation de la composition corporelle

E. Synthèse de résultats échographiques à partir de la bibliographie américaine actuelle p54

## **II. PARTIE EXPERIMENTALE**

**p63**

### **A. Protocole expérimental**

**p63**

1. Schéma expérimental
  - a. Animaux
  - b. Période d'étude
  - c. Logement
  - d. Alimentation
  - e. Mesures réalisées
2. Matériel et méthode de la technique échographique
  - a. Matériel
  - b. Réalisation des mesures
  - c. Traitement informatique des images
  - d. Choix des sites de mesures

### **B. Analyse des résultats**

**p75**

1. Relation entre mesures échographiques et VOS au site de l'épaule
2. Cinétique des différentes variables mesurées par échographie
3. Etude de la corrélation entre dates successives
4. Relations entre les dernières mesures in vivo et les analyses de carcasses à l'abattoir
5. Détermination du meilleur paramètre de prédiction
6. Conclusion

## **CONCLUSION**

**p85**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**p87**

## **ANNEXES**

**p101**

Annexe 1 : Etude de répétabilité pour les 2 méthodes de traitement informatique.

Annexe 2 : Exemple de photo traitée par les 2 méthodes informatiques.

Annexe 3 : Choix des sites de mesure échographique.

Annexe 4 : Corrélation entre les 3 variables de luminosités données par Colorpilot.

Annexes 5 : Graphiques de différents résultats expérimentaux.

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau 1 : qualité des carcasses d'animaux de différents types et races.	<b>p14</b>
Graphique 1 : Réflexion et Réfraction d'un faisceau d'ultrasons.	<b>p27</b>
Graphique 2 : Diffusion d'un faisceau d'électrons.	<b>p28</b>
Graphique 3 : Principe de formation d'une réflexion spéculaire.	<b>p31</b>
Graphique 4 : Principe de formation de réflexions non spéculaires.	<b>p31</b>
Graphique 5 : Principe de formation d'ombres artéfactuelles.	<b>p32</b>
Graphique 6 : Résultat obtenu par échographie en mode A.	<b>p34</b>
Graphique 7 : Schéma d'une sonde échographique de type barrette.	<b>p35</b>
Graphique 8 : Schéma d'une sonde sectorielle de type vectorielle.	<b>p36</b>
Tableau 2 : Répartition de la production bovine française en 2001.	<b>p44</b>
Graphique 9 : Comparaison du principe de fonctionnement du VOS et d'un échographe.	<b>p51</b>

## **II. PARTIE EXPERIMENTALE**

Tableau 4 : Caractéristiques des matières premières.	<b>p65</b>
Tableau 5 : Composition des aliments selon le régime alimentaire.	<b>p66</b>
Tableau 6 : Valeurs nutritionnelles des régimes alimentaires ( g/kg de MS).	<b>p67</b>
Photo 1 : Image de la région du filet obtenue par échographie, méthode de mesure informatique de l'épaisseur et de la luminosité.	<b>p70</b>
Photo 2 : Image de la région de l'épaule obtenue par échographie, méthode de mesure de la luminosité.	<b>p71</b>
Graphique 10 : Corrélation entre les mesures VOS et de luminosités pour le site de l'épaule.	<b>p75</b>
Graphique 11 : Cinétique de la mesure échographique de l'épaisseur de gras sous cutané.	<b>p76</b>
Graphique 12 : Cinétique de la mesure échographique de luminosité du muscle au site de l'épaule.	<b>p77</b>
Graphique 13 : Cinétique de la mesure échographique de luminosité du muscle au site du filet.	<b>p77</b>
Graphique 14 : Suivi du coefficient de corrélation entre les dates successives pour chaque variable.	<b>p78</b>
Graphique 15 : suivi de l'écart type pour chaque date de mesure.	<b>p79</b>
Graphique 16 : Corrélation entre les mesures de luminosités ante mortem pour chaque site et le rapport gras/viande obtenu par dissection de la 6 <sup>ème</sup> côte.	<b>p80</b>
Graphique 17 : Principe de détermination d'un bon indice de précision d'une variable prédictive.	<b>p82</b>

## INTRODUCTION

Après une croissance régulière des années 1950 à 1980, la consommation de viande semble atteindre un point de saturation dans beaucoup de pays développés. En France, la consommation de viande de bœuf a diminué de 1 % par an dans les années 1980, puis de 1.5% de 1990 jusqu'à la première crise de l'ESB en 1996. **(COMBRIS(1990))**

La médiatisation, le 21 octobre 2000, de la découverte d'un cas de « vache folle » dans la bouverie d'un abattoir français a provoqué une crise plus profonde et plus durable que la crise importée du Royaume-Uni en 1996. En 2002, cette crise n'est pas encore complètement surmontée en France.

Cependant en ce début 2002, les achats des ménages et l'ensemble de la demande intérieure ont retrouvé des niveaux relativement élevés, proches de ceux de l'automne 1999. Dans ce contexte de crise le consommateur français s'est orienté vers une consommation de vaches allaitantes et on a observé une augmentation de la part de marché du jeune bovin au détriment des vaches laitières. Toutefois la consommation de vache de réforme laitière semblerait augmenter ces derniers mois. Cette crise a obligé la filière bovine à mettre en place la traçabilité de la viande bovine et d'augmenter le niveau de sécurité alimentaire, ceci ayant pour principal effet d'augmenter les coûts de production de l'ensemble de la filière. **(MAINSANT (2002))**

Au niveau européen, la crise provoquée par l'ESB a touché principalement l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne et le Portugal, pays ayant mis en place le dépistage systématique des animaux abattus à plus de trente mois qui a révélé les premiers sujets atteints. Toutefois ce dépistage systématique a rassuré par la suite le consommateur, c'est pourquoi en Europe, la consommation actuelle de viande bovine atteint 95 % de celle de 1999. Au niveau européen les importations ont été ralenties, en revanche les exportations sont en chute libre. On a constaté dans chaque pays une nationalisation de sa production afin de tenter de rassurer le consommateur.

Au niveau mondial, cette crise a exclu l'Union Européenne d'un marché porteur. En Amérique du Nord, on a assisté à une diminution de la production et une hausse des prix. Les Etats Unis ont vu leurs exportations diminuées vers le marché asiatique (suite à leur premier cas d'ESB) et l'Amérique du Sud a dû gérer la crise de fièvre aphteuse. Cette conjoncture a profité la Nouvelle-Zélande et à l'Australie. C'est pourquoi on peut conclure que le marché de la viande bovine est agité en ce moment.

A la sortie de cette crise, le consommateur demande en premier lieu la sécurité alimentaire. Ensuite il s'intéresse à d'autres critères comme le prix ou les qualités organoleptiques (jutosité, saveur, tendreté, couleur). La filière bovine doit donc produire des produits de qualité. Or la notion de qualité appliquée à la viande bovine prend en compte différentes facettes ; dans cette thèse, on va s'intéresser à un critère de qualité parmi d'autres : l'état d'engraissement de la carcasse (QUILICHINI(1990)) :

- Qualité pour l'éleveur :

L'éleveur est payé principalement au prix de la carcasse, c'est pourquoi celui-ci préfère bien finir l'engraissement de ces animaux afin qu'ils prennent du poids en muscle et en graisse.

- Qualité pour le transformateur :

Le transformateur préfère des carcasses peu grasses afin d'éviter des frais supplémentaires de parage et de découpe. De plus, un état d'engraissement trop important gêne le refroidissement de la carcasse. C'est pourquoi une carcasse trop grasse entraîne une diminution du rendement en viande commercialisable et des frais supplémentaires pour le transformateur.

- Qualité pour le consommateur :

La position du consommateur varie selon ses priorités : la plupart des consommateurs mettent en avant des critères diététiques et de ce fait préfèrent une viande peu grasse. Toutefois ils restent de « vrais » amateurs de viande qui recherchent une viande plus grasse afin qu'elle ait plus de saveur.

Un animal bien fini est intéressant pour un amateur de viande aux qualités gustatives supérieures et pour l'éleveur, en revanche il l'est moins pour le transformateur, ce qui au final engendre un prix élevé pour ce type de viande. Un animal plus maigre favorise le transformateur et correspond plus à la tendance générale qui demande des régimes alimentaires moins gras, ces viandes sont en général vendues moins chères.

On constate donc que la notion de qualité de viande varie entre les différents maillons de la filière bovine, c'est pourquoi il serait intéressant de posséder un moyen précis d'évaluer l'état d'engraissement des animaux afin que chacun puisse trouver la qualité de viande qu'il recherche. Cet outil permettrait d'orienter précocement un animal vers un marché donné.

Remarque : Dans cette démarche qualité, l'état d'engraissement est un critère parmi bien d'autres comme la conformation de la carcasse, la race, l'âge, le type de bovins. La tendreté est le critère actuel auquel le consommateur est le plus sensible avec la notion de qualité diététique de la viande bovine.

C'est pourquoi de nombreux travaux sont menés sur l'alimentation, la sélection génétique afin d'améliorer ces différents critères. Notre étude entre dans ce cadre dans le sens où prédire la quantité de gras d'une carcasse permet de s'adapter aux exigences des transformateurs de la filière bovine et du consommateur.

Quels sont les atouts de la Blonde d'Aquitaine dans ce contexte d'exigence de qualité et sécurité pour le consommateur et de rentabilité économique pour chaque maillon de la filière bovine ?

### **HAUREZ (1988),LANGLOIS (1991)**

Les études de l'Institut de l'Élevage sur les qualités bouchères de la Blonde d'Aquitaine confirment l'adaptation de cette race au marché.

Les génisses étudiées âgées de 27 mois en moyenne ont été finies avec deux régimes alimentaires à base de maïs : le premier était composé de maïs grain, de soja et de foin, le second associait 40% d'ensilage de maïs et 60% de concentré.

Cette expérience fait apparaître les points forts de la Blonde d'Aquitaine en comparaison à d'autres races françaises (cf. Tableau 1 ci dessous):

#### Sur la carcasse :

- les carcasses sont lourdes (388 kg de poids chaud en moyenne pour des génisses de 27 mois).
- elles sont bien conformées : classement U en conformation et 3+ en note de gras.
- elles présentent peu de dépôts adipeux : les gras de rognons et de parage sont peu développés.
- leur rendement à la découpe est très bon (cf. tableau): elles comportent peu d'os, peu de gras et peu de déchets, ce qui aboutit à un excellent rendement en viande nette de 74%.
- la proportion de morceaux à cuisson rapide (beefsteaks, rôtis) est très élevée, ce qui permet de mieux valoriser la carcasse.

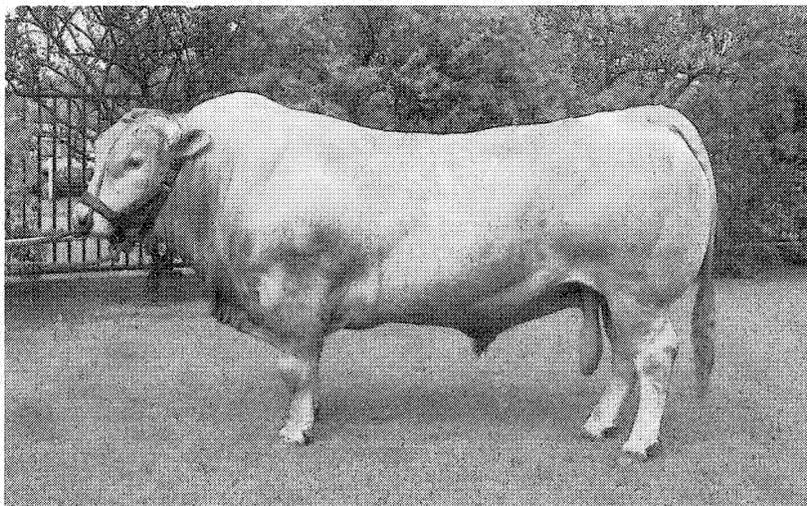
#### Sur la viande :

- la viande est de couleur claire, ce qui est une qualité pour l'exportation mais plutôt un défaut pour le marché français ; il faut quand même préciser que ceci est surtout valable pour les animaux jeunes, les vaches donnant une viande de couleur comparable aux autres races.
- la viande ne présente pas beaucoup de persillé, ce qui attire l'œil de la majorité des consommateurs, ceux-ci préférant des morceaux d'apparence peu grasse.
- la viande de génisse est très tendre ; or la tendreté est la qualité organoleptique la plus recherchée par le consommateur.
- la viande de génisse est aussi savoureuse que celle de vaches de réforme.

<b>TYPE</b>	<b>JEUNES BOVINS</b>						<b>GENISSES</b>	
<b>RACE</b>	Blonds	Limousins	Parthenais	Charolais	Normands	Maine-Anjou	Blondes	Limousines
<b>AGE</b>	18mois	24 mois	19 mois	24 mois	17 mois	18mois	24 mois	30 mois
<b>CARACTERISTIQUES DES CARCASSES</b>								
<b>Poids</b>	445	424	443	405	361	405	388	304
<b>Confor.</b>	U	U=	U-	U=	R=	R=	U=	R+
<b>Gras</b>	2+	2=	2+	3-	2+	3=	3+	3+
<b>COMPOSITION DES CARCASSES</b>								
<b>% os</b>	15.2	13.3	14	15.7	16.3	16.4	13.5	14.1
<b>% gras + déchets</b>	10.4	10.5	8.8	13.5	14.1	14.1	12.7	13.6
<b>% viande nette</b>	74.4	76.1	77.2	70.8	69.6	69.5	73.8	72.3
<b>% viande cuisson rapide</b>	55.1	54.4	53.4		53.0	53.3	58.6	58.1

Tableau 1: qualité des carcasses d'animaux de différents types et races  
(source : Langlois, Institut de l'Élevage)

### Fiche de présentation de la Blonde d'Aquitaine



#### Caractéristiques :

- Forte corpulence
- Exceptionnellement longue
- Tête relativement courte
- Robe blonde ou couleur froment
- Contours des yeux, mufle, bas ventre, canons et jarrets plus clairs
- Mufle et muqueuses roses
- Musculature dans toutes les parties du corps très bien développée
- Cornage jaune cire avec des pointes foncées

	Taureau	Vache
Hauteur au garrot (cm)	155	145
Poids	1300-1500	850-1000

#### Répartition géographique :

- Le berceau de la race se trouve en France, et plus particulièrement dans le Sud-Ouest.
- Depuis quelques temps dans la plupart des pays à races bouchères en particulier aux Etats-Unis, en Argentine, au Brésil et en Australie
- Dans quelques centres d'insémination en Allemagne, on utilise le sperme pour des croisements.

#### Aptitudes :

- Race à viande
- Production laitière peu importante
- Robustesse et sobriété
- Race exigeante au niveau de la qualité de l'alimentation et de son élevage en général.
- Bon rendement poids vif / poids carcasse
- Peu de graisses malgré la précocité

#### Histoire de la race :

Elle provient de la fusion en 1962 de trois races blondes : Garronaise, Quercy et Blondes des Pyrénées. Ces races d'origine étaient élevées comme race de labour, puis plus tard comme races bouchères et surtout pour leur production de viande de veau. Les programmes de sélection ont pour but d'améliorer la qualité de la viande et les qualités maternelles. On sélectionne également des taureaux en vue de réaliser des croisements avec d'autres races à viandes ou des races laitières.

