

LIVIU DRAGOMIR

**INFLUENCE DE LA RACE, DU SEXE ET DU POIDS  
D'ABATTAGE SUR LA QUALITÉ DE LA VIANDE D'AGNEAU  
LOURD**

Mémoire présenté  
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval  
dans le cadre du programme de maîtrise en Sciences Animales  
pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M. Sc.)

DÉPARTEMENT DES SCIENCES ANIMALES  
FACULTÉ DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DE LA CONSOMMATION  
UNIVERSITÉ LAVAL  
QUÉBEC

NOVEMBRE, 2005

## RÉSUMÉ

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de la race, du sexe et du poids d'abattage sur la qualité de la viande d'agneau. Cinquante et un agneaux Suffolk (SU) et 53 Dorset (DP) ont été abattus à trois strates de poids vif : 41-44, 46-49 et 51-54 kg. À l'abattage, des échantillons du *longissimus dorsi* (LD) ont été prélevés pour l'évaluation des caractéristiques histo-enzymologiques du muscle (types de fibres, CS, LDH) et de plusieurs paramètres de qualité de la viande (pH, tendreté, couleur, composition chimique, pertes en eau et à la cuisson). Le LD possèdent une forte proportion de fibres intermédiaires (50-65 %) et une teneur élevée (>90 %) en fibres à contraction rapide. Aucune corrélation n'a été observée entre les caractéristiques des fibres et la tendreté. Globalement, le sexe, le poids d'abattage et la race ont eu peu d'effets importants sur la qualité de la viande du LD d'agneau lourd.

---

Liviu Dragomir, étudiant 2<sup>e</sup> cycle

---

François Castonguay, Directeur de recherche

## AVANT-PROPOS

Je voudrais adresser des remerciements à toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce projet.

Je tiens premièrement et sincèrement à remercier mon directeur de recherche, le Dr. François Castonguay qui, par son professionnalisme, sa sagesse, sa minutie et son esprit pratique m'a amené à finaliser ce projet.

Merci également à mon codirecteur, Dr. Claude Gariépy, chercheur en qualité des viandes au Centre de recherche et de développement sur les viandes de Saint-Hyacinthe (CRDA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, pour ses judicieux conseils et le temps passé à discuter de « viande ».

Le Dr. Jean Amiot, professeur au Département des sciences des aliments et de nutrition de l'Université Laval, a également participé à la mise en place des bases scientifiques du projet.

Merci à Catherine Avezard, technicienne de laboratoire, qui m'a guidé avec patience dans la réalisation des analyses de laboratoire.

Tout le travail de découpe a été réalisé au Centre de recherche et de développement sur les bovins laitiers et le porc d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Lennoxville. J'aimerais remercier sincèrement le chercheur Dr. Candido Pomar qui était responsable de la supervision scientifique de cet aspect du projet. Le travail méticuleux de Marcel Marcoux (professionnel de recherche) et de Normande Ouellette (technicienne de laboratoire) lors de la découpe des carcasses mérite également des remerciements. Merci à Steve Méthot pour ses conseils pour la réalisation des analyses statistiques.

Je tiens à remercier Francis Goulet (professionnel de recherche contractuel, à l'époque, au Département des sciences animales de l'Université Laval) qui a mis en place le projet avec la FPAMQ et qui y a participé activement; Mireille Thériault (professionnelle de recherche contractuelle au Département des sciences animales) qui a assuré le suivi technique du projet et a réalisé les analyses statistiques; Julie Mercier (étudiante de 2<sup>e</sup> cycle au

Département des sciences animales) qui a réalisé la coordination de la partie « découpe des carcasses » ainsi que la compilation de ces informations. Sans leur travail et leur appui, ce projet n'aurait pu être réalisé avec autant de succès.

Pour le financement du projet, je remercie la Fédération des producteurs d'agneaux et de moutons du Québec (FPAMQ), le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), via le programme ConcertAction et les budgets accordés à la station d'évaluation des agneaux commerciaux. Il faut également souligner que ce projet d'envergure a été financé en partie (croissance et découpe) par le CORPAQ. La COOP Fédérée de Québec a également participé au financement du projet en fournissant gratuitement une partie de l'alimentation des agneaux.

Finalement, je tiens à remercier ma femme Livia qui, par sa volonté et sa patience m'a appuyé jusqu'au bout de mon ouvrage et à ma fille Catalina qui m'a donné la preuve de sa grande maturité et compréhension, en dépit de plusieurs problèmes d'ordre affectif et matériel.

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ II	
AVANT-PROPOS.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION .....	9
CHAPITRE 2 - REVUE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS .....	11
2.1. Le muscle.....	11
2.1.1. Anatomie et composantes.....	11
2.1.2. Structure, rôle, et biochimie de la contraction musculaire.....	14
2.1.3. Type de fibres et vitesse de contraction.....	15
2.1.4. Proportion des types de fibres.....	18
2.1.5. Activités enzymatiques.....	19
2.1.6. Croissance musculaire .....	24
2.1.7. Nombre et taille des fibres.....	25
2.1.8. Héritabilité du type de fibres .....	26
2.2. La qualité de la viande d'agneau .....	27
2.2.1. Couleur .....	28
2.2.2. pH.....	34
2.2.3. Tendreté.....	37
2.2.4. Jutosité.....	43
2.2.5. Composition chimique.....	46
2.3. Objectifs du projet .....	48
2.4. Liste bibliographique.....	49
CHAPITRE 3 - INFLUENCE DE LA RACE, DU SEXE ET DU POIDS D'ABATTAGE SUR LA QUALITÉ DE LA VIANDE D'AGNEAU LOURD QUÉBÉCOIS.....	57
3.1. Introduction .....	58
3.2. Matériel et Méthodes.....	59
3.2.1. Sélection des agneaux.....	59
3.2.2. Logement.....	59
3.2.3. Traitements .....	60
3.2.4. Alimentation .....	60
3.2.5. Suivi de croissance et abattage .....	60
3.2.6. Échantillonnage de la viande à l'abattoir.....	61
3.2.7. Classification des carcasses .....	61
3.2.8. Dissection des carcasses .....	62
3.2.9. Caractérisation de la viande.....	62
3.2.10. Analyses statistiques.....	70
3.3. Résultats et Discussion .....	71
3.3.1. Caractéristiques musculaires du <i>longissimus dorsi</i> d'agneau .....	71
3.3.2. Fibres musculaires et performances de croissance .....	73
3.3.3. Activités enzymatiques.....	77
3.3.4. pH.....	79
3.3.5. Tendreté.....	79
3.3.6. Pertes en eau et pertes à la cuisson.....	81