La Blonde d'Aquitaine se présente donc comme une race d'avenir sur le marché de la viande bovine française avec des arguments intéressants pour chaque maillon de la filière bovine :

- Poids élevé des carcasses pour les éleveurs.
- Rendement lors de la découpe et richesse en morceau à cuisson rapide pour le transformateur.
- Viande pauvre en graisse pour le consommateur.

Prédire la qualité d'un animal vivant se révélerait donc très intéressant pour toute la filière bovine mais également au sein de la race dans un but de sélection génétique afin de mieux l'adapter à la demande. Enfin, elle permettrait de comparer les différentes races entre elles.

Cet outil de prédiction fut pendant longtemps l'appréciation visuelle, la palpation des animaux et l'expérience des chevillards. Or la filière bovine est demandeuse d'un outil de prédiction plus fiable. C'est dans ce cadre qu'intervient l'échographie. Cette technique moderne présente l'avantage d'être indolore et de visualiser directement les tissus de l'animal, c'est pourquoi de nombreuses recherches ont été réalisées notamment outre Atlantique.

Cependant les modalités pratiques en élevage nécessitent encore d'être améliorées afin d'ôter le plus de subjectivité possible à cette technique et d'améliorer sa fiabilité. Ainsi suite à une synthèse sur l'utilisation de l'échographie dans un but de caractériser la qualité d'un bovin aux Etats Unis, une expérience est réalisée avec l'AGPM et l'Institut de l'Élevage afin de l'appliquer à la Blonde d'Aquitaine ainsi qu'à nos conditions d'élevage.

## I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Ces dernières années, la filière bovine a dû faire face à une baisse de la consommation et à une demande accrue en produits maigres sur les conseils des diététiciens. Une adaptation est donc nécessaire à plusieurs niveaux : aux stades de la sélection et de la production.

Cependant, on manquait de moyens objectifs d'estimation de l'état d'engraissement des bovins et de la qualité des carcasses à l'abattoir. La technologie des ultrasons, déjà utilisée en médecine humaine, a donc fait l'objet de beaucoup d'essais d'adaptation aux bovins. On peut d'ailleurs citer les travaux de l'Institut de l'Élevage testant l'échographe et le VOS (appareil mesurant la vitesse des ultrasons). Leur choix s'est orienté vers le second et celui-ci est utilisé dans le contrôle individuel et sur descendance des taureaux de races allaitantes destinés à l'insémination artificielle (**ANONYME (1994), DENOYELLE (1995)**).

L'échographie s'est développée en médecine vétérinaire et les utilisations se sont multipliées avec l'amélioration des performances du matériel échographique. Cette technique pourrait présenter divers intérêts zootechniques, en cours de développement outre Atlantique, à la fois pour la filière bovine de manière générale mais également comme diversification d'utilisation de leur appareil pour les praticiens ruraux.

### Estimation de la qualité d'un animal

Obtenir un critère individuel de qualité de l'engraissement d'un animal peut présenter plusieurs intérêts. Tout d'abord, il peut entrer dans les critères de calculs d'un indice d'une race. Par exemple aux Etats Unis, on cherche à obtenir actuellement des animaux moins gras pour se rapprocher des désirs du consommateur. Ensuite cet outil de prédiction serait utile aux bouchers ou techniciens de coopératives afin d'adapter le stade de finition à la demande du consommateur ou d'éviter de mauvais rendements de carcasses dus à des excédents de graisses de couverture.

### Prédiction de la date d'abattage optimal

Un estimateur précoce de l'état d'engraissement des animaux permettrait de calculer les dates d'abattage de lots, de stopper ou de prolonger leur engraissement afin de s'adapter au marché. Les transformateurs rencontrent parfois des différences de finitions des animaux par rapport à la qualité qu'ils souhaitent. Un outil précis et utilisable sur le terrain s'avèrerait très utile à la filière bovine afin de remplacer l'outil actuel basé sur des maniements et des durées d'engraissement qui se révèle insuffisamment précis.

## Suivi des réserves corporelles en élevage

L'énergie provenant de l'utilisation des aliments ingérés par les animaux est utilisée pour assurer les fonctions physiologiques leur permettant de survivre (entretien), de s'adapter à leur milieu (lutte contre le froid,...) et de se reproduire (reproduction, gestation, lactation, croissance). Lorsque les apports énergétiques sont supérieurs aux besoins physiologiques des animaux, l'excédent est en partie stocké, essentiellement sous forme de lipides dans les tissus adipeux. Ceux-ci constituent la principale réserve énergétique des mammifères et leur permettent de faire face à des périodes de pénurie alimentaire, notamment durant la période hivernale ou la sécheresse estivale.

L'estimation de l'état d'engraissement qui est réalisée actuellement à l'aide du système des notes d'état corporel a un intérêt évident pour la conduite du troupeau de vaches allaitantes comme pour celle du troupeau laitier. La précision de cette estimation doit permettre de déterminer les états optimaux à atteindre à différents moments du cycle de production : rentrée à l'étable, vêlage, mise à l'herbe, mise à la reproduction. L'outil échographique pourrait être utilisé dans cette optique de suivi général en élevage, en relation avec un suivi éventuel de la reproduction. Il pourrait permettre d'éviter la subjectivité et l'importance de l'effet technicien dans l'attribution des notes d'état.

Un exemple important de l'intérêt des notations d'état dans les troupeaux allaitants est donné par la liaison entre l'état au vêlage et/ou au début de la période de reproduction et la durée de l'anoestrus post-partum et l'intervalle entre mises-bas (**GARY *et al* (1989)**). Ainsi **KILKENNY (1978)** recommande de ne pas descendre en dessous de 2.5 pour assurer une bonne reproduction (éviter un retard de première ovulation et de première chaleur.).

En revanche, un déficit alimentaire, même important, chez la vache adulte compromet rarement le poids et la vitalité du veau à la naissance. La plupart des études indiquent qu'une réduction modérée du niveau d'alimentation de la vache allaitante ne modifie que très peu sa production laitière et donc la croissance de son veau grâce à la mobilisation de ses réserves. En revanche une vache maigre (note inférieure à 2) sera moins vigoureuse au vêlage, produira moins de colostrum et ce colostrum sera moins en immunoglobulines (**HARDIN (2000)**). Les vaches les plus sujettes à une note d'état corporel bas sont les primipares qui doivent supporter leur propre croissance, la lactation du premier veau et la gestation du second.

En troupeau laitier, un excès de gras dans la composition corporelle des vaches est considéré comme un facteur de risques au niveau de la santé des animaux (troubles lors du vêlage, risque de cétose), comme un facteur influençant l'ingestion et la production laitière. En revanche une forte diminution de la note d'état est associée à une baisse de performances au niveau de la reproduction, comme chez les allaitantes et une diminution de la production laitière (beaucoup plus marqué que chez les allaitantes).

Le choix de la date de vêlage et de la période de reproduction comme celui du sevrage des veaux déterminent le cycle biologique de la vache qui doit s'adapter au mieux au cycle des ressources alimentaires naturelles (**AGABRIEL (1992)**). Les périodes de disettes peuvent éventuellement correspondre aux périodes de besoins élevés (fin de gestation, début de lactation) si les réserves corporelles sont suffisantes et utilisées de façon raisonnée. Cependant il est important de vérifier que l'on atteint l'état minimal requis au moment des vêlages (garant d'un intervalle normal pour le retour en chaleur) et que l'apport alimentaire durant la période de reproduction est suffisant (garant d'une bonne fertilité lors des chaleurs et qui permet de réduire en partie les problèmes d'anoestrus chez les vaches en état insuffisant au vêlage).

L'intérêt du suivi des réserves corporelles apparaît fondamental dans la conduite du troupeau bovins qu'il soit laitier ou allaitant.

L'état corporel apprécié par les notes d'état, en tant qu'indicateur externe de la quantité totale de tissu adipeux, devient un élément indispensable de la conduite alimentaire économe des vaches allaitantes et laitières. La maîtrise des états corporels est un indicateur de la qualité de la gestion du troupeau par l'éleveur (**PETIT (1993)**). Par exemple, les vaches laitières dont l'état d'engraissement augmente durant la lactation, produisent moins (**WILDMAN *et al* (1982)**). De plus l'éleveur devra éviter que les vaches soient trop grasses en fin de lactation ou du tarissement afin d'éviter des troubles lors du vêlage.

Développer une technique précise de l'estimation de l'état d'engraissement d'un bovin présente différents intérêts au sein de la filière bovine. C'est pourquoi il est important d'étudier cet outil en développement ces dernières années qu'est l'échographie, afin de connaître les progrès qu'elle pourrait amener ainsi que ses limites. Le vétérinaire pourrait ainsi être au cœur du développement de cette technique pour la filière bovine puisqu'il maîtrise déjà cette technique sur d'autres espèces et ainsi apporter de nouveaux services et diversifier son activité.

## A. UTILISATION DE L'ÉCHOGRAPHIE DANS LE DOMAINE VÉTÉRINAIRE

**MARIN (1989), LORiot (1993)**

Au cours des dernières décennies, l'échographie appliquée à la médecine vétérinaire s'est largement développée. Il s'agit d'une technique d'imagerie médicale au même titre que la radiologie, qui doit servir à compléter l'examen clinique : préciser un diagnostic, définir l'étendue d'une lésion ou donner un pronostic. L'échographie se révèle être un moyen d'investigation très utile au sein d'une démarche diagnostique rigoureuse.

Cet examen complémentaire, inoffensif et indolore, permet l'étude des tissus mous de l'organisme : elle permet de préciser la taille, la forme, la position d'un organe mais également sa texture et sa dynamique.

Actuellement, la technique de l'échographie a trouvé des applications de nombreuses espèces animales : des bovins au furet (**CUADRADO (2000)**).

L'intérêt de l'échographie en productions animales est pour l'instant essentiellement du suivi de reproduction en élevage, que ce soit en élevage de ruminants ou de porcs (**MARTINAT-BOTTE *et al* (1998 puis 2000)**). Il permet ainsi de réaliser un diagnostic de gestation précoce mais également de réaliser des échographies ovariennes et ainsi de préciser la présence de corps jaunes ou de follicules par exemple. La principale raison de la restriction de l'utilisation à ce domaine est le coût économique de l'examen, c'est pourquoi il doit avoir un véritable intérêt pour l'éleveur. L'autre difficulté se situe au niveau du transport et de la fragilité du matériel, ce qui peut rendre son utilisation délicate dans certains élevages. Dans certaines conditions (élevage de taille suffisante et bien organisé), cet outil est très intéressant dans le cadre du suivi de reproduction d'un élevage : cet outil peut alors permettre un diagnostic précoce et fiable ainsi que le sexage des fœtus notamment (**BOIN (2001), ROBLot (1998), TAINtURIER (2001)**). De récentes études présentent l'intérêt de l'échographie dans le diagnostic de réticulo-péricardite traumatique chez les bovins en visualisant sur l'écran les mouvements réticulaires. De nouvelles utilisations dans l'appréciation de l'état d'engraissement et de la conformation des animaux existent principalement aux Etats Unis et au Canada où leurs grandes structures d'élevage facilitent l'utilisation.

Pour la médecine équine, deux grands axes de développement de cette technique ont été développés : le suivi gynécologique (diagnostic de gestation précoce) d'une part et les troubles locomoteurs (examens des tendons notamment) d'autre part. Plus récemment on s'est intéressé à l'examen cardiaque et ophtalmologique. L'échographe est devenu un appareil indispensable pour un vétérinaire spécialisé en pratique équine.

(**EL ALAMI EL FELOUSSE (1996), LAFOIS (2000), REIMER (1998), VALETTE (2000)**)

En ce qui concerne les animaux de compagnie, l'échographie s'est considérablement développée ces dernières années car les possibilités de rémunérations de cet examen, exigeant un temps long et un matériel coûteux, sont possibles. C'est pourquoi les applications de l'échographie dans ce domaine de la médecine vétérinaire se sont diversifiées dans le but de rentabiliser cet outil. De plus l'échographie apporte un réel progrès au niveau du diagnostic ou pronostic ce qui permet de satisfaire les clients les plus exigeants.

L'échographe est devenu un outil indispensable d'une clinique vétérinaire possédant une clientèle « canine ». Néanmoins son niveau d'utilisation est très variable selon les vétérinaires, il est important de savoir que les possibilités d'utilisation de cette technique sont extrêmement diverses et continuent d'évoluer : utilisation de produits de contraste (**VEREZ (2000)**) ou l'intérêt du DOPPLER pour l'examen cardiaque par exemple (**LEGER (2002)**).

Actuellement les applications courantes qu'un vétérinaire possédant un échographe doit mettre en pratique, sont l'observation des organes suivant : utérus, ovaire, cœur, vessie, prostate, reins, foie et rate (**LORIOT (1993)**). Ainsi, l'échographie permet de poser de multiples diagnostics, dont certains sont présentés ci dessous :

### **Exploration gynécologique**

#### **▪ Femelle**

- Ovaire
  - > Corps jaune
  - > Kystes folliculaires
- Utérus
  - > Pyomètre
  - > Gestation
  - > Développement foetal

#### **▪ Mâle**

- Echotomographie de la prostate
  - > Hyperplasie bénigne ou kystique
  - > Absès prostatique
  - > Tumeur prostatique
- Echotomographie testiculaire
  - > Contrôle de fertilité (volume testiculaire et visualisation du tractus génital)

## **Exploration abdominale**

### ▪ **Digestive**

- Echotomographie hépatique
  - Tumeurs
  - Kystes hépatiques
  - Congestion veineuse
  - Infiltration graisseuse
  - Ascite
  - Obstruction des canaux biliaires
  - Cholécystite
- Echotomographie pancréatique
  - Pancréatite
  - Kystes pancréatiques

### ▪ **Urinaire**

- Echotomographie rénale
  - Kystes rénaux
  - Hydronéphrose
  - Dilatation du bassinet
  - Abscès rénaux
  - Tumeurs rénales
  - Lithiases
- Echographie vésicale
  - Cystite
  - Affection pariétale tumorale
  - Lithiases

### ▪ **Rate**

- Splénomégalie
- Différenciation d'une atteinte diffuse d'une atteinte localisée

## **Exploration cardiaque**

- Epanchements
- Tumeurs
- Affections valvulaires
  - Sténoses valvulaires
  - Insuffisances valvulaires
- Affections du myocarde
  - Myocardiopathies dilatées
  - Cardiomyopathies hypertrophiques
- Communications
  - Inter-ventriculaires
  - Inter -auriculaires
  - Persistance du canal artériel

### **Exploration oculaire**

L'échographie oculaire est particulièrement intéressante en cas d'opacité d'un ou plusieurs milieux oculaires, rendant impossible un examen clinique normal (**THOMAZO (1996)**). Les principales indications sont alors :

- > Opacités cornéennes
- > Cataractes
- > Glaucome absolu
- > Troubles vitréens

L'échographie permet alors de mettre en évidence :

- > Décollements rétiniens
- > Tumeurs intra-oculaires
- > Corps étranger intra-oculaire
- > Tumeurs de l'orbite

### **Exploration de l'appareil locomoteur**

L'exploration de l'appareil locomoteur à l'aide de l'échographie s'est développé principalement autour de la médecine équine, cependant ces connaissances sont appliquées actuellement en médecine des carnivores et permettent ainsi d'explorer plus précisément les tendons et les articulations.