3.3.7. Composition chimique.....	82
3.3.8. Couleur .....	82
3.4. Conclusions & Implications .....	83
3.5. Références .....	84

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1.	CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS TYPES DE FIBRES MUSCULAIRES CHEZ LES MAMMIFÈRES (ADAPTÉ DE SUZUKI (1971) ET LEFAUCHEUR (1989)).	16
TABLEAU 2.2.	TENEUR EN MYOGLOBINE DU MUSCLE <i>LONGISSIMUS DORSI</i> EN FONCTION DE L'ESPÈCE (LAWRIE, 1966).	29
TABLEAU 3.1.	PERFORMANCES DE CROISSANCE EN FONCTION DU SEXE, DE LA RACE ET DU POIDS D'ABATTAGE DES AGNEAUX (LSMEANS).	89
TABLEAU 3.2.	COMPOSITION DES DEMI-CARCASSES EN FONCTION DU SEXE, DE LA RACE ET DU POIDS D'ABATTAGE DES AGNEAUX (LSMEANS).	90
TABLEAU 3.3.	PROPORTION ET SURFACE DES DIFFÉRENTS TYPES DE FIBRES MUSCULAIRES DU <i>LONGISSIMUS DORSI</i> EN FONCTION DU SEXE, DE LA RACE ET DU POIDS D'ABATTAGE DES AGNEAUX (LSMEANS).	91
TABLEAU 3.4.	DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS DES VARIABLES UTILISÉES DANS LES TABLEAUX DES CORRÉLATIONS.	92
TABLEAU 3.5.	CORRÉLATIONS ENTRE LES PARAMÈTRES DE QUALITÉ DE VIANDE ET CEUX DE CROISSANCE DES AGNEAUX.	93
TABLEAU 3.6.	CORRÉLATIONS ENTRE LES PARAMÈTRES DE QUALITÉ DE VIANDE DES AGNEAUX.	94
TABLEAU 3.7.	ACTIVITÉ ENZYMATIQUE DE LA VIANDE DU <i>LONGISSIMUS DORSI</i> EN FONCTION DU SEXE, DE LA RACE ET DU POIDS D'ABATTAGE DES AGNEAUX (LSMEANS).	97
TABLEAU 3.8.	QUALITÉ DE LA VIANDE DU <i>LONGISSIMUS DORSI</i> EN FONCTION DU SEXE, DE LA RACE ET DU POIDS D'ABATTAGE DES AGNEAUX (LSMEANS).	98

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1.	LA STRUCTURE MICROSCOPIQUE D'UN MUSCLE STRIÉ (ADAPTÉE DE JUNQUIERA <i>ET AL.</i> , 1971).....	11
FIGURE 2.2.	STRUCTURE DU MUSCLE .....	13
FIGURE 2.3.	MÉCANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE .....	14
FIGURE 2.4.	LA GLYCOLYSE OU LA VOIE EMBDEN-MAYERHOFF-PARNAS (ADAPTÉE DE TAMAS <i>ET AL.</i> 1981).....	15
FIGURE 2.5.	TRANSFORMATION DU PYRUVATE EN LACTATE PAR LA LACTATE DÉSHYDROGÉNASE .....	20
FIGURE 2.6.	TRANSFORMATION DE L'OXALATE EN CITRATE PAR LA CITRATE SYNTHASE.....	21
FIGURE 2.7.	TRANSFORMATION DU SUCCINATE EN FUMARATE PAR LA SUCCINATE-DÉSHYDROGÉNASE .....	21
FIGURE 3.1.	SITES DE PRÉLÈVEMENTS SUR LE <i>LONGISSIMUS DORSI</i> POUR LES DIFFÉRENTES ANALYSES DE QUALITÉ DE LA VIANDE.....	63
FIGURE 3.2.	COLORATIONS DE L'ATPASE ET DE LA SUCCINATE DÉSHYDROGÉNASE.....	64
FIGURE 3.3.	REPRÉSENTATION DES COMPOSANTES DE LA COULEUR L*, A* ET B* (CIE, 1976) .....	69

## Chapitre 1 - INTRODUCTION

Même si l'industrie ovine québécoise a toujours su convaincre sa clientèle de la qualité exceptionnelle de son produit, la concurrence de la Nouvelle-Zélande, de l'Australie et même celle de l'Ouest canadien se fait de plus en plus sentir. Pour rester les leaders dans le secteur « haut de gamme » de la viande d'agneau, les intervenants en production ovine doivent trouver des stratégies d'élevage qui permettront aux éleveurs ovins du Québec de conserver leur longueur d'avance en ce qui a trait à la qualité de leur produit.

Selon certaines études, les deux principaux paramètres qui définissent un agneau de qualité sont sa composition en gras et la qualité de sa viande. Par qualité de la viande, le consommateur décrit un produit rosé, tendre, juteux, ayant un goût savoureux.

Majoritairement, les systèmes canadiens et québécois de classification des carcasses d'animaux d'élevage ne valorisent que le rendement en muscle. Il semble que l'absence d'un incitatif à produire en fonction de la qualité ait résulté, malheureusement, en une détérioration des qualités organoleptiques de la viande chez certaines espèces, telles la volaille et le porc, qui ont été fortement sélectionnées en fonction surtout de la vitesse de croissance et du développement musculaire. Ainsi, la méthode de classification des carcasses d'agneaux mise en place par la Fédération des producteurs d'agneaux et moutons du Québec (FPAMQ) en 2001 permet d'estimer la composition en gras d'un agneau; la qualité n'est cependant pas évaluée. D'ailleurs, les informations sur la qualité de la viande d'agneau mis en marché au Québec sont quasi inexistantes.

Afin d'augmenter leurs bénéfices, plusieurs producteurs souhaitent augmenter le poids des agneaux qu'ils vendent. En effet, économiquement, la production d'agneaux plus lourds permet d'améliorer le nombre de kilogrammes de viande vendus par brebis tout en augmentant que très peu les coûts d'alimentation et de régie. L'augmentation de la marge bénéficiaire rattachée à l'augmentation du poids des carcasses est également soulignée par les transformateurs qui voient alors plus d'intérêts à la découpe. Les consommateurs y

trouvent également leur compte puisque cette augmentation du poids de la carcasse permettrait un accroissement de la surface de la côtelette (œil de longe). Malgré ces avantages, la recherche démontre que l'augmentation de la carcasse peut être reliée à la diminution du gras de couverture et à un changement des paramètres de qualité (tendreté, couleur, pouvoir de rétention en eau). Cependant, la plupart des études sur le sujet ont été réalisées aux États-Unis ou dans l'Ouest canadien. Les particularités du système de production ovin québécois (alimentation, races et croisements, sélection génétique, ...) nous portent à croire qu'il est possible de maintenir les propriétés actuelles de qualité tout en augmentant le poids des agneaux à l'abattage. De plus, certaines races pourraient avoir le potentiel de produire des carcasses plus lourdes sans augmentation simultanée du gras de couverture tandis que d'autres en seraient incapables.