### **Biopsie échoguidée**

Il existe des sondes d'échographe prévues à cet effet, cependant cet acte peut être réalisé sans cet appareil spécifique. L'intérêt est d'identifier à l'aide de l'échographie l'organe que l'on souhaite prélever, puis de réaliser le prélèvement une fois l'aiguille visualisée dans la zone de l'organe que l'on souhaite biopsier. Cette méthode permet d'améliorer la qualité des prélèvements.

Les actes les plus courants sont les prélèvements d'urine par cystosynthèse, les biopsies rénales chez le chat notamment ou les biopsies hépatiques.

## **B. L'ECHOGRAPHIE**

**BOON (1998), GODDARD (1995), NYLANDS (1995)**

L'échographie est une technique d'imagerie médicale basée sur l'utilisation d'ondes ultrasonores. Elle permet de visualiser de manière non-invasive des structures anatomiques internes, en toute sécurité normalement pour l'animal. L'échographie est une technique exigeante sur le plan intellectuel : en effet l'interprétation rationnelle des informations d'un examen échographique nécessite des connaissances biologiques (anatomie, physiologie, pathologie) et biophysiques (physique des ultrasons, formation de l'image, genèse des artéfacts...).

Au niveau historique, les premières tentatives d'examen de tissus biologiques par méthode échographique ultrasonore datent des années 1950 avec Howery et Wild.

De réelles améliorations sont apportées dans les années 1970 :

- on réalise les premières échographies à balayage mécanique qui permettent d'obtenir plusieurs images par seconde et ainsi de visualiser en temps réels des tissus en mouvement.
- on obtient les premières images en échelle de gris.

Les progrès réalisés durant les années 1980 et 1990 ont consistés en l'amélioration de la qualité des images (en précision (meilleure résolution), en nombre d'images par seconde, en profondeur... ) et en la miniaturisation des sondes.

### **1. Principes généraux de l'échographie**

#### **a. Nature physique des ultrasons**

En physique, il existe deux types d'onde : les ondes mécaniques qui nécessitent un milieu physique pour se propager et les ondes électromagnétiques qui peuvent se propager dans le vide. Les ultrasons sont des ondes ou vibrations mécaniques de même nature que les sons mais leur fréquence est trop élevée pour que l'oreille humaine puisse les détecter. Ainsi les ultrasons sont caractérisés par des ondes sonores de fréquence supérieure à 20 kHz (fréquence maximale des sons audibles par l'homme). En imagerie médicale, les fréquences utilisées varient entre 2 et 10 MHz.

L'origine des ondes ultrasonores produites par une sonde échographique est similaire à celle des ondes sonores audibles produites par un tambour. A l'état de repos, les particules d'air sont réparties de façon homogène autour de la membrane. Lorsque l'on frappe la membrane, cette dernière se met à vibrer ce qui entraîne une succession de compressions et de décompressions des molécules d'air (la membrane passant de l'état convexe à concave). Ce cycle de compression et de décompression se propage de proche en proche sous la forme d'une onde. Le mouvement d'une molécule peut se propager aux molécules adjacentes selon un processus d'ébranlement en chaîne. Les molécules d'air ne se déplacent que localement lors du cycle, c'est donc l'ébranlement qui est propagé et non les molécules elles-mêmes.

Dans le cas de la sonde échographique, ce sont des cristaux piézo-électriques qui jouent le rôle de la membrane. Le terme de piézo-électriques vient du grec « piezein » voulant dire « presser », en effet un cristal piézo-électrique est capable de se déformer de façon cyclique lorsqu'il est stimulé par un courant électrique alternatif. On obtient ainsi une oscillation mécanique des cristaux comparable à celle de la membrane du tambour, qui permet la formation d'ondes mécaniques de fréquence élevée et d'amplitude faible (l'amplitude du déplacement local des molécules d'air est minime).

#### b. Propriétés physiques des ultrasons

Les propriétés d'une onde sont caractérisées par différents paramètres : l'amplitude, l'intensité, la fréquence et la longueur.

- **L'amplitude** de l'onde est proportionnelle à l'intensité du courant appliqué aux cristaux et va déterminer l'énergie stockée par une particule.
- **L'intensité** de l'onde correspond au débit d'énergie (exprimée en Watt par  $\text{cm}^2$ ).
- **La fréquence** est définie comme le nombre de vibrations de la source émettrice (cristaux) par unité de temps. L'unité de mesure de la fréquence est le Hertz (Hz) ou nombre de cycles par seconde. La fréquence dépend des caractéristiques des cristaux piézo-électriques, elle correspond à la fréquence de résonance du cristal, c'est à dire la fréquence pour laquelle l'amplitude des oscillations du cristal est maximale.
- **La longueur de l'onde ( $\lambda$ )** est caractéristique à la fois de l'onde et du milieu de propagation et correspond à la distance parcourue par l'onde au cours d'un cycle de vibration. Elle varie de façon inversement proportionnelle avec la fréquence dans un milieu constant. Comme la vitesse de propagation des ultrasons est indépendante de la fréquence et est à peu près constante dans les tissus mous (1540m/s), la sélection d'une sonde à haute fréquence va se traduire par une diminution de la longueur d'onde du son émis.

#### c. Interactions des ultrasons avec les milieux biologiques : la genèse des échos

Il existe une analogie entre l'émission et la réception d'un son avec l'émission et la réception d'un ultrason. Lorsqu'un son audible rencontre un obstacle à sa propagation, il est réfléchi et une onde de retour de même fréquence revient sous la forme d'un écho audible. La distance qui sépare la source émettrice du son de l'obstacle peut être déterminée puisque l'on connaît la vitesse de propagation du son dans l'air (330m/s).

De façon analogue, lorsqu'un ultrason qui se propage dans un tissu rencontre un interface tissulaire, une partie de l'ultrason est réfléchi et retourne aux cristaux de la sonde. Les cristaux sont déformés par l'écho et génèrent alors un courant électrique qui est enregistré. Le cristal est donc à la fois l'émetteur et le récepteur. Le délai entre la propagation de l'ultrason et la réception de son écho va permettre de déterminer la distance entre les cristaux et la surface réfléchissante.

Les interactions des ultrasons avec les milieux biologiques peuvent être de quatre types : *réflexion, réfraction, diffusion et absorption*.

- **La réflexion**

Le phénomène de réflexion nécessite une présentation de la notion d'impédance acoustique. L'impédance acoustique ( $z$ ) d'un tissu est définie comme le produit de la densité du milieu par la vitesse de propagation des ultrasons. Ce paramètre acoustique caractérise la propriété de ce milieu à propager vs à réfléchir l'onde ultrasonore. Une interface tissulaire existe lorsque deux tissus d'impédance acoustique différente sont en contact. Lorsqu'une onde rencontre une interface tissulaire, une partie de l'énergie incidente est réfléchi. L'importance de la réflexion dépend donc de la différence d'impédance acoustique entre les deux milieux.

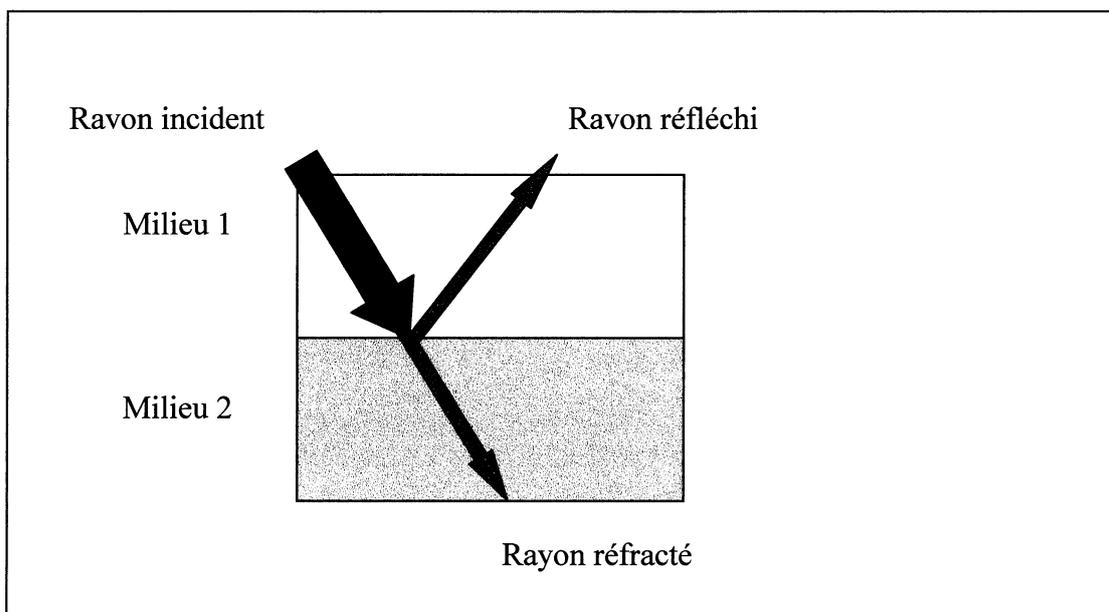
Ainsi à l'interface graisse-muscle seulement 1.5% de l'énergie incidente est réfléchi (les échos générés à cette interface sont cependant d'amplitude suffisante pour être détectés). Lorsque l'onde ultrasonore rencontre sur son trajet des milieux d'impédance acoustique très différente de celle des tissus mous comme le tissu osseux ou des gaz, la majeure partie de l'onde est réfléchi (plus de 99%). C'est la raison pour laquelle les os et les gaz constituent un obstacle à la propagation des ultrasons. Les interfaces les plus intéressantes correspondent à une faible différence d'impédance acoustique (1% ou moins) car elles permettent d'explorer les tissus sous-jacents (la majeure partie de l'énergie incidente étant transmise à travers l'interface tissulaire).

La réflexion est donc à la base de la formation des images échographiques. Elle est aussi à l'origine du phénomène d'atténuation : l'atténuation correspond à la diminution de l'intensité de l'onde au fur et à mesure qu'elle progresse dans les tissus, ce qui va limiter la profondeur des tissus explorés. A valeur d'atténuation égale, la profondeur de pénétration des ultrasons est d'autant plus faible que la fréquence est élevée.

Les mécanismes atténuateurs sont multiples puisque interviennent également la réflexion et la diffusion (perte d'énergie par ré-émission dans des directions différentes). L'absorption de l'énergie et sa transformation en chaleur participent également au phénomène d'atténuation.

- **La réfraction**

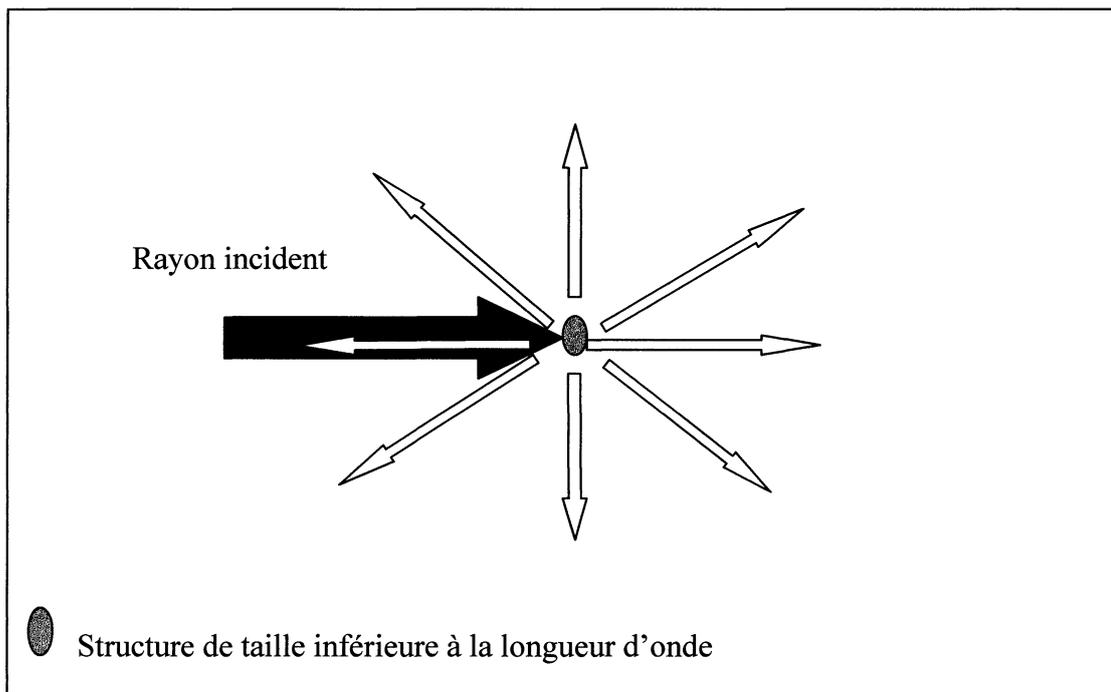
La réfraction correspond à une déviation de l'onde ultrasonore lorsqu'elle traverse un tissu ayant des propriétés acoustiques différentes. La réfraction survient seulement si l'interface n'est pas perpendiculaire à l'onde. Ce phénomène est comparable à la déviation de la lumière par un prisme. La déviation du faisceau est à l'origine de la non réception de l'écho et contribue ainsi à l'atténuation et la formation d'artéfacts.



Graphique 1 : Réflexion et Réfraction d'un faisceau d'ultrasons

- **La diffusion**

Lorsque les dimensions de l'interface rencontrée sont petites en comparaison avec la longueur d'onde, l'onde ultrasonore est absorbée puis ré-émise dans toutes les directions. Ainsi l'échostructure des parenchymes est due aux échos diffusés par les multiples hétérogénéités diffusantes de petite taille telles que les capillaires, tissus conjonctifs.



Graphique 2 : Diffusion d'un faisceau d'électrons

- **L'absorption**

L'absorption correspond à la transformation de l'énergie en chaleur et participe ainsi directement à l'atténuation. Ce phénomène est minime avec les ultrasons.

#### d. Emission et réception des ultrasons

##### ➤ **L'émission des ultrasons : la production de salves**

Les ultrasons ne sont pas émis de façon continue mais sous la forme de salves ou séries de trois cycles environ. Le cristal est soumis à une série de courtes impulsions électriques qui sont à l'origine d'une courte série de vibrations appelée impulsions ou salves. L'image est formée par les échos qui reviennent à la sonde après chaque salve. De façon générale, les ultrasons ne sont émis que pendant 1% du temps alors que la sonde joue le rôle de récepteur pendant 99% du temps. Ainsi le même cristal est émetteur pendant un temps très court de l'ordre de  $2\mu\text{s}$  et ensuite récepteur pendant  $998\mu\text{s}$ , le cycle durant 1 milliseconde. Mille impulsions de 3 à 4 cycles peuvent être émises par seconde malgré les pauses qui s'intercalent entre chaque salve. La collection des échos demande environ 0.25ms donc 4000 impulsions ou lignes d'échos peuvent être collectées par seconde. Donc, si 110 lignes d'écho sont nécessaires pour former une image, 40 images seront générées par seconde. Chaque pulse est équivalente à une série de 2-3 vibrations. La longueur de cette salve de vibrations va déterminer la résolution axiale.