La sélection sur la diminution du gras et l'augmentation de la proportion en muscles des carcasses d'agneaux doit se faire dans l'optique de conserver les qualités organoleptiques tant recherchées de la viande d'agneau. En fait, la majorité des paramètres liés à la composition chimique et aux qualités organoleptiques de la viande d'agneau québécois n'ont jamais été mesurée. Les abattoirs, qui font la commercialisation de l'agneau, aussi bien que les producteurs et les détaillants réclament depuis des années qu'on fasse la lumière sur les propriétés qualitatives de la viande d'agneau du Québec. En ce sens, les résultats de ce projet permettront sûrement de mieux positionner l'industrie ovine québécoise vis-à-vis ses concurrents et ainsi espérer une amélioration de la capacité concurrentielle pour tous les producteurs ovins québécois.

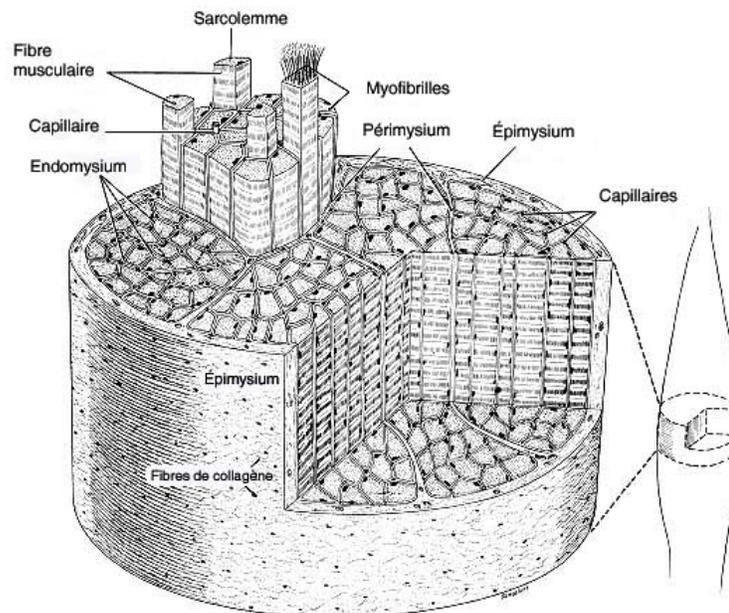
Cette étude a donc pour objectif de caractériser l'évolution, en fonction du poids d'abattage, des paramètres qualitatifs de la viande d'agneau lourd québécois. Des comparaisons entre les deux races les plus populaires au Québec seront faites, de même que l'évaluation de l'influence du sexe sur la qualité de la viande. Le but ultime visé est d'établir les conditions d'élevage permettant d'optimiser les paramètres de la qualité de la viande d'agneau produite au Québec.

## Chapitre 2 - REVUE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

### 2.1. Le muscle

#### 2.1.1. Anatomie et composantes

Le muscle se compose principalement de tissus conjonctifs et de cellules musculaires appelées fibres. Parmi les tissus conjonctifs, le type fibreux représente un grand intérêt d'un point de vue alimentaire. Dans une section transversale d'un muscle, le tissu conjonctif fibreux occupe trois niveaux ou couches : l'épimysium, qui entoure entièrement le muscle, le périmysium, qui entoure plusieurs fibres musculaires (faisceaux) et finalement l'endomysium qui entoure chaque fibre musculaire (Figure 2.1).



**Figure 2.1. La structure microscopique d'un muscle strié (adaptée de Junquiera *et al.*, 1971)**

Ce réseau de tissus conjonctifs fibreux est lié au niveau des tendons pour permettre la contraction musculaire. Toutes ces couches de tissus conjonctifs fibreux sont constituées de fibres de collagène, d'élastine et de réticuline. La quantité relative de ces composantes protéiques est variable en fonction du muscle et en fonction du processus de vieillissement. La composante majeure du tissu conjonctif musculaire et la plus importante d'un point de

vue alimentaire est le collagène qui représente environ de 40 % des protéines corporelles totales (Maroteaux *et al.*, 1988). Le collagène est formé par une famille de protéines différentes par rapport à leur structure primaire et à leur arrangement spatial. Du point de vue musculaire, les principaux types de collagène sont les fibrillaires (types I et III) et les non fibrillaires (type IV) qui eux, forment des réseaux. Le muscle comporte plus de collagène de type I (95 % du collagène musculaire), présent à tous les niveaux de la trame conjonctive. Le type III est localisé au niveau du pérимыsium alors que le type IV, entoure les fibres musculaires (Rowe, 1974).

La quantité relative et le niveau de solubilité du collagène influencent par ailleurs la tendreté de la viande (Shimokomaki *et al.*, 1972). Pendant la vie d'un animal, le collagène est le siège d'une réticulation qui consiste en la formation de liens covalents non réductibles dans la structure hélicoïdale. La réticulation réduit la solubilité du collagène qui réduit à son tour la tendreté de la viande. Cependant, l'agneau est physiologiquement jeune à l'abattage (4-6 mois) et l'apport du tissu conjonctif fibreux sur la tendreté de la viande est donc moins important.

Hormis le tissu conjonctif, le muscle contient des fibres musculaires (constituées en faisceaux de fibres), des adipocytes et des cellules nerveuses, endothéliales et sanguines. Tel que le montre la Figure 2.2, les fibres sont des cellules musculaires plurinucléées constituées de myofibrilles qui contiennent entre autres les myofilaments d'actine, de myosine ainsi que les protéines régulatrices de la contraction musculaire, la tropomyosine et la troponine. L'actine et la myosine forment le complexe actino-myosinique lors de la contraction musculaire. D'un point de vue microscopique, l'unité fonctionnelle d'une fibre musculaire est représentée par le sarcomère qui est constitué par l'alternance de bande A (myosine) et de bande I (actine). La relation proportionnelle entre la longueur des sarcomères et la tendreté de la viande a été établie par divers chercheurs pour les espèces d'intérêt zootechnique. La longueur d'un sarcomère reste invariable dans un même muscle, quel que soit l'âge de l'animal (Vézinhet, 1976).