La **résolution axiale** est définie comme la capacité à différencier des objets le long du trajet de l'onde. La longueur de la salve générée diminue lorsque la fréquence augmente et que la longueur d'onde diminue : plus la longueur d'onde est courte, meilleure est la résolution axiale.

La **résolution latérale** caractérise la capacité de discriminer deux réflecteurs adjacents mais situés à la même profondeur. Elle dépend du diamètre du faisceau d'électrons qui varie avec la fréquence de la sonde et la distance qui sépare les points à visualiser de la sonde. Une résolution latérale acceptable est obtenue pour une courte distance.

##### ➤ **La réception des ultrasons : la formation des images**

L'onde réfléchi ou écho captée par la sonde déforme les cristaux. Cette énergie mécanique est convertie en un signal électrique proportionnel à l'intensité de l'écho avec un délai relatif à sa distance parcourue.

Les échographes sont calibrés pour une vitesse de propagation constante de 1540m/s (vitesse moyenne de propagation des ultrasons dans les tissus mous) bien que de faibles différences existent. La latence qui sépare le moment de l'émission d'une salve de vibrations et le retour de l'écho correspondant est déterminée, cette latence qui reflète la profondeur de l'interface qui a produit l'écho est calculée. Un point lumineux représentant chaque écho est placé sur l'écran vidéo à une profondeur appropriée en fonction du temps de retour de l'écho.

La brillance du point lumineux varie en fonction de l'intensité de l'onde réfléchi (échographie en mode B). Chaque point (pixel) représenté sur l'écran correspond à l'amplitude de l'écho et la brillance est représentée par une échelle de gris (du blanc (très échogène) au noir (absence d'écho)).

Comme les ultrasons suivent un trajet rectiligne, une image en 2 dimensions peut être produite à partir d'un grand nombre de cristaux alignés (cas de la sonde linéaire ou « barrette »).

L'amplification consiste à augmenter l'amplitude des échos de façon « balancée » pour avoir une bonne image en corrigeant l'atténuation liée à la distance parcourue. Ce réglage est manuel et il est réalisé par l'opérateur en regardant l'image. En pratique on règle 3 gains : un gain pour l'ensemble de l'image, un gain pour le champ rapproché et un gain pour le champs éloigné.

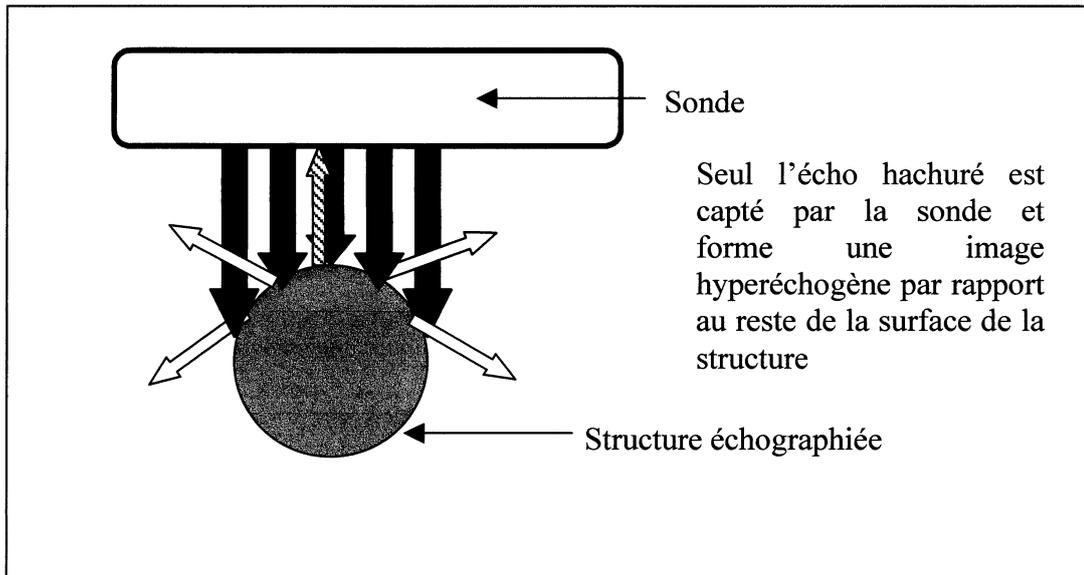
La distance de pénétration des ultrasons dans les tissus mous dépend de la fréquence utilisée. Les sons de haute fréquence sont plus rapidement atténués que les sons à basse fréquence. Cela signifie que les tentatives d'amélioration de la résolution axiale par l'augmentation de la fréquence vont se traduire par une réduction de la profondeur de tissu exploré. La fréquence doit donc être choisie en fonction de la profondeur des structures à visualiser. Le manipulateur de l'échographe doit sélectionner la sonde de la plus haute fréquence qui va permettre d'atteindre la profondeur désirée.

#### e. Interprétation des images

L'interprétation des images nécessite des connaissances de physiologie ainsi que des bases de physique. L'une des difficultés est de reconnaître les images artéfactuelles.

- **Les réflexions spéculaires**

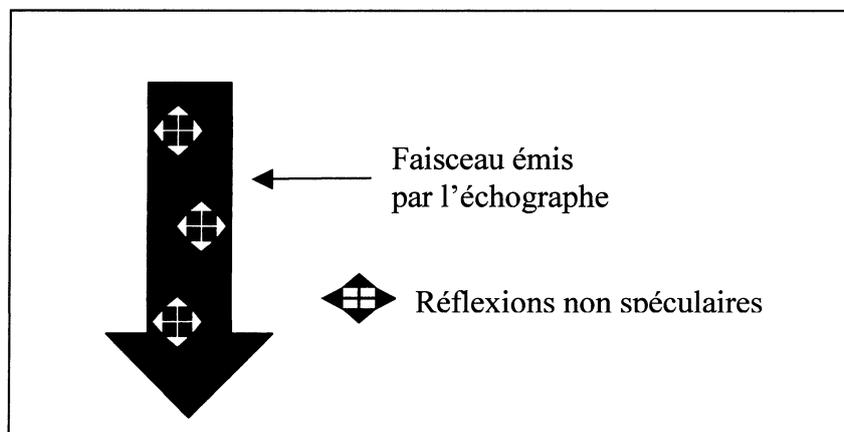
Les images dites spéculaires (ou miroitantes) sont des images brillantes (hyperéchogène). Elles sont dues à la réflexion d'un faisceau sur une zone lisse, plus large que le faisceau et qui est parallèle à la sonde. Ainsi seule une impulsion qui frappe un réflecteur spéculaire à angle droit sera enregistrée comme un écho sur l'écran. Cela veut dire que l'amplitude de l'écho dépendra non seulement de la différence d'impédance acoustique entre les deux tissus formant l'interface mais aussi l'angle d'impact. Une impulsion qui frappe une interface avec un angle va être réfléchi avec le même angle et l'interface ne sera pas détectée.



Graphique 3 : Principe de formation d'une réflexion spéculaire

- **Réflexion non spéculaire**

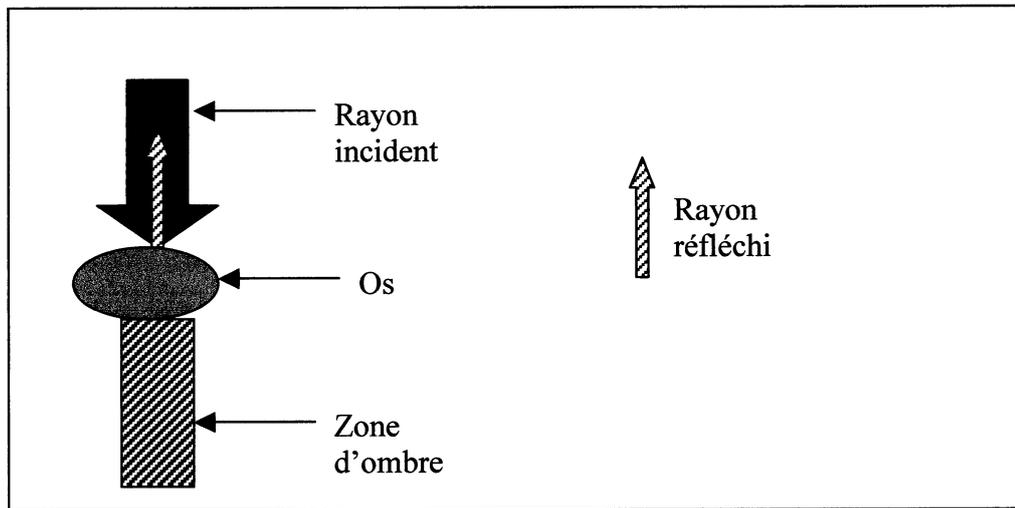
Les réflexions non spéculaires (encore dites diffuses) ont pour origine des réflexions sur des surfaces rugueuses ou des surfaces plus étroites que le faisceau. A la différence des réflexions spéculaires, l'amplitude de l'écho pour les réflecteurs non spéculaires ne dépend pas de l'angle de l'incidence du faisceau. La diffusion est définie comme une réflexion dans toutes les directions : une partie du faisceau revient vers la sonde. Ces images non spéculaires sont majoritaires en échographie et déterminent l'échostructure des zones explorées (formation de nuances de gris).



Graphique 4 : Principe de formation de réflexions non spéculaires

- **Les ombres artéfactuelles**

Sur une image normale, une zone noire correspond à une absence de réflecteur (ex : liquide) or des zones apparaissant en noir peuvent être d'origine artéfactuelles s'il y a blocage ou déviation du faisceau. On peut avoir une déviation lors du phénomène de réflexion (deux tissus formant une courbure, d'impédance acoustique proche). Le blocage du faisceau peut avoir lieu lors du phénomène de réfraction (deux tissus d'impédance acoustique très différente comme par exemple entre un tissu mou et un os). Suite à ces phénomènes apparaissent des zones d'ombre sur l'image.



Graphique 5 : Principe de formation d'ombres artéfactuelles

- **Les artéfacts par augmentation**

Ces artéfacts apparaissent suite à la traversée d'une structure liquidienne (ce qui est fréquent dans l'utilisation de l'échographie dans la reproduction).

- **Les artéfacts de réverbération**

La réverbération est le phénomène par lequel l'écho rebondit de une à plusieurs fois entre deux interfaces à forte impédance acoustique et cela jusqu'à l'épuisement de l'écho par l'atténuation. Cela peut se produire à l'interface gaz-tissu mou. On observe un empilement d'échos sur l'écran dont seul le premier est légitime. Compte tenu de la décroissance des échos réverbérés, on parle d'artéfacts en queue de comète. Ces artéfacts possèdent trois caractéristiques :

- ils sont équidistants
- ils diminuent progressivement d'amplitude
- ils sont orientés de façon parallèle à la paroi de réflexion.

Ces artéfacts peuvent apparaître dans une zone d'ombre, une zone liquidienne ou une zone normalement échogène (c'est dans ce dernier cas qu'il pose problème).

- **Réverbération d'échos diffusés**

Le mécanisme est le suivant : un faisceau incident rencontre d'abord un tissu capable de diffuser le faisceau. Cela va donner naissance à des échos non spéculaires (c'est à dire par diffusion). Ensuite, le faisceau atteint une interface à forte impédance acoustique ; cela donne un écho réfléchi spéculaire qui remonte plus vite et on aura ainsi une image qui sera au-dessus de la zone de diffusion (alors qu'elle devrait être en dessous).

- **Artéfacts dus à la largeur du faisceau (Beam-width artifacts)**

Ces artéfacts s'observent en périphérie de liquide ou de gaz, cela donne l'impression que la paroi n'est pas nette mais plus ou moins fragmentée avec des agrégats. Pour éviter ces artéfacts, il faut donc réduire la largeur du faisceau (meilleure résolution latérale).

- **Absence d'échogénicité**

L'absence d'échogénicité implique seulement une grande homogénéité du tissu (pas d'interface). Cela est vu avec les liquides mais aussi avec des structures solides (pied de fœtus, œil...)

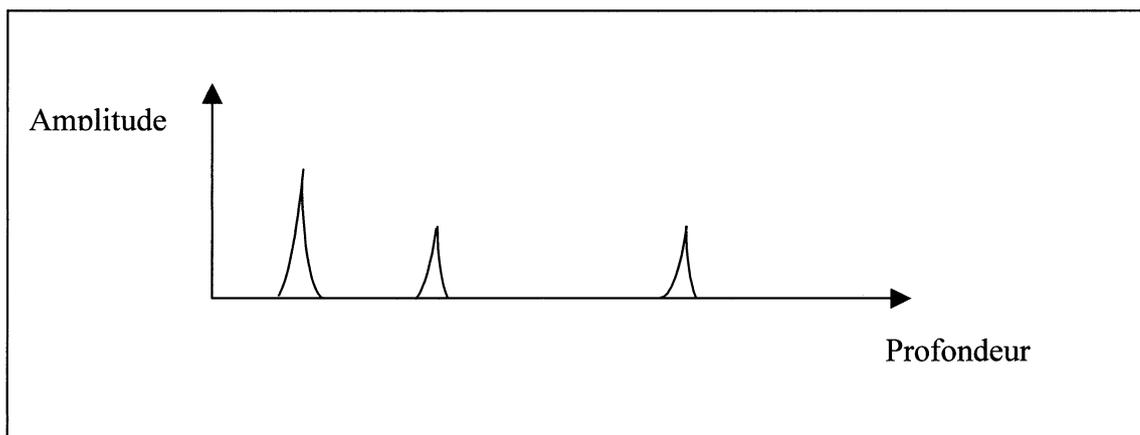
## 2. Les équipements échographiques

### a. Les différents modes de visualisation des ondes réfléchies

#### ▪ **Mode A ou mode unidimensionnel**

L'écho est apprécié sur l'écran par un pic dont l'amplitude dépend de son intensité, les différents traduisent des signaux reçus successivement en fonction du temps et donc en fonction de la profondeur.

Ce mode fut le premier à avoir été utilisé, mais il est actuellement peu utilisé (ophtalmologie, neurologie, mesure d'épaisseur de masse musculaire).



Graphique 6 : Résultat obtenu par échographie en mode A

#### ▪ **Mode BD ou mode brillance dynamique**

Chaque écho est représenté par un point dont la luminosité est proportionnelle à son intensité. Le degré de luminosité définit une échelle de gris d'où le terme de brillance.

La notion dynamique provient du fait que l'image est construite par un balayage interne de la sonde dans un plan ; ce balayage pouvant être mécanique (le cristal oscille sur un arc de cercle : cas de certaines sondes sectorielles) ou électronique (il y a excitation différée de cristaux répartis le long de la sonde : cas des sondes linéaires et de certaines sondes sectorielles).

La rapidité de ce balayage est telle que l'œil humain ne le discerne pas, on obtient donc une image en temps réelle de la région explorée. L'image correspond à un plan de coupe qui se déplace avec les mouvements de l'opérateur.

Ce mode d'échographie est aussi appelé échographie bidimensionnelle et correspond à celui le plus utilisé actuellement.