Les fibres musculaires présentent par ailleurs des caractéristiques métaboliques et des densités de mitochondries très diversifiées parfois au sein d'un même muscle. Deux types de mitochondries sont présents dans le muscle : les mitochondries intermyofibrillaires et les mitochondries subsarcolemmales, respectivement situés entre les myofibrilles et à la périphérie des cellules musculaires (Tamas, *et al.*, 1981). Au-delà de leur rôle direct qui est de fournir de l'énergie pour la croissance et la contraction musculaire, les mitochondries musculaires sont susceptibles d'intervenir directement ou indirectement dans la mise en place de plusieurs caractéristiques tissulaires. Elles sont, entre autres, impliquées dans la détermination de la qualité de la viande, par l'intermédiaire du type métabolique et contractile des fibres et aussi au niveau de la teneur en lipides intramusculaires (Picard, 2004).

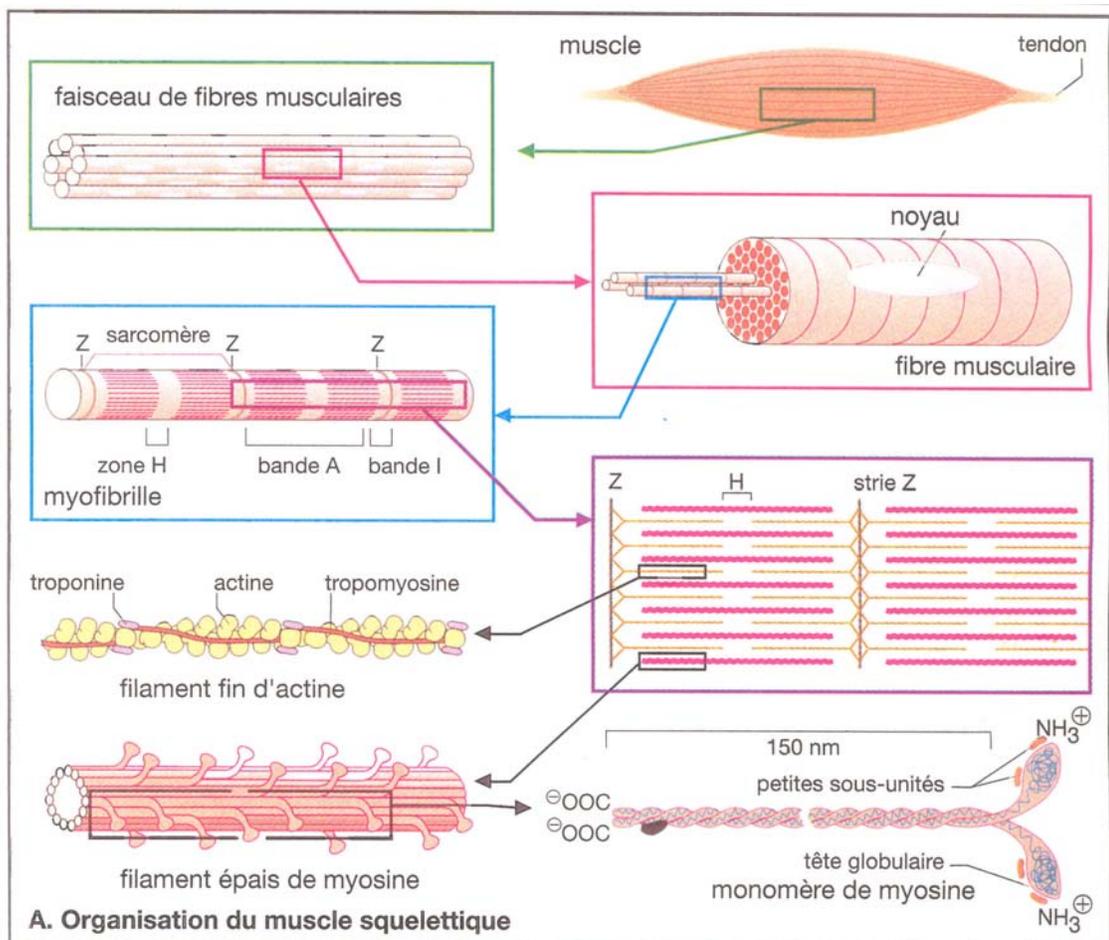
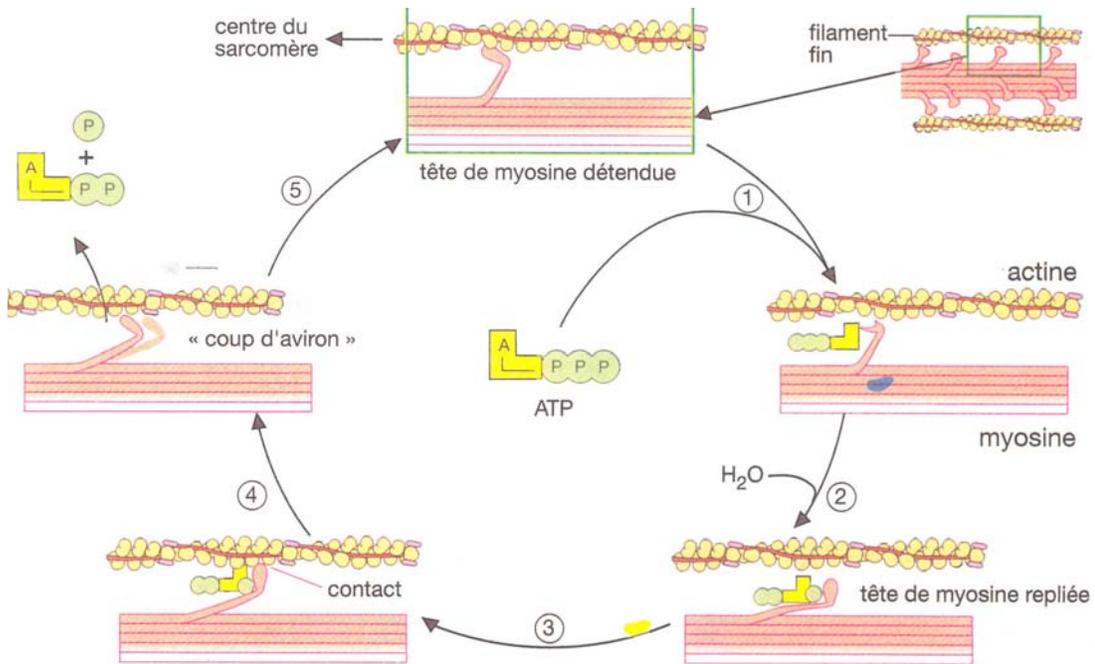


Figure 2.2. Structure du muscle

### 2.1.2. Structure, rôle, et biochimie de la contraction musculaire

Par de multiples contractions et de par leur position anatomique, les muscles interviennent autant dans le mouvement, que pour soutenir la masse osseuse mais aussi pour assurer la thermorégulation. Le travail musculaire, ou bien la contraction par l'intermédiaire du complexe actino-myosinique (Figure 2.3), est possible grâce à la consommation d'énergie stockée sous forme d'ATP.