- **Mode TM ou mode temps mouvement**

Dans ce mode, la sonde reste immobile et le faisceau garde une direction constante. L'écran étudie en fonction du temps le déplacement des points et permet de visualiser les mouvements des tissus. Ce mode est principalement utilisé en cardiologie.

- **Mode Doppler**

Lorsqu'une onde sonore de fréquence donnée rencontre une surface de réflexion mobile, la fréquence de l'onde réfléchie est modifiée : c'est l'effet Doppler.

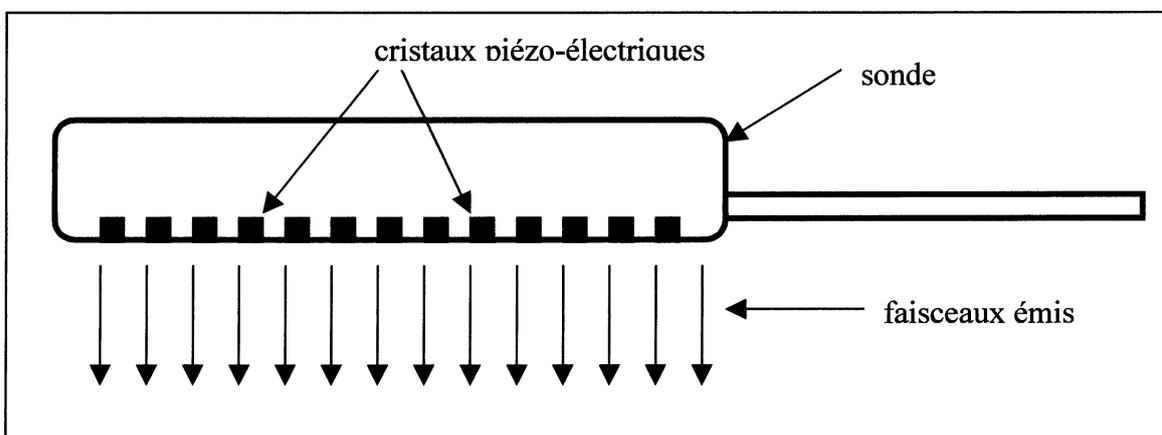
La fréquence Doppler  $F_d$  ( $F_d = F \text{ réfléchie} - F \text{ émise}$ ) est fonction de la vitesse de l'objet en mouvement et appartient à l'échelle de sons audibles. L'écho produit peut donc être simultanément reproduit par un haut-parleur et visualisé sur un écran d'oscilloscope. Les appareils Doppler sont utilisés en échocardiographie.

Les appareils Doppler peuvent fonctionner en système continu ou en système pulsé. Le mode continu est le plus souvent utilisé mais il ne permet d'explorer que des vaisseaux superficiels. Le Doppler pulsé permet en revanche d'explorer des vaisseaux plus profonds, de plus il existe une variante intéressante : le Doppler couleur qui fait apparaître les mouvements en bleu ou en rouge selon le sens de circulation.

b. Les différentes sondes utilisées en médecine vétérinaire

- **Sonde linéaire (ou sonde barrette) :**

La sonde linéaire est une sonde « multicristaux » : les cristaux sont alignés et stimulés électroniquement de façon sériée et itérative. Ce balayage permet d'obtenir une image rectangulaire à l'écran. La zone de contact entre la sonde et l'animal est importante ce qui peut gêner son utilisation chez les animaux de petite taille, c'est pourquoi elle est principalement utilisée pour les échographies transrectales chez les grands animaux.

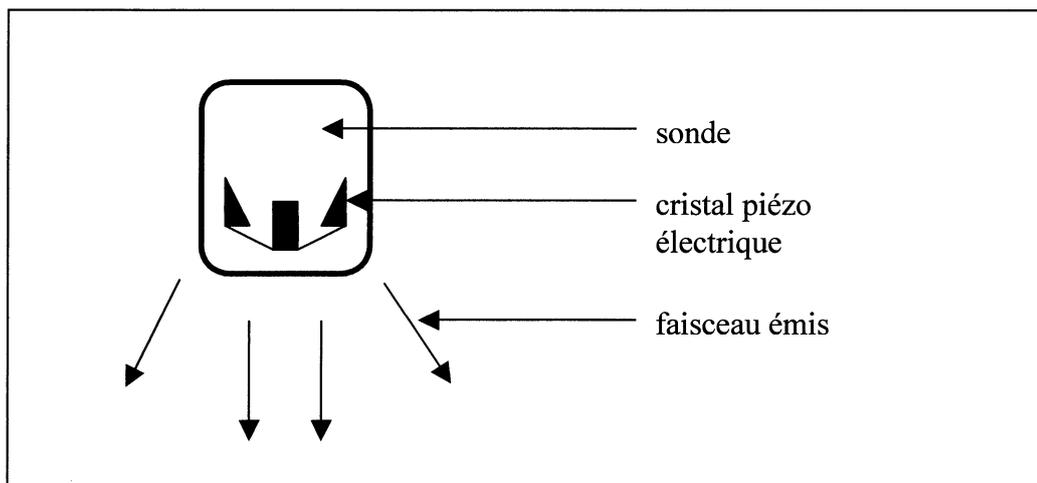


Graphique 7 : Schéma d'une sonde échographique de type barrette

- **Sonde sectorielle :**

Dans ce type de sonde, le balayage est soit électronique soit mécanique (les cristaux oscillent sur un arc de cercle grâce à un petit moteur). La sonde balaie un secteur de l'espace et l'image apparaît en cône. La surface de contact est faible et la manipulation est aisée. Elle est indispensable pour les explorations sous-costale et les animaux de petite taille.

Les sondes à balayage mécanique permettent d'obtenir une bonne résolution proximale et sont moins chères que les sondes à balayage électronique, par contre elles sont légèrement bruyantes et vibratiles ce qui peut gêner certains animaux anxieux. Les sondes à balayage électronique sont petites, silencieuses et d'excellente résolution en profondeur mais elles sont beaucoup plus coûteuses.



Graphique 8 :schéma d'une sonde sectorielle de type vectorielle

- **Fréquence de la sonde :**

Les sondes de haute fréquence ont une excellente résolution mais pénètrent moins profondément ; c'est pourquoi il faut adapter la sonde à la profondeur de la structure que l'on souhaite visualiser. C'est ainsi qu'une sonde de 7.5 MHz est utilisée pour explorer les tissus superficiels (tendons, articulations) alors qu'une sonde de 3.5 MHz sert à échographier des organes plus profonds (viscères de grands animaux).

### c. Réglages et modifications de l'image

La brillance contrôle la quantité de lumière associée à un écho.

Le contraste est ajusté de façon à voir toute la palette des nuances de gris.

Le réglage du gain permet d'égaliser des signaux issus de profondeurs différentes. Il y a un gain général et des gains proximaux ou distaux.

L'inversion de l'image est possible (elle peut être formée de droite à gauche ou de gauche à droite), on vérifie le sens en passant le doigt sur la sonde.

Les échographes possèdent également un pied à coulisse électronique dont la précision est excellente (erreur inférieure à 5%), les hauteurs étant plus fiables que les largeurs.

Pour mieux étudier une image (pour l'enregistrer, l'imprimer, mesurer une épaisseur ou une surface...), il est possible de la fixer (freeze control).

En conclusion, comprendre les mécanismes de l'échographie et connaître le matériel permet d'interpréter l'image obtenue dans les meilleures conditions possibles.

#### Les points importants à retenir sont :

- L'onde sonore subit un cheminement très complexe pouvant engendrer de nombreux artéfacts.
- La qualité de la sonde échographique est l'élément le plus important et doit être adaptée aux besoins de l'utilisateur.
- L'échographe possède de nombreux réglages dont la connaissance permet d'améliorer la qualité de l'image obtenue.
- Une méthode rigoureuse est indispensable afin d'éviter de considérer un artéfact comme une modification pathologique ou de ne pas remarquer une image anormale.
- L'expérience et une utilisation fréquente sont deux éléments primordiaux.

### **3. Limites et avantages de l'échographie**

- **Limites liées à la technique**

- On ne peut pas visualiser des organes se situant en arrière plan d'une couche d'air (poumon) ou d'os (encéphale).
- Une augmentation de la fréquence de la sonde permet d'améliorer la précision mais diminue la profondeur du champ d'exploration.

- **Limites liées à l'animal**

- La préparation de l'animal : la tonte est indispensable pour obtenir une bonne qualité d'image.
- L'indocilité : le décubitus dorsal est souvent mal toléré d'où l'intérêt d'avoir des coussins en mousse.
- La polypnée qui entraîne perturbe l'examen échographique du cœur et du foie.
- L'échogénicité du sujet est variable (comme chez l'homme).

- **Limites liées au manipulateur**

- Maîtrise de la technique échographique (genèse des images et des artéfacts). L'apprentissage est facilité par l'acquisition d'un échographe performant et par le suivi de formations de manière régulière.
- Maîtrise de l'anatomie, physiologie, pathologie.
- Obtention de coupes anatomiques correctes.
- Obtention d'une image de qualité par les réglages de l'appareil.
- Temps de manipulation assez long ( 30 minutes environ en clientèle canine).

- Limites liées à l'appareil

- Le prix : le coût des appareils est encore élevé bien qu'il ait baissé au cours des dernières années.
- Le type de sonde : les sondes sectorielles sont plus adaptées aux carnivores alors que les sondes linéaires sont utiles pour les animaux de grand format. De plus il est conseillé d'avoir des sondes de différentes fréquences afin de s'adapter au format de l'animal d'une part et à la profondeur de l'organe étudié d'autre part.
- Les résolutions axiales et latérales : elles sont fonction à la fois de la fréquence utilisée et de l'appareil.
- La taille de la sonde : une sonde de petite taille est à préférer afin de pouvoir passer entre les espaces intercostaux d'animaux de petit format.

- Avantages

- Des coupes d'organes accessibles sont possibles dans tous les plans et la reconstruction mentale de l'organe en 3 dimensions est facilitée.
- La structure interne des organes devient visible.
- Le plus souvent pas de préparation particulière nécessaire, et en particulier pas d'anesthésie.
- Il s'agit d'une technique non invasive et sans risques pour l'animal.

## C. ENGRAISSEMENT DES BOVINS

### **ROBELIN (1978), ROBELIN (1986),**

Jusqu'à la puberté la croissance musculaire est forte et celle des dépôts adipeux modérée alors que par la suite les rapports s'inversent (augmentation nette du coefficient d'allométrie des gras après la puberté atteinte à un poids d'environ 350 kg ici).

L'engraissement des bovins s'accompagne de modifications dans la répartition des tissus avec surtout une augmentation importante de la part du tissu adipeux. De même la répartition des dépôts adipeux évolue au cours de leur croissance puis de l'engraissement.

Nous allons donc détailler l'évolution des tissus au cours de l'engraissement ainsi que l'influence du sexe et du type des bovins.

#### 1. Répartition des différents dépôts adipeux

### **ROBELIN *et al* (1990), WRIGHT *et al* (1984)**

Ces dépôts adipeux peuvent être classer en :

- gras de la carcasse :
  - \* gras internes = gras des cavités thoracique et pelvienne
  - \* gras intermusculaires
  - \* gras sous-cutanés
  
- gras du cinquième quartier :
  - \* gras périrénaux (appelés aussi gras de rognons)
  - \* gras péritonéaux (situés autour du rumen)
  - \* gras mésentériques (autour des intestins)
  - \* gras péricardiaques

#### Remarque :

On compare la croissance des tissus entre eux à l'aide de coefficients d'allométrie (explications plus détaillées dans la thèse de F. PAULUZZI).

Le coefficient d'allométrie correspond au rapport entre la croissance relative de l'élément Y et celle du poids vif vide.

Une valeur de b inférieure à 1 signifie que la croissance de l'élément considéré est plus lente que celle du poids vif, autrement dit la proportion du poids de cet élément dans le poids vif vide diminue au cours de la croissance. Inversement, le poids d'un élément ayant une valeur de b supérieure à 1 augmente plus rapidement que le poids vif vide donc sa proportion augmente quand le poids vif vide augmente.

Les résultats présentés de la répartition des dépôts adipeux sont les moyennes obtenues chez des taurillons de 550 kg :

- Les gras intermusculaires sont prépondérants (plus de la moitié des dépôts totaux).
- Les gras sous-cutanés représentent environ 15 % du poids vif vide, les dépôts de la carcasse donnant un total de 77 %.
- Les gras du cinquième quartier sont donc minoritaires et parmi eux, on note l'importance des gras péritonéaux.

## 2. Evolution au cours de l'engraissement

Les dépôts sous-cutanés ont une croissance plus rapide que celle des dépôts adipeux totaux (coefficient d'allométrie de 2.44 entre 9 et 19 mois (**ROBELIN *et al*, 1977**)) donc leur proportion augmente alors que les dépôts intermusculaires ont une croissance plus lente que la moyenne. Ceci explique l'utilisation de l'appréciation visuelle des dépôts sous-cutanés dans l'estimation de l'état d'engraissement global.

## 3. Influence du génotype et du sexe

Au même âge, les taurillons de race précoce (Prim'Holstein, Angus) ont plus de gras sous-cutané et moins de gras intermusculaire que ceux des races tardives (Charolaise, Limousine, Blonde d'Aquitaine).

De fait, pour obtenir un même état d'engraissement, un taurillon Charolais sera plus âgé et donc plus lourd qu'une génisse ou qu'un taurillon Prim'Holstein.

Réciproquement, pour un même poids d'abattage, un taurillon Prim'Holstein sera plus gras qu'un Charolais, d'où un meilleur rendement commercial du Charolais qui correspond au rapport du poids de morceaux commercialisables sur le poids de carcasse après parage.

Les différences de composition corporelle entre génotypes se répercutent donc sur les types de production en rapport avec la précocité des races (pour obtenir une carcasse d'état d'engraissement donné, on abattra les bovins de races précoces plus jeunes) mais aussi sur les besoins nutritionnels (**BERANGER, 1977**).

En ce qui concerne l'effet du sexe, peu d'études sont disponibles mais selon **ROBELIN INRA Prod VBp52** les génisses renferment de 26 à 60 % de lipides en plus par rapport aux mâles entiers de même génotype pour un poids de carcasse de 200 à 300 kg. Elles ont en effet une croissance pondérale plus faible mais un développement des dépôts adipeux plus rapide. Les bœufs ont une situation intermédiaire entre mâles et femelles.

#### 4. Influence du poids d'abattage (MICOL *et al*, 1993)

Au cours de la croissance, le poids vif augmente ainsi que la part des lipides dans la composition corporelle donc en contrôlant le poids vif, on peut espérer maîtriser l'état d'engraissement des taurillons à l'abattage. Les taurillons d'une race donnée sont relativement homogènes, en revanche dans le cas de vaches de réforme, un critère de poids seul ne suffirait pas pour évaluer l'état d'engraissement. Cependant, il faut aussi tenir compte du niveau énergétique de la ration qui influe sur le Gain Moyen Quotidien.

Remarque : des facteurs secondaires influencent l'état d'engraissement, à savoir l'activité physique et les conditions d'ambiance. Par exemple, des vaches qui pâturent, s'engraissent plus lentement que des vaches qui reçoivent à l'auge la même herbe coupée et des vaches en stabulation entravée s'engraissent moins vite que des vaches en stabulation libre.

**(BERANGER (1977), FAULCONNIER (1999))**

#### 5. Teneur en lipides intramusculaires

##### Rappel de la composition chimique moyenne d'un muscle

- Eau : 75 %
- Protéines : 15 à 20 %
- Lipides : 3 %
- Glucides et catabolite : 1,5%
- Matière azotée non protéique : 1,5 %
- Minéraux : 1 %

La teneur en lipides intramusculaires est constante, à un état d'engraissement donné, quel que soit le type de bovin. Elle augmente au cours de l'engraissement mais 5 fois moins que le pourcentage de gras total de l'animal. Le persillé, auquel on associe les qualités organoleptiques de la viande, atteint donc des niveaux suffisants chez des animaux relativement gras.

**LANGLOIS 1988**, cité dans « **Le gras dans la viande des ruminants** » a montré que l'optimum de goût du faux-filet est obtenu pour un taux de lipides intramusculaires de 4 % environ. Cependant cet optimum n'est pas constant entre les muscles et a fortiori pour la carcasse.

L'institut de l'Élevage a donc lancé des études sur des jeunes bovins de race Montbéliarde (**Le gras dans la viande des ruminants**) qui ont montré :

- une augmentation quasi-continue de la flaveur notée par dégustation lorsque la teneur en lipides intramusculaires augmente de 0 à 10 %, puis un palier pour des valeurs supérieures à 10 %
- des différences dans les taux de lipides intramusculaires selon les muscles et dans leur évolution au cours de l'engraissement :
  - le faux-filet, le filet et d'autres sont caractérisés par un taux moyen de lipides d'environ 1 %
  - la hampe, le paleron et le muscle persillé par un taux voisin de 4 %.

D'autre part, certains muscles répondent à l'engraissement par une augmentation de leur taux de lipides (c'est le cas du faux-filet mais dans une plage limitée et du paleron avec une amplitude plus importante) et pour d'autres, le taux de lipides augmente puis stagne en fin d'engraissement. On imagine alors la difficulté de choisir un muscle dont l'évolution se rapprocherait de la plupart, d'autant que parmi les groupes décrits, on observe encore des variations. Cependant, on constate que les taux de lipides de certains muscles comme le faux-filet sont régulièrement bien corrélés à ceux d'autres muscles. Il semble donc intéressant de mesurer leur taux de lipides pour évaluer les qualités organoleptiques de la viande.

- des variations des taux de lipides au sein de régions d'un même muscle :  
Entre les cubes découpés dans un muscle donné, on observe d'importants écarts qui s'accroissent avec la teneur moyenne en lipides du muscle.

On comprend la difficulté à déterminer l'état d'engraissement optimal d'abattage d'un bovin pour la flaveur de sa viande ; il faudrait pouvoir noter cette caractéristique muscle par muscle ou tranche par tranche. Cependant, il est nécessaire de se fixer un objectif d'état d'engraissement optimal de l'animal à abattre, afin de limiter le nombre de carcasses pas assez ou trop grasses pour le marché.

## 6. Engraissement des vaches de réforme

### **DUMONT *et al* (1991), MALTERRE (1986)**

Le cheptel bovin français est constitué au 1<sup>er</sup> janvier 2001 de 4.4 millions de vaches laitières et 4.1 millions de vaches allaitantes. Dans la production de gros bovins, les vaches forment la partie la plus importante de la production et l'origine des bovins est presque équilibrée entre les races allaitantes et laitières.

	Pourcentage de la production de gros bovins	Origine (%)	
		allaitante	laitière
Vaches	47	50	50
Jeunes bovins et taureaux	31	66	33
Génisses	13	65	35
Boeufs	9	30	70
	<b>total</b>	<b>55</b>	<b>45</b>

Source : Chiffres clés GEB 2001 de l'Institut de l'élevage.

Tableau 2 : Répartition de la production bovine française en 2001.

L'engraissement consiste à augmenter la quantité de tissus adipeux d'un animal, cependant le terme le plus approprié le plus souvent serait celui de finition d'un animal qui s'intéresse au développement corporel terminal (à savoir musculaire et adipeux).

Cette activité d'engraissement des bovins avant leur abattage est réalisée en France par l'éleveur lui-même, par des engraisseurs privés ou des centres d'engraissements coopératifs. L'engraissement des vaches de réforme peut permettre à l'éleveur de valoriser sa production au maximum, surtout en système allaitant. En effet, bien engraisser ce type d'animaux procure à l'éleveur des revenus supplémentaires puisque les carcasses produites sont alors plus lourdes et obtiennent un meilleur classement. Il est donc important de maîtriser cette phase qui peut représenter une part importante des revenus de l'exploitation en vue de s'adapter au marché (en évitant de proposer des animaux trop gras ou trop maigres). Or, ces vaches sont de race, d'âge, de format, d'état corporel et physiologique différents, d'où les difficultés d'adaptation à des conditions de finition standards.

Dans le cas de la Blonde d'Aquitaine, l'objectif est un gain 90 à 120 kg de poids sur une durée de 70 à 110 jours. Un engraissement d'une durée supérieure à 120 jours est déconseillé car le GMQ et l'ingestion diminue. Pendant cette période, on vise un GMQ allant de 1300 à 1700 g/j.

Pour une Blonde d'Aquitaine de 700kg en finition, les recommandations journalières classiques faites aux éleveurs sont :

Energie	11 à 12.5 UFV
PDI	1400 à 1600 g
Rapport PDI/UF	115 à 130
Ca	60 g
P	60 g

Remarque : dans l'étude présentée dans la deuxième partie, le rapport PDI/UF est de 70. En effet, l'AGPM a mis en place différentes études afin de prouver que ce rapport était suffisant afin d'engraisser des Blondes d'Aquitaine. En effet ils utilisent des rations très énergétiques à base de MGHE (Mais Grain Entier Humide) ce qui leur permet d'engraisser les vaches rapidement. Toutefois, ce régime est intéressant sur une vache déjà bien conformée qui ne nécessite pas une croissance musculaire importante, il s'agit donc bien dans ce cas d'engraisement et non pas de finition.

Selon les régions et les races, on peut distinguer 3 types de régimes alimentaires afin de finir les vaches :

<b>RATION SECHE</b>	<b>RATION ENSILAGE MAIS</b>	<b>RATION HERBE</b>
Paille-Foin à volonté (2-3kg)  11 à 12 kg de concentrés à 16-18% de Protéines Brutes)	Paille-Foin à volonté  4 kg de concentrés à 20-25 % de Protéines Brutes  4 à 5 kg d'ensilage de maïs	Fourrage à volonté  5 à 8 kg de concentrés (fonction de la quantité et de la qualité de l'herbe)  Herbe

En ce qui concerne les vaches laitières, elles peuvent être engraisées en fin de lactation ou bien attendre le tarissement. **MALTERRE (1986)** affirme que les vaches en état corporel correct se finissent bien grâce à une légère suralimentation (herbe ou ensilage de maïs associé à des concentrés) pendant les deux derniers mois de lactation. En revanche, pour les vaches très maigres, on doit attendre le tarissement et l'engraissement sera rentable s'il se fait au pâturage. Effectivement, ces vaches s'engraissent mieux au pâturage qu'à l'auge pendant la même durée de deux mois et cela coûte moins cher dans les régions comme le Charolais où la culture du maïs est moins rentable (**ROBELIN, LESTRADE,,1982**). En revanche dans les régions du Sud Ouest de la France, l'utilisation du maïs en engraissement reste la plus rentable car elle permet d'apporter à l'animal une ration très énergétique.

Là encore, on peut évoquer les différences entre les types génétiques à propos de la composition de la masse développée pendant l'engraissement : les races laitières déposent essentiellement du gras alors que les races à viande ont un potentiel de croissance musculaire très supérieur. Leur durée d'engraissement sera donc plus longue (schématiquement, elles prennent beaucoup de muscle au début puis déposent du gras alors que les races laitières déposent du gras tout de suite), c'est pourquoi le gain de poids des vaches allaitantes est supérieur.

Si l'on étudie la répartition du tissu adipeux accumulé pendant la phase d'engraissement, on montre que les vaches de réforme de race Limousine, Charolaise ou Prim'Holstein peuvent déposer en moyenne 30 kg de gras intermusculaire, 20 kg de gras sous-cutané et 32 kg de gras interne. Les tissus les plus actifs sont les tissus adipeux sous-cutanés et l'omentum (**ROBELIN, AGABRIEL, 1990**). Ces vaches prennent donc environ 100 kg de gras sur une durée de 123 à 153 jours dans le cas particulier de cette étude. Il faut noter aussi que les vaches de race Prim'Holstein n'ont quasiment pas pris de muscle pendant cette phase, contrairement aux deux autres types de bovins qui en ont fabriqué 20 à 30 kg.

**MALTERRE (1989)** a étudié l'engraissement des vaches de réforme de race Limousine ; cette race se caractérise par une faible capacité d'ingestion et une bonne efficacité alimentaire, il n'est donc pas utile de restreindre l'alimentation lors de la finition en vue de limiter les dépôts adipeux excessifs. Avec ce type de bovins, on peut ainsi espérer un GMQ de 1200 g/j sur une période d'engraissement de 2 mois et demi avec un régime à base d'ensilage de maïs et de concentré, pour arriver à un gain de poids de la carcasse de l'ordre de 50 kg dont 20 kg de muscles.

L'engraissement des vaches de réforme de race Limousine est donc intéressant du point de vue économique puisque ces bovins reprennent rapidement du poids lors de cette phase ; on peut alors proposer à la vente des carcasses de poids et de qualité supérieurs.

**DUMONT *et al* (1991)** ont étudié les effets de l'âge et de la durée d'engraissement sur la composition de la carcasse et la qualité organoleptique de la viande de vaches de réforme de race Charolaise. Le gain de poids devient vite important puis diminue à partir du cinquantième jour (notons qu'on remarque aussi un ralentissement du gain de poids chez des taurillons en phase terminale d'engraissement).

En revanche, l'état d'engraissement augmente jusqu'à la fin de l'engraissement (qu'il dure 70 ou 109 jours). En ce qui concerne l'effet de l'âge, les vaches âgées montrent une efficacité alimentaire inférieure.

A l'abattoir, on constate que, quel que soit l'âge, l'augmentation de la durée d'engraissement au-delà de 70 jours permet un gain de poids certes, mais composé essentiellement de gras donc inutilisable. En revanche, l'état d'engraissement influe directement sur les qualités organoleptiques de la viande : tendreté, jutosité et flaveur sont plus élevées pour les vaches les plus grasses.

Au sujet de l'âge, la conclusion essentielle porte sur la tendreté de la viande qui est toujours supérieure pour les vaches jeunes alors que la jutosité et la flaveur ne sont pas différentes entre 5 et 11 ans.

C'est pourquoi l'engraissement des vaches de réforme (de race Charolaise dans cette étude) est intéressant même pour les plus âgées puisqu'il améliore les qualités organoleptiques de la viande et ne nécessite que 70 jours pour atteindre un état d'engraissement satisfaisant.

De manière générale, bien connaître l'état d'engraissement d'un animal serait intéressant pour l'éleveur afin qu'il ne le nourrisse pas pour rien si l'animal est trop gras ou qu'il n'en tire pas tout son potentiel si l'animal ne l'est pas assez, ainsi que pour l'acheteur du bovin afin que l'animal corresponde bien au marché qu'il vise. Un outil précis permettrait une meilleure compréhension entre les différents intervenants de la filière.

## D. DIFFERENTES METHODES D'EVALUATION DE LA COMPOSITION CORPORELLE

### 1. Notation d'état corporel :

**FERGUSON *et al* (1994), EDMONSON *et al* (1989), LOWMAN (1973 puis 1976), EVANS (1978), REMOND *et al* (1988)**

Le but de la note d'état est de juger l'importance du tissu adipeux sous cutané qui est un bon indicateur de l'adiposité totale du corps (**HARDIN (2000)**). Cette estimation des réserves corporelles est réalisée par des critères d'appréciation visuels et des palpations (maniements) en différents sites. Elle a l'avantage d'être peu coûteuse et rapide mais elle est néanmoins subjective. Aussi, pour réaliser au mieux des observations reproductibles et répétables, il est nécessaire de les baser sur des repères anatomiques précis et de les exprimer sous forme de notes. C'est pourquoi cette méthode nécessite des techniciens expérimentés. Elle est la seule utilisée dans la pratique de l'élevage actuellement (seule méthode aussi rapide et peu chère). De plus, ce technicien n'est vraiment précis que sur une race donnée, voire sur un type de bovin au sein de cette race.

En élevage laitier (**REMOND (1988)**), on utilise actuellement un barème à partir de trois sites (apophyses transverses des vertèbres lombaires, les deux dernières côtes et la base de la queue). En élevage allaitant, la tâche s'avère plus difficile : en effet les races sont très typées « viande » et leur bonne conformation musculaire peut masquer partiellement les différences d'état d'engraissement. De plus ce type de race est naturellement maigre (exemple : Blonde d'Aquitaine particulièrement), la part de dépôts corporels avoisine 10%, avec une amplitude de variation bien moindre que chez d'autres races, en particulier par rapport aux races Prim'Holstein ou Angus.

Ainsi le barème utilisé en élevage allaitant français (**ROBELIN (1978)**) est un barème qui repose sur deux sites simplement sur le flanc droit de l'animal: le ligament sacrotubéral manipulé par la main gauche et le train de côtes, plus particulièrement les deux dernières côtes manipulées par la main droite.

A chacun de ces endroits, on cherche à apprécier soit par pincement (main gauche), soit la main à plat (main droite), la souplesse de la peau, sa capacité à rouler sur l'os ou le ligament, enfin l'épaisseur du tissu adipeux. Cette dernière s'estime par la taille de la poignée prise dans la main gauche et par la réaction à la poussée faite sur les côtes par la main droite. A partir des observations réalisées, on utilise une grille de notation présentée dans le tableau suivant :

Note	0	1	2	3	4	5
<i>Main gauche :</i>  <i>sur ligament sacrotubéral</i>	Peau adhérente	Peau tendue	Peau se décolle	Peau souple		Peau rebondie
	Pincement difficile	Pincement possible	Léger dépôt identifiable	Poignée de gras	Bonne poignée de gras	Pleine poignée de gras
<i>Main droite :</i>  <i>à plat sur les deux dernières côtes</i>	Peau tendue et collée sur les côtes		Peau souple	Peau « roule » entre la main et l'os  Dépression intercostale	Plus de dépression intercostale	Un épais « matelas » recouvre les côtes
	Côtes sèches	Côtes saillantes	Côtes encore bien distinctes			

Cette grille de notation doit être adaptée à la race de bovins. En effet la bonne conformation musculaire (notamment Charolaise ou Blonde d'Aquitaine) gomme en partie les différences visuelles de couverture et risque de tromper le notateur. En revanche, sur les vaches Limousines, le tissu adipeux sous-cutané est pour un même état d'engraissement proportionnellement plus développé que sur d'autres races (**ROBELIN, 1978**), il faut donc éviter de les « surnoter ». Enfin la notation des vaches Salers pose peu de problèmes car elles extériorisent très bien les différences d'état. La notation se rapproche beaucoup de celle des vaches laitières Prim'Holstein.