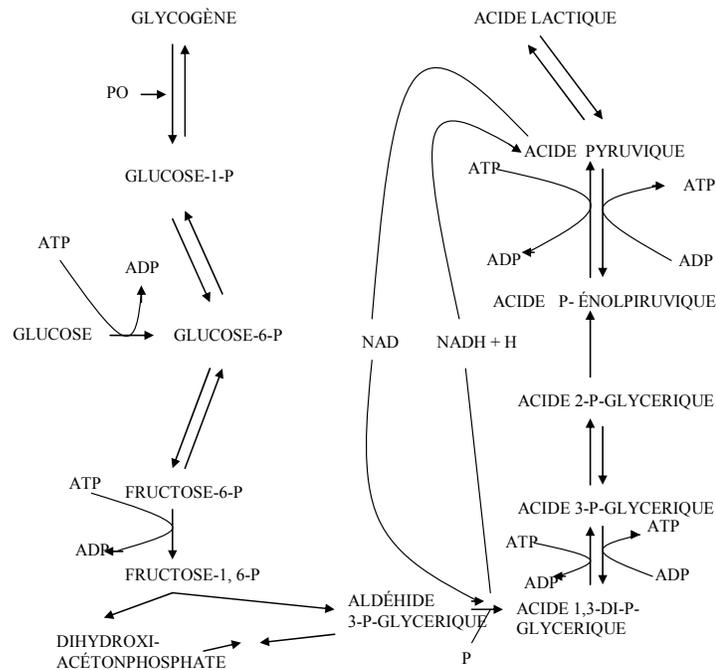


**Figure 2.3. Mécanisme de la contraction musculaire**

La réserve d'ATP est produite par la voie anaérobie (glycolytique) et/ou aérobie (oxydative). La voie oxydative produit de l'énergie à partir du glycogène, du glucose, des acides gras et de certains acides aminés, en consommant de l'oxygène. Pour sa part, la voie anaérobie productrice d'énergie, comporte successivement trois types de réactions (Tamas *et al.* 1981) :

1. La réaction Lohman :  $CP \text{ (créatine phosphate)} + ADP \leftrightarrow ATP + C \text{ (créatine)}$
2. Glycolyse sarcoplasmique :  $glycogène \leftrightarrow glucose + 2ADP + 2H_3PO_4 \rightarrow \text{acide lactique} + 2ATP$
3. La réaction de la myokinase :  $2 ADP \rightarrow ATP + AMP$

La plus importante réaction anaérobie, productrice d'énergie, est la glycolyse sarcoplasmique (Figure 2.4) qui a comme substrat le glycogène intramusculaire. Celui-ci représente environ 1 % du poids total du muscle, étant présent dans les fibres musculaires sous forme de granules localisés dans le sarcoplasme (Cassens et Cooper, 1971). Le glycogène constitue la source d'énergie principale des fibres glycolytiques qui le dégradent rapidement en acide lactique lorsqu'elles se contractent.



**Figure 2.4. La glycolyse ou la voie Embden-Mayerhoff-Parnas (adaptée de Tamas *et al.* 1981)**

### 2.1.3. Type de fibres et vitesse de contraction

Les variations entre les différentes couleurs de la viande remarquées par Ranvier en 1873, (cité par Peter *et al.* 1972) l'ont amené à conclure qu'il existait différents types de fibres musculaires. Ces fibres (cellules) musculaires peuvent être mises en évidence selon deux critères soit la vitesse de contraction et le type métabolique régénérateur d'ATP. Le Tableau 2,1 présente différentes nomenclatures des types de fibres ainsi que leur caractéristiques qui seront discutées dans les sections suivantes.

**Tableau 2.1. Caractéristiques des différents types de fibres musculaires chez les mammifères (adapté de Suzuki (1971) et Lefaucheur (1989)).**

NOMENCLATURE	TYPE DE FIBRES		
	A	B	C
Stein et Padykula (1968)	A	B	C
Brooke et Kaiser (1970)	I	IIA	IIB
Ashmore et Doerr (1971)	$\beta$ R	$\alpha$ R	$\alpha$ W
Peter et al (1972)	SO	FOG	FG
CARACTÉRISTIQUES			
Chaîne lourde de myosine	I	Ila	Ilb
Métabolisme	Oxydatif	Oxydoglycolytique	Glycolytique
Vitesse de contraction	Lente	Rapide	Rapide
Résistance à la fatigue	+++	++	+
Surface plaque motrice	+	+++	+++
Réticulum sarcoplasmique	+	+++	+++
Tubules transverses	+	+++	+++
Myoglobine	+++	+++	+
Couleur	Rouge	Rouge	Blanche
Nombre de mitochondries	+++	+++	+
Épaisseur de la zone Z	+++	++	+
Richesse en collagène	+++	++	+
Aire de section	+	+++	+++
Teneur en lipide	+++	+++	+
Teneur en glycogène	+	+++	+++
Source énergétique	Lipides	Lipides	Sucres
ATP-ase myofibrillaire	+	+++	+++
Hexokinase	+++	++	+
Phosphorylase	+	++	+++
Enzymes oxydatives	+++	++	+
Enzymes glycolytiques	+	++	+++
Acidification Post-mortem	Lente	Lente	Rapide

La myosine est la principale protéine structurale du muscle qui possède en outre une activité enzymatique. La structure ultramicroscopique de la myosine et sa propriété

biochimique manifestée in vitro à pH neutre, ont permis de découvrir que l'activité ATP-asiqne présente dans les « têtes S1 » de la myosine est proportionnelle à la vitesse de contraction mesurée in vivo (Barany, 1967). La différence de sensibilité au pH de l'activité ATP-asiqne myofibrillaire a été mise à profit afin de mettre sur pied une technique histoenzymatique pour le type contractile (Guth *et al.*, 1966). Selon cette technique, deux types de fibres peuvent être distinguées : lentes (type  $\beta$  ou I) et rapides (type  $\alpha$  ou II). En utilisant le typage des fibres musculaires par la coloration d'ATP-asiqne, à un pH bien déterminé, le type II peut être subdivisé selon les différentes nuances, en types IIA, IIB (Brooke et Kaiser, 1970). Cependant, l'utilisation des anticorps monoclonaux dirigés contre les chaînes lourdes de myosine (MCH : myosin heavy chain) de différentes espèces animales ont permis de classer de façon plus précise la population de fibres de type IIA et IIB (Picard *et al.*, 1998).

La coloration selon l'activité de l'enzyme succino-déshydrogénase (SDH) permet pour sa part de classer les fibres musculaires selon leur métabolisme oxydatif. En fait, la détermination du type métabolique (oxydatif) est étroitement liée avec l'activité enzymatique mitochondriale représentée par la SDH, l'isocitrate déshydrogénase (ICDH), la citrate synthase (CS) et la cytochrome oxydase (CO). D'autres activités enzymatiques telles que la b-OH-acyl-déshydrogénase (oxydation des acides gras) peuvent être utilisées (Essen-Gustavsson, 1994). Il n'existe toutefois pas de correspondance parfaite entre les propriétés métaboliques (oxydatif ou glycolytique via l'activité enzymatique) et le type contractile (lent ou rapide) des fibres musculaires (Picard *et al.*, 1998).

Une coupe transversale d'un faisceau musculaire permet d'observer que la dispersion des fibres musculaires à l'intérieur de celui-ci est différente en fonction de l'espèce. Ainsi, chez le porc, les fibres musculaires sont disposées en îlots de fibres oxydatives (SO) entourés par une première couronne de fibres intermédiaires (FOG) et une seconde, plus externe, de fibres glycolytiques (FG) (Lefaucheur 1989). Par contre, chez le mouton, le bœuf et le cheval, cette dispersion n'est pas aussi ordonnée.

En se basant sur la comparaison entre les espèces, les muscles les plus oxydatifs semblent contenir plus de lipides. Par contre, les comparaisons au sein d'une même espèce n'ont pas encore permis d'établir une relation générale entre le caractère oxydatif d'un muscle et sa teneur en lipides et ce, malgré le fait que les fibres intermédiaires soient plus riches en lipides que les fibres rapides glycolytiques (Tableau 2.1). Ceci s'explique sans doute par le fait que les lipides contenus dans les fibres ne représentent qu'une faible proportion des lipides intramusculaires, la majorité des lipides étant localisée dans les adipocytes intramusculaires (Hocquette *et al.*, 2000).

#### **2.1.4. Proportion des types de fibres**

Les fibres musculaires, par leurs proportions et leurs surfaces, peuvent influencer la qualité organoleptique de la viande. Chez le porc, la présence prépondérante de fibres glycolytiques et de fibres ayant une très grande surface peut réduire la qualité technologique de la viande (Picard *et al.*, 1998).

Il existe d'importantes différences pour un même muscle parmi les espèces animales quant à la distribution et à la taille des différents types de fibres (Suzuki, 1971; Pinkas et Marinova, 1986, chez le mouton; Larzul *et al.*, 1998, chez le porc; Talmant *et al.*, 1986, chez le bovin). Ainsi, l'espèce bovine est caractérisée par un pourcentage plus grand de fibres rouges (SO, 20-30 %) que les agneaux (5-15 %) ou que l'espèce porcine (6-10 %) tandis que les fibres intermédiaires FOG sont plus nombreuses chez les agneaux (41-60 %) par rapport aux bovins (18-26 %) ou par rapport aux porcs (10-16 %). Les fibres glycolytiques (FG) sont, quant à elles, plus nombreuses chez le porc (73-85 %) que chez l'agneau (27-46 %) et que chez le bœuf (48-53 %).

Suzuki (1971), en utilisant le muscle *longissimus dorsi* d'agneau, de 42,5-62,5 kg, trouvait 49 % de fibres  $\alpha$ R (intermédiaires), 40 % de  $\alpha$ W (purement glycolytiques) et 10 % de fibres  $\beta$ R (purement oxydatives) tandis que Pinkas et Marinova (1986) ont trouvé, dans le même muscle, que les fibres  $\alpha$ R, prédominaient pour toutes les strates d'âge (90, 120, 180 jours), étant maximum (54,5 %) à 120 jours. La proportion des fibres  $\beta$ R restait invariable avec l'âge d'abattage étant comprise entre 8,8 et 10,9 %. Carpenter *et al.* (1996) ont montré des variations dans les proportions différentes des trois types de fibres dans le *longissimus dorsi*

d'agneaux Rambouillet qui présentaient un phénotype normal (non-porteur du gène callipyge) comparativement à des Dorset de type callipyge. Pour les Rambouillet de type normal, les pourcentages étaient de 11,7 % pour les fibres SO (purement oxydatives), 41,8 % pour les FOG (intermédiaires), et 46,5 % pour les FG (purement glycolytiques), alors que les proportions des mêmes types de fibres pour les Dorset de type callipyge étaient respectivement de 7,8 % (SO), 29,2 % (FOG) et 63,1 % (FG). Récemment, Sazili *et al.* (2005) ont démontré, sur le *longissimus dorsi* d'agneaux croisés (Mule x Charolaise) âgés de 10 mois, que la plupart des fibres musculaires (92 %) sont représentées par une population de fibres ayant une contraction rapide (type II – intermédiaires et purement glycolytiques) et que seulement 8 % ont été définies comme étant des fibres ayant une contraction lente (type I - purement oxydatives).

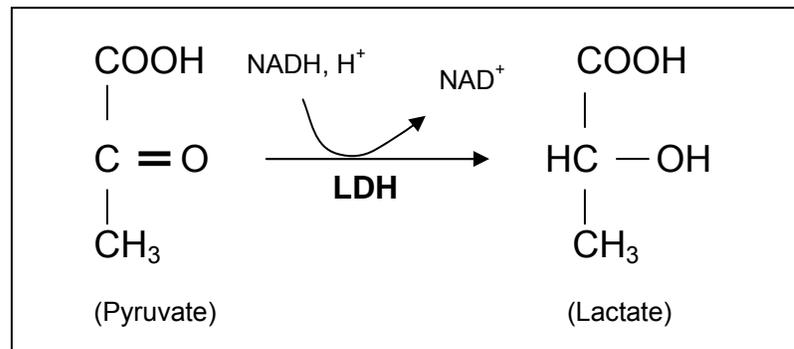
### 2.1.5. Activités enzymatiques

Dans un muscle, la capacité oxydative et glycolytique relative à la production d'énergie peut être déterminée par le potentiel d'activité enzymatique spécifique à chaque voie. Les mesures d'activités enzymatiques permettent, au sein d'une même espèce, de différencier les muscles comme étant plus oxydatif ou plus glycolytique et surtout, de mettre en évidence certaines différences entre les espèces. Par exemple, on peut caractériser l'activité oxydative musculaire moyenne comme suit : mouton > bovin > porc > volailles.