La comparaison de la méthode de la note d'état à la technique de mesure diamètre des adipocytes du tissu adipeux sous cutané paraît logique puisqu'il s'agit de deux mesures indirectes du même tissu adipeux. La mesure du diamètre des adipocytes permet d'estimer directement et avec une bonne certitude la proportion de dépôts adipeux totaux dans la masse corporelle de vaches adultes. Elle est non subjective et est considérée ici comme méthode de référence. **AGABRIEL (1986)** a montré que la relation entre les deux variables est linéaire et que le coefficient de corrélation est élevé ( $R^2 = 0.80$ ).

## 2. Echographie :

On réalise des images échographiques (cf. principes de l'échographie) que l'on peut traiter grâce à des logiciels informatiques de différentes manières : mesure de l'épaisseur de gras sous cutané (en mm), mesure de la surface du muscle, mesure de la luminosité d'une fenêtre de l'image échographique (plus cette fenêtre est échogène (blanche), plus le muscle contient de lipides par exemple). On doit ensuite établir des relations entre ces mesures et la teneur en lipides corporels de l'animal.

**DOMECQ et al (1995), SCWAGER-SUTER et al (2000)** ont montré la corrélation entre les notes d'état et la mesure du gras sous-cutané par méthode échographique. Ainsi la notation d'état est une technique aussi valide que l'échographie pour apprécier le gras sous cutané, de plus elle s'avère plus rapide et moins onéreuse, en revanche elle est plus subjective et elle ne permet pas d'apprécier les gras intermusculaires et intramusculaires.

### 3. Mesure de la vitesse des ultrasons

**DENOYELLE, IVINGS (1993), JOURNAUX et al (1999), LANDRIAU (1998), MILES et al (1987), MILES et al (1990), PARK et al (1994), RENAND et al (1992), RENAND et al (1996) RENAND et al (1997)**

Le principe et le protocole d'utilisation de l'appareil VOS est détaillé dans la thèse de F. PAULUZZI.

#### Principe

La transmission des ultrasons à travers une masse carnée varie en fonction de la composition chimique de cette dernière en protéines, lipides et eau. En effet, à la température corporelle, la vitesse des ultrasons est environ 10% supérieure à travers la masse maigre qu'à travers le gras. Cette caractéristique biophysique est à la base de la technique VOS (Velocity Of Sound) mise au point à l'Institute of Food Research de Bristol, Royaume Uni.

Le VOS (*Velocity Of Sound*) utilise la propriété des ultrasons à se propager au travers des tissus animaux à des vitesses qui dépendent de la nature de ces tissus :

- > 1720 m/s pour la peau
- > 1630 m/s pour le muscle
- > 1450 à 1500 m/s pour le gras

Dans un milieu hétérogène composé de gras et de muscle disposé en alternance, il existe une relation entre la vitesse de propagation de l'onde ( $v$ ) et la fraction de volume occupée par les lipides dans ce milieu :

$$1 / v = L / (a+b)$$

$1/V$  est le temps mis par l'onde pour parcourir l'unité de distance et augmente avec le pourcentage de gras.

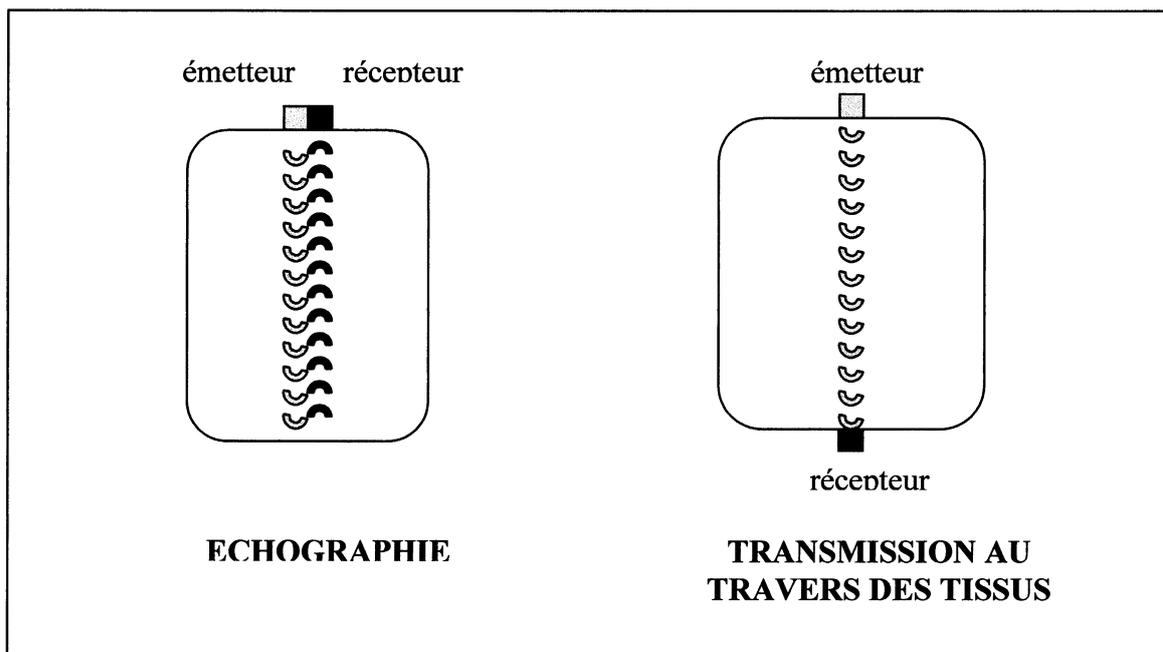
Cette équation doit être utilisée avec précaution car la vitesse des ultrasons dans un tissu est fonction de :

- > la composition du gras : il existe des variations selon l'espèce (bovin, ovin, porcin), selon le type de gras (sous-cutané, intermusculaire) au sein de la même espèce.
- > La température : dans le gras, la vitesse des ultrasons augmente de manière curviligne quand la température décroît alors qu'elle diminue dans le muscle.

### Description de l'appareil

Il est constitué d'un pied à coulisse électronique (dont une des branches est porteuse d'un émetteur à ultrasons et l'autre d'un récepteur) et d'un générateur d'ultrasons. La partie à mesurer est placée entre les deux branches du pied à coulisse.

Cette technique repose sur l'utilisation d'ultrasons mais n'utilise pas le phénomène d'écho car l'émetteur et le récepteur sont séparés. Sur l'animal vivant, la longueur d'onde utilisée est d'environ 1 MHz.



Graphique 9 : Comparaison du principe de fonctionnement du VOS et d'un échographe

Un ordinateur enregistre :

- La distance (d) entre l'émetteur et le récepteur, exprimée en mm.
- Le temps (t) mis par les ultrasons pour aller de l'un à l'autre.

A l'aide de ces 2 mesures, il calcule la vitesse et son inverse qui est proportionnelle au pourcentage de gras.

Cet outil est utilisé dans un cadre de sélection génétique en race limousine.

#### 4. Autres techniques expérimentales d'évaluation de la composition corporelle

##### a. Technique de dissection de la sixième côte

###### **ROBELIN *et al* (1974), ROBELIN *et al* (1975)**

Elle est prélevée par section au milieu du 6<sup>ème</sup> espace intercostal puis disséquée pour séparer les dépôts adipeux, les muscles et les os. Des équations permettent de déduire le pourcentage de ces éléments dans la carcasse à partir de leur poids dans la 6<sup>ème</sup> côte et du poids de la carcasse.

Cette méthode permet d'estimer avec précision le poids des dépôts adipeux et des muscles de la carcasse.

La répétabilité du prélèvement est essentielle dans la précision des mesures, c'est pourquoi les manipulations doivent être réalisées par le même technicien.

Il faut remarquer que les équations ont été mises au point pour des taurillons de races et d'âges donnés et qu'elles ne sont utilisables avec précision que pour ces bovins ; cependant on pourra les utiliser sur d'autres types d'animaux pour établir des classements d'état d'engraissement.

##### b. Mesure de la taille des adipocytes :

###### **ROBELIN *et al* (1988)**

La croissance des tissus résulte de deux phénomènes complémentaires : la multiplication cellulaire (hyperplasie) qui se déroule principalement lors du développement fœtal et l'augmentation de la taille cellulaire (hypertrophie) qui est le principal mode de croissance postnatale d'un tissu. Il en résulte une corrélation élevée entre la taille des adipocytes et le poids total des dépôts adipeux des bovins (**ROBELIN et AGABRIEL, 1986**). Pour cela, on réalise des prélèvements par biopsie de dépôts adipeux au niveau de la croupe et on mesure le diamètre d'un nombre suffisant d'adipocytes après fixation par l'acide osmique. En effet plus l'animal est gras, plus l'animal stocke de lipides dans les adipocytes qui « gonflent ». C'est pourquoi on cherche à estimer la proportion de dépôts adipeux corporels à partir de la taille des cellules des dépôts adipeux sous cutanés.

Malgré les résultats favorables obtenus (forte corrélation), la mesure de la taille des adipocytes est peu utilisée car les manipulations sont contraignantes, le résultat n'est pas immédiat et le coût de la technique est élevé.

##### c. Mesure de l'eau corporelle (par dilution de l'eau lourde (D2O)):

###### **BOCQUIER *et al* (1999), CROOKER *et al* (1998), ROBELIN *et al* (1988)**

On utilise comme principe que la teneur en eau corporelle est liée à la teneur en lipides corporels. On estime l'eau corporelle grâce à l'injection de traceur biologique qui se distribue uniformément dans le corps.

d. Impédancemétrie :

La Bio-Impédancemétrie électrique initiée en France par A.L. THOMASSET en 1962, fait aujourd'hui partie de l'arsenal des moyens d'exploration des tissus biologiques.

En un mot, l'impédancemétrie bio-électrique est une technique simple qui permet d'évaluer l'eau corporelle et sa répartition extra et intra-cellulaire dans l'organisme d'un animal en mesurant sa résistance électrique. La connaissance de sa résistance nous permet d'apprécier la composition corporelle (teneur en lipides) de l'animal.

La mise en place d'aiguilles électrodes en inox (3cm/1mm) sous la peau des animaux, bien que peu traumatisante, exige cependant quelques précautions. L'opérateur se placera de manière à implanter les aiguilles sur la face externe du membre antérieur et sur la face externe du membre postérieur d'un même coté de l'animal.

L'introduction des électrodes réalisée, il sera commode de les relier à l'impédancemètre, sans provoquer de réaction violente de l'animal. La mesure de l'impédance exige impérativement que les animaux à mesurer soient isolés électriquement (environnement sec, pas d'armature métallique) et d'autant mieux que la fréquence du courant est élevée. Il faut donc placer les bovins sur un plancher sec en bois, couvert de paille et surélevé de 15 à 20 cm par rapport au sol.

L'efficacité de cette méthode doit être vérifiée, de plus elle se révèle trop contraignante en élevage bovin.

e. Dosage de la leptine :

La leptine est une hormone produite principalement par le tissu adipeux. Un de ses rôles biologiques est d'informer l'organisme sur le niveau de ses réserves lipidiques. Le progrès des connaissances sur la leptine permettra de mieux comprendre et maîtriser les adaptations du métabolisme énergétique et de l'activité reproductrice des ruminants aux variations saisonnières de la durée d'éclaircissement et des disponibilités alimentaires, ainsi que les variations de l'adiposité des carcasses chez les ruminants en croissance.(**CHILLIARD et al (1999)**)

Chez les bovins, la leptinémie est en relation étroite avec la taille des adipocytes (qui est elle même un bon indicateur de l'adiposité des animaux (**CHILLIARD et al 1987**)).

Toutefois, les premières études incitent à relativiser les espoirs de pouvoir utiliser la leptinémie en tant que prédicteur de la composition corporelle des animaux. En effet, sur des animaux dont les conditions nutritionnelles (bilan énergétique, heure par rapport au repas,...) et physiologiques ne seraient pas parfaitement contrôlées, on ne peut espérer qu'une prédiction expliquant bien moins de 50 % de la variabilité réelle, c'est-à-dire avec une précision moindre que celle de la méthode rapide et peu coûteuse de notation de l'état corporel (**REMOND et al 1998, BOCQUIER et al 1999**). Cette limite devra toutefois être précisée lorsque nous disposerons de dosages RIA spécifiques pour les ruminants.

## E. SYNTHÈSE DE RESULTATS ECHOGRAPHIQUES A PARTIR DE LA BIBLIOGRAPHIE AMERICAINE ACTUELLE

A ce jour, l'utilisation de l'échographe dans le but d'évaluer l'état d'engraissement des bovins est assez répandu aux Etats-Unis ; il existe une association de techniciens certifiés (Animal Ultrasound Practitioners Association) et une formation dirigée par l'université de l'Iowa.

Plusieurs sites de mesure et plusieurs paramètres ont été étudiés pour trouver les plus représentatifs de l'état d'engraissement et les plus accessibles sur l'animal vivant. On a aussi cherché à évaluer le rendement de l'animal à l'abattoir grâce à des équations utilisant des mesures échographiques sur l'animal vivant.

Dans la bibliographie américaine, on retrouve différents critères de mesure : luminosité, épaisseur (mm), surface de muscle (cm<sup>2</sup>) à partir des images échographiques obtenues en différents sites. De nombreuses études ont ainsi été réalisées afin de préciser la meilleure méthode (exemple de **PORTER *et al* (1990)**), cependant les résultats ne sont pas toujours équivalents. Pour chaque mesure, des logiciels informatiques de traitement d'images différents sont nécessaires.

### 1. Mesures réalisées

- Luminosité du muscle

**BASSARAB *et al* (1999), BRETHOUR 1994), BRETHOUR (2000), HERRING (1998), GRIFFIN *et al* (1999), WHITTAKER *et al* (1992)**

La luminosité du muscle *longissimus dorsi* est obtenue par traitement d'une image collectée en plaçant la sonde parallèlement à l'axe de l'animal au niveau des 11<sup>ème</sup> à 13<sup>ème</sup> côtes. Cette luminosité est reliée à l'état d'engraissement de l'animal et le pourcentage de gras intramusculaire obtenu par cette méthode est bien corrélé au « USDA marbling score » qui est la note de carcasse donnée par un technicien spécialisé. Cependant, cette variable est la plus difficile à mesurer avec exactitude : elle dépend beaucoup de l'équipement, de la préparation de l'animal, du contact de la sonde sur la peau, de plus plusieurs images doivent être prises (minimum 4).

- épaisseur de gras sous-cutané au niveau des 12 et 13<sup>ème</sup> côtes (fat thickness ou FT)

### **WERTZ *et al* (2001)**

Cette mesure est le paramètre le plus important dans l'estimation de la composition de la carcasse et donc de son rendement.

La mesure se fait au niveau du douzième espace intercostal perpendiculairement au dos de l'animal et avec une sonde linéaire munie d'un guide souple pour établir un bon contact avec la surface courbée du dos.