C'est donc ainsi qu'est déterminée l'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) pour mettre en évidence le métabolisme glycolytique. De la même façon, la citrate synthase (CS), la succino-déshydrogénase (SDH) ou l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) peuvent représenter l'activité oxydative alors que la  $\beta$ -hydroxyacyl-CoA-déshydrogénase (HAD) représente la  $\beta$ -oxydation des acides gras.

#### 2.1.5.1. Lactate déshydrogénase

Présente dans la matrice cellulaire, la lactate déshydrogénase (LDH) intervient en réduisant le pyruvate en acide lactique (Figure 2.5). Cette réaction a lieu dans la 12<sup>e</sup> étape de la glycolyse.



**Figure 2.5. Transformation du pyruvate en lactate par la lactate déshydrogénase**

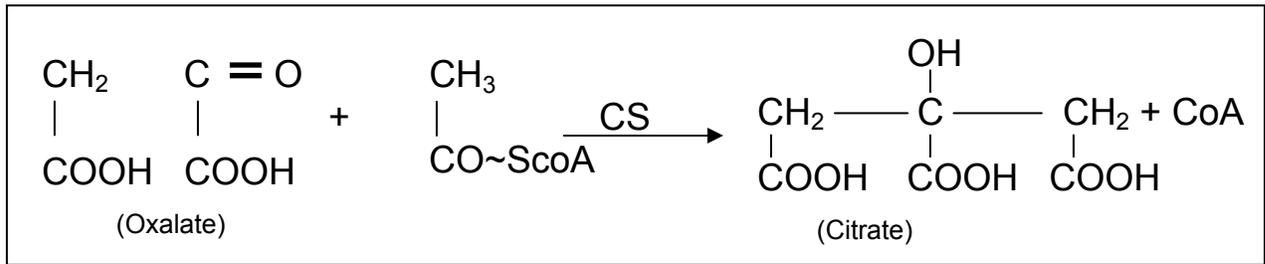
Quant à son activité chez l'espèce ovine, les recherches sont peu nombreuses et les résultats très différents. Ainsi, tandis que Ouali *et al.* (1988), en utilisant des échantillons de *longissimus dorsi* qui étaient prélevés immédiatement après abattage, obtenaient une activité enzymatique de la LDH autour de 5 535  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  muscle frais, Briand *et al.* (1981) enregistraient, pour le même muscle, une valeur autour de 400  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  muscle.

Les recherches de Ouali *et al.* (1988) et Briand *et al.* (1991) ont établi des corrélations positives entre l'activité de l'ATPase (spécifique pour les fibres intermédiaires-FOG et glycolytiques-FG) et l'activité de la LDH. Les activités enzymatiques tant glycolytiques qu'oxydatives du *longissimus dorsi* chez l'agneau ont d'ailleurs la particularité d'être plus élevées que celle d'autres muscles à prédominance oxydative ou à prédominance glycolytique (Briand *et al.*, 1981).

Chez le porc, Larzul *et al.* (1998) n'ont pas trouvé de correspondance parfaite entre l'activité enzymatique de la LDH et le type contractile (rapide) des fibres musculaires. Une explication pourrait être la grande hétérogénéité métabolique des fibres musculaires de type intermédiaire.

#### 2.1.5.2. Citrate synthase

La citrate synthase (CS) est localisée dans la matrice mitochondriale et elle caractérise le métabolisme aérobie en catalysant la transformation de l'oxalate en citrate (Figure 2.6).

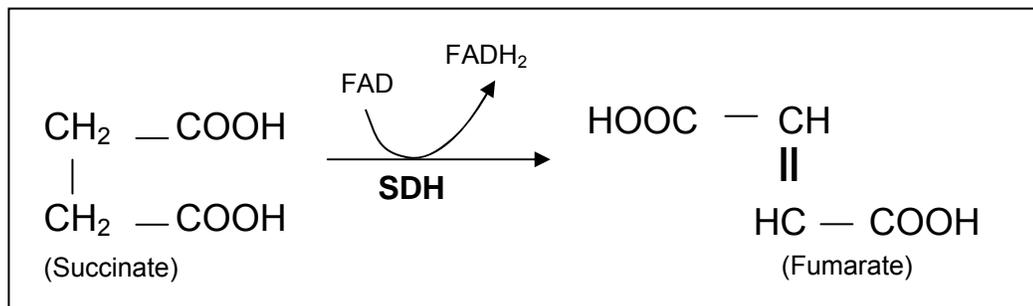


**Figure 2.6. Transformation de l'oxalate en citrate par la citrate synthase**

Il n'existe aucune publication scientifique rapportant l'activité de la CS chez l'espèce ovine.

#### 2.1.5.3. Succinate-déshydrogénase (SDH)

La succinate-déshydrogénase (SDH) est une enzyme de type oxydatif présente dans la paroi interne des mitochondries. Elle catalyse la déshydrogénation de l'acide succinique en acide fumarique au cours du cycle de Krebs (Figure 2.7).



**Figure 2.7. Transformation du succinate en fumarate par la succinate-déshydrogénase**

Malheureusement, les études pour évaluer les caractéristiques histo-biochimiques de la viande d'agneau en lien avec les performances de croissance et la qualité de la viande ne sont pas nombreuses comparativement à celles réalisées chez le porc.

#### 2.1.5.4. Calpaïnes et calpastatine

L'altération de la structure musculaire est principalement le résultat de l'action des enzymes protéolytiques sur les protéines impliquées dans cette structure. L'action des protéinases musculaires va se traduire par une fragmentation transversale des myofibrilles,

fragmentation le plus souvent observée au niveau de la bande I et à proximité de la strie Z (Ouali, 1990).

Les calpaïnes sont décrites comme des « Calcium Activated Neutral Proteases » (CANP). Au sein des calpaïnes, on distingue deux groupes spécifiques de tissus musculaires distincts : la calpaïne I ou  $\mu$ -calpaïne et la calpaïne II ou m-calpaïne. C'est leur exigence en calcium qui différencie ces deux protéases, l'une étant active à des concentrations de l'ordre du  $\mu$ Molaire ( $\mu$ -calpaïne) alors que l'autre l'est à des concentrations en mMolaire (m-calpaïne).

Les calpaïnes sont liées à des structures myofibrillaires localisées au niveau de la bande Z et ont une action protéolytique limitée à ce niveau. Elles ne dégradent pas les deux protéines majeures du muscle squelettique qui sont l'actine et la myosine. L'action des calpaïnes peut conduire à la libération de sarcomères entiers.

Le développement musculaire serait associé à une diminution de l'activité des calpaïnes (Forsberg *et al.*, 1989) et à une augmentation de l'activité de la calpastatine (Higgins *et al.*, 1988).

La calpastatine est l'inhibiteur endogène spécifique des calpaïnes. Quant à sa localisation, il semble qu'elle soit présente près d'invaginations nucléaires (Lane *et al.*, 1992) étant capable de bloquer à la fois le processus d'autolyse des calpaïnes mais également d'empêcher l'activité protéolytique de l'enzyme activée.

L'association calpaïnes-calpastatine a lieu en présence d'ions calcium. Les ions calcium sont importants pour la fixation de la calpastatine sur les calpaïnes. L'activation des calpaïnes par l'augmentation de la concentration calcique amorce la dissolution de cette association, libérant la calpastatine dans le cytoplasme qui va disparaître progressivement suite à sa dégradation.

Le système protéolytique calpaïnes-calpastatine est le principal responsable de la tendreté post-mortem pendant le refroidissement. En règle générale, on peut considérer que la tendreté d'une viande s'améliore de manière significative lorsque la durée de maturation augmente. Par exemple, les résultats publiés par Veiseth *et al.* (2004) ont montré que la viande maturée 10 jours au lieu de 2 était plus tendre, ce qui s'expliquerait par une augmentation de la proportion de  $\mu$ -calpaïne par rapport à l'activité de la calpastatine qui a coïncidé avec une protéolyse post-mortem accrue.

Spécifiquement, la calpaïne dégrade la structure myofibrillaire et certaines protéines associées, menant à une diminution de la dureté de la viande. Les études indiquent que des activités de la calpastatine déclinent avec l'augmentation de l'âge de l'animal. Ainsi, en utilisant des agneaux abattus entre 2 et 10 mois, Veiseth *et al.* (2004) ont constaté que les forces de cisaillement ont significativement diminué à 8-10 mois d'âge, parallèlement à la diminution de l'activité de la calpastatine, et d'une croissance du rapport  $\mu$ -calpaïne/calpastatine. Cette étude a aussi permis d'observer qu'entre 2 et 10 mois d'âge, la concentration en collagène restait statistiquement semblable.

L'activité du système calpaïnes-calpastatine est liée au type de fibre musculaire et plus spécifique au type métabolique de celle-ci. Ainsi, Sazili *et al.* (2005), en utilisant des agneaux âgés de 10 mois, ont établi des corrélations positives [ $r = 0,693$  avec préincubation acide (pH 4,6) et  $r = 0,782$  avec préincubation alcaline (pH 10,4)] entre l'activité de la calpastatine et le pourcentage de fibres purement oxydatives.

Dans leur recherche sur les agneaux, Talmant (1990) ont montré des variabilités entre différents muscles (*masseter*, *tensor fascia latae*, *supraspinatus* et *longissimus dorsi*) en ce qui a trait à la concentration en enzymes (ATPase, LDH et CS) et la concentration en calpaïnes. Ainsi, la concentration de m-calpaïne était négativement corrélée avec l'activité de l'ATPase et la LDH, caractéristiques des fibres glycolytiques et intermédiaires. La concentration de la m-calpaïne entre les muscles analysés était : *masseter* > *supraspinatus* > *longissimus dorsi* > *tensor fascia latae*. Quant à l'activité de la CS, des corrélations positives étaient trouvées avec la concentration de la m-calpaïne. Le *masseter* présentait la

plus grande activité pour la CS suivi par supraspinatus, longissimus dorsi et tensor fascia latae. Ces observations suggèrent que l'activité oxydative de ces muscles, due au pourcentage de fibres rouges, suivrait la même tendance *masseter* > *supraspinatus* > *longissimus dorsi* > *tensor fascia latae*.

### 2.1.6. Croissance musculaire

La croissance postnatale des muscles est due presque exclusivement à l'hypertrophie de la fibre musculaire (Ashmore *et al.*, 1972). Alors que les fibres SO restent, tout au long de leur vie, les fibres qui manifestent un métabolisme de type mixte (FOG), se transforment, du moins en partie, en fibres FG après la naissance. Le développement musculaire chez l'agneau est caractérisé par un développement biphasique des fibres FOG et FG durant la vie embryonnaire suivi d'une transformation plus tardive, mais elle aussi biphasique, des fibres  $\beta$  en fibres ayant un métabolisme aérobie ( $\alpha R$ ) et anaérobie ( $\alpha W$ ). La croissance musculaire avant la naissance est caractérisée initialement par une augmentation rapide du nombre de fibres, suivie d'une augmentation rapide du volume (surface et longueur) de ces fibres musculaires après la naissance (Ashmore *et al.*, 1972). Une étude concernant la proportion et la dimension des fibres SO, FOG et FG a été effectuée par Pinkas *et al.* (1983) en utilisant les muscles *longissimus dorsi* et *semimembranosus* (qui fait la liaison entre le côté médiale de la cuisse et la tubérosité ischiatique, ayant un rôle de propulsion) d'agneaux de type Askanian abattus à 3, 45, 90, 120, 150, 270 et 365 jours d'âge. Cette étude a montré que la proportion des fibres FG a augmenté progressivement avec l'âge dans le muscle *longissimus dorsi* (sauf à 45 jours), mais non significativement dans le muscle *semimembranosus*. Quant au diamètre des fibres musculaires, il a été constaté que leur surface est en croissance, pour tous les types de fibres, pour les deux muscles jusqu'à 270 jours, soit au même moment que la croissance en diamètre se stabilise. Cette transformation pourrait être due à une modification des enzymes produisant l'énergie. Lorsque la densité des mitochondries (métabolisme oxydatif) diminue, la glycogène phosphorylase, qui est un indicateur de l'activité des enzymes glycolytiques, augmente. Les facteurs qui favorisent la transformation des fibres FOG en FG provoquent aussi une augmentation de la musculature de l'animal (Lefaucheur, 1989). La domestication serait d'ailleurs un de ces facteurs. Ainsi, une grande majorité des fibres des muscles striés squelettiques chez les animaux

domestiques sont de type  $\alpha$ . La protection des animaux contre leurs ennemis naturels et la disparition de la nécessité d'aller à la recherche de son alimentation (domestication), ont réduit le besoin d'endurance musculaire (Beaumont *et al.*, 2002). Les caractéristiques histologiques des muscles peuvent également être influencées par le régime alimentaire. Ainsi, Solomon *et al.* (1988) dans une recherche portant sur des béliers ayant un poids de 45 kg, ont trouvé que le *longissimus dorsi* avait moins de fibres FG et plus de fibres musculaires FOG dans le cas d'une diète pauvre en énergie (1,87 Mcal/kg vs