- Épaisseur de gras sous cutané au niveau de la croupe

Il s'agit de l'épaisseur de gras sous-cutané qui est mesurée au sommet du muscle *biceps femoris*. Ce dépôt est relié à celui des 12<sup>ème</sup> et 13<sup>ème</sup> côtes et permet d'améliorer l'estimation des dépôts sous-cutanés obtenue par la mesure seule de l'épaisseur à hauteur du 12<sup>ème</sup> espace intercostal. Il est donc intéressant chez les animaux maigres pour lesquels on a du mal à visualiser le gras.

- Épaisseur de gras sous cutané au niveau de l'épaule et au niveau des lombaires

### **HAMLIN *et al* (1995), MILLER *et al* (1988), WALLACE *et al* (1977)**

Ces deux publications confirment que les mesures de gras sous cutané au niveau de l'épaule et des lombaires sont bien corrélées au pourcentage de gras de la carcasse.

- aire du muscle long dorsal (longissimus muscle area ou LMA)

### **HAMLIN *et al* (1995), JOHNSON (1992), TURNER (1990)**

Cette mesure se fait sur la même image que celle utilisée pour la luminosité du muscle. Cependant, il est nécessaire de travailler sur des images de très bonne qualité pour pouvoir visualiser les limites de cette aire, d'où les problèmes d'exactitude de cette mesure.

## 2. Interprétation des images échographiques

Remarque : des images échographiques légendées sont présentées dans le paragraphe II.A.2.Matériel et Méthode. de la partie II. PARTIE EXPERIMENTALE.

- Visuelle

**BRETHOUR (1990)**, a mené une étude au cours de laquelle il a échographié le muscle long dorsal au niveau de la 12<sup>ème</sup> côte de façon à mesurer le pourcentage de gras intramusculaire. Une sonde linéaire de 107 mm et de 3 MHz a été utilisée puisque cette fréquence permet de mieux représenter les mouchetures de gras intramusculaire qu'une de 5 MHz. Un score de persillé allant de 1 (faible) à 7 (important) a été attribué visuellement, directement à partir de l'image gelée sur l'échographe.

La note est attribuée selon 3 critères :

- la densité homogène du muscle, reflet du niveau de gris global
- l'échogénicité de la côte qui sert de densitomètre : en effet, on ne la voit pas sur un animal très gras puisque les ultrasons sont tous absorbés par le gras intramusculaire traversé auparavant
- l'échogénicité de la région située sous la côte qui augmente avec le tacheté du muscle, ceci étant dû à la réverbération d'ultrasons provenant de dépôts supplémentaires de gras intramusculaire.

La visualisation de ces paramètres nécessite évidemment une haute qualité d'image (ceci passant par un bon positionnement de la sonde et un bon contact sonde-animal) ainsi que la prise de plusieurs photos.

La relation entre ce score in vivo et le classement américain des carcasses pour le persillé (marbling score) donné à l'abattoir par des techniciens spécialisés est bonne et on peut même prévoir jusqu'à 148 jours avant abattage le futur classement en carcasse de l'animal. Il semble donc possible de former des lots relativement homogènes de bovins à l'engraissement bien avant l'abattage et de prévoir leur date de finition pour s'adapter au marché. Notons que la précision de la méthode est bonne pour les notes extrêmes de 3 et 7 (exactitude supérieure à 90 %) et moins pour les scores les plus courants de 4 et 6 (80 %).

Cependant, cette méthode de notation visuelle est rapide et pratique mais elle reste difficile à maîtriser et subjective ; sa précision peut être améliorée en automatisant le traitement des images grâce à un système informatique.

- Traitement informatique

L'Iowa State University traite les photos à l'aide du logiciel USOFT à partir d'une zone comprise entre la 12<sup>ème</sup> et la 13<sup>ème</sup> côte horizontalement et entre le gras sous-cutané et les côtes verticalement. **HASSEN *et al* (1999)** définissent la qualité acceptable de la zone à mesurer de la manière suivante :

- la peau et le tissu adipeux sous-cutané sont parfaitement visibles et ne présentent aucun signe de mauvais contact de la sonde ou d'insuffisance d'huile
- la surface du muscle long dorsal est nette entre la 11<sup>ème</sup> et la 13<sup>ème</sup> côte et celles-ci sont bien visibles
- la région mesurée ne présente aucun artéfact.

Pour la mesure de luminosité, la zone traitée est une fenêtre carrée de 100 pixels de côté en choisissant visuellement la surface jugée la plus homogène (le logiciel calcule le nombre de pixels blancs sur cette surface).

Pour la mesure de l'épaisseur de gras sous cutané ou du muscle *longissimus dorsi*, on utilise un logiciel de traitement d'images possédant un pied à coulisse.

Enfin pour l'aire du muscle *longissimus dorsi* (LMA), on réalise le contour du muscle visualisé sur l'image et le logiciel calcule l'aire que l'on a délimitée.

### 3. Répétabilité des mesures échographiques

Les erreurs de mesure peuvent avoir plusieurs origines selon **STOUFFER (1988)**, à savoir la saleté, l'épaisseur de la peau, les poils ou l'état corporel des animaux (plus ils sont gras plus il est difficile d'avoir une image de bonne qualité).

- Pourcentage de gras intramusculaire

**HASSEN *et al* (1999)** montrent que la répétabilité de l'estimation du pourcentage de gras intramusculaire grâce à l'échographie est médiocre pour des lots d'animaux homogènes et peu gras ; les différences entre ces animaux sont difficiles à mettre en évidence.

On peut donc conclure que cette mesure n'est pas aussi répétable que l'épaisseur de gras sous-cutané. On doit améliorer la précision en mesurant les animaux plusieurs fois. Pour cela, on peut mesurer plusieurs fois la même photo ou mesurer une fois plusieurs photos du même animal : c'est cette dernière solution qui permet de réduire l'erreur moyenne individuelle le plus vite (baisse de 29 % quand on passe de une à deux photos et de 50 % quand on passe de une à quatre).

Il est indispensable de prendre au minimum trois ou quatre images et d'en faire la moyenne pour un même animal et, malgré ces précautions, il sera difficile d'obtenir des valeurs exactes pour les animaux ayant moins de 4.79 % de gras intramusculaire. Ainsi, pour appliquer cette méthode à la sélection, il sera nécessaire d'associer les mesures de plusieurs individus de la descendance ainsi que des mesures sur carcasse.

- Épaisseur de gras sous-cutané ( Fat Thickness ou FT)

**BRETHOUR (1992)** a montré que les mesures de cette variable sur l'animal vivant sont aussi précises sinon plus que sur la carcasse et que la répétabilité de la mesure exprimée en corrélation entre deux mesures successives est très bonne (supérieure à 0.9). Les erreurs de mesures augmentent lorsque les animaux sont plus gras (**DUELLO (1993)**).

Citons un ordre de grandeur de la variation de l'épaisseur au cours du temps : un animal ayant une épaisseur de 17 mm passe à 18 mm en 7 jours. Les animaux gras montrent une deuxième couche de gras en dessous de la première, signe de l'accumulation de tissu adipeux sous-cutané. On surestime la variable Fat Thickness (FT) pour les animaux maigres et on la sous-estime pour les plus gras, ce qui revient à dire qu'on sous-estime le rendement des animaux comportant le plus de muscle.

**FAULKNER *et al* (1990)** ainsi que **BULLOCK *et al* (1991)** ont aussi comparé les mesures échographiques d'épaisseurs en vif et sur carcasse et démontré que la précision était aussi bonne sur l'animal vivant. En fait, on peut expliquer que les mesures en vif sont au moins aussi précises que sur la carcasse par le fait que les manipulations lors de l'abattage (notamment l'habillage) et la façon de la pendre modifient les repères et augmentent l'épaisseur de gras sous-cutané (**ROBINSON *et al* (1992)**).

- Aire du muscle long dorsal (longissimus muscle area : LMA)

**ROBINSON *et al* (1992)** ont montré que des techniciens expérimentés étaient capables de mesurer FT et LMA sur des animaux vivants aussi précisément que sur les carcasses (corrélations de .90 et .87 respectivement) et que ces mesures étaient très répétables. En revanche, **SMITH *et al*, 1992** arrivent à la conclusion que LMA est une mesure de précision insuffisante, ce qui est en accord avec plusieurs autres études.

En synthèse de ces expériences, on peut donc expliquer que cette mesure peut être précise et répétable, à condition que le technicien soit expérimenté et que la méthode soit standardisée et basée sur des repères anatomiques et de qualité d'image bien définis.

Malgré cela, **HERRING *et al* (1994)** expliquent que LMA est surestimée pour les animaux maigres et sous-estimée sur les bovins gras et de bonne conformation, en accord avec **DUELLO (1993)** et **SMITH *et al* (1992)**. Par contre **WALDNER *et al* (1992)** sont en totale contradiction avec ces faits. Pour conclure, on peut donc dire que, selon les études, on arrive à de nombreuses contradictions avec le plus souvent des valeurs sous-estimées selon **PERKINS *et al* (1992a)**. Cependant, contrairement à l'épaisseur de gras sous cutané, les écart types ne semblent pas augmenter avec les valeurs de LMA (**DUELLO (1993)**).

Cette technique nécessite d'être précisée afin d'obtenir des résultats communs aux différentes études.

#### 4. Relation entre les mesures échographiques et le rendement en carcasse

**BULLOCK *et al* (1991)** ont montré que les mesures échographiques associées à des mesures objectives de l'animal vivant étaient de bons prédicteurs de la composition de la carcasse. **HAMLIN *et al* (1995)** ont mesuré FT et LMA sur des taurillons à l'engraissement et démontré que des équations comprenant FT exprimaient 58 à 64 % de la variation du rendement de la carcasse, ce qui représente environ 10 % de moins que les mesures effectuées directement sur celle-ci, ce qui confirme les résultats de **RECIO *et al* (1986)**. Notons que dans cette étude l'addition de LMA au modèle n'améliore que légèrement la qualité de la prévision.

Globalement, il apparaît que les mesures échographiques associées à des pointages simples sur l'animal vivant sont de bons prédicteurs de la composition des bovins et donc de leur rendement à l'abattoir.

#### 5. Effet de l'opérateur

**HERRING *et al* (1994a)** ont évalué cet effet en mesurant un lot d'animaux pour FT et LMA grâce à trois techniciens de niveaux d'expérience différents, deux jours consécutifs. Il apparaît que les différences entre opérateurs sont nettes pour LMA alors que les mesures sont équivalentes entre les techniciens pour FT. La maîtrise de l'utilisation de l'échographe semble donc essentielle, à la fois pour la prise de l'image et pour son interprétation. **WALDNER *et al* (1992)** et **MC LAREN *et al* (1991)** détaillent les deux étapes de l'obtention de l'image et expliquent que l'interprétation visuelle est une source d'erreur plus importante que la saisie de la photo.

**PERKINS *et al* (1992b)** donnent de hautes valeurs de répétabilité pour deux techniciens confirmés, à la fois dans les mesures de FT et de LMA ; d'un opérateur expérimenté à l'autre, il ne semble donc pas y avoir de différence.

Dans l'ensemble, il apparaît que la mesure de FT est plus précise que celle de LMA, différence gommée par l'expérience d'un technicien qualifié.

La formation des techniciens apparaît donc comme un élément fondamental des techniques échographiques. Des rencontres régulières entre techniciens afin d'étalonner leur technique sont nécessaires comme cela est réalisé pour les pointeurs d'état corporel ou de conformation.

## 6. Effet de l'échographe

Les machines utilisées depuis quelques années sont équipées d'une sonde linéaire de 172 mm de long, capables de visualiser le muscle long dorsal en entier en coupe, ce qui donne de meilleurs résultats dans l'évaluation de LMA qu'une sonde de 107 mm alors que la précision de l'estimation de l'épaisseur de gras sous-cutané est équivalente pour les deux types de sonde (**HERRING *et al*, (1994a)**).

## 7. Utilisation de ces techniques

### **HOUGHTON, TURLINGTON (1992), SHACKEFORD *et al* (1995)**

**HASSEN *et al* (1999)** ont étudié l'exactitude des mesures échographiques sur des taurillons à l'engrais à différents âges en vue de la prédiction du rendement à la découpe. Ceci a pour but de standardiser les méthodes au niveau des âges, sachant que les sites et les techniques de mesure sont déjà largement adoptés par les utilisateurs de ces appareils. L'épaisseur de gras sous-cutané, l'aire du muscle long dorsal et le pourcentage de gras intramusculaire ont été mesurés. D'autre part, le poids et la hauteur de hanches ont été notés. Les données ont été ajustées aux âges moyens de 365, 382, 414 et 448 jours, cette dernière date étant l'âge moyen d'abattage. Des modèles prenant en compte ces différentes données (les photos sont traitées avec USOFT) ont été construits.

Il ressort que l'épaisseur de gras sous-cutané (FT) mesurée par échographie est corrélée négativement et fortement (de  $-0.57$  à  $-0.64$ ) avec le rendement de découpe, ceci étant en accord avec les études de **HERRING *et al* (1994)**, **GREINER *et al* (1995)**, **HAMLIN *et al* (1995)**, **REALINI *et al* (2001)**. Cette variable est la plus explicative du rendement de découpe de la carcasse toutefois **MAY *et al* (2000)** ont démontré l'intérêt de mesures échographiques associées à des mesures corporelles afin de prédire ce rendement.

On peut tirer les mêmes conclusions à propos du pourcentage de gras intramusculaire qui est corrélé négativement et fortement au rendement. Ces deux variables sont donc de bons prédicteurs et à tous les âges étudiés, à la différence de l'aire du muscle long dorsal (corrélations positives mais faibles dans cette expérience).

Le fait que les deux variables intéressantes soient corrélées au rendement tout au long de l'engraissement indique la possibilité de prévoir à l'avance les résultats en carcasse des taurillons aussi bien qu'en les mesurant juste avant l'abattage. Pour cela il faut associer des pointages en vif aux mesures échographiques réalisées par un technicien certifié. Ceci permet d'obtenir des équations prédictives de l'évolution des bovins en engraissement avec pour objectif de prévoir la date d'obtention d'un poids et d'un niveau de finition donné, en somme la date d'abattage, plusieurs semaines à l'avance.

Ainsi **BASSARAB *et al* (1999)** présente un système de tri des taurillons mis au point à l'université de l'état du Kansas qui allie le poids corporel initial, le poids corporel de départ, l'épaisseur de gras dorsal mesurée par ultrasons et l'indice de persillé afin de prédire le nombre de jours d'engraissement qui maximisera la rentabilité.

Une autre utilisation possible est l'amélioration des bases de données servant à la sélection et notamment au contrôle sur descendance des taureaux (**ARNOLD *et al* (1991)**, **WILSON (1992)**).

En conclusion sur cette synthèse de la bibliographie américaine sur le sujet, les points importants à retenir sont :

- L'expérience du manipulateur joue un rôle important.
- Les sites de mesures les plus utilisés sont la zone lombaire et les espaces intercostaux.
- Les mesures les plus fiables sont l'épaisseur de gras sous cutané puis la mesure de luminosité du muscle.
- La subjectivité du technicien reste présente par son interprétation de l'image.
- Multiplier le nombre d'images in vivo améliore nettement les corrélations avec les mesures post mortem.
- Les mesures échographiques nécessitent parfois d'être associée à des notes d'état corporel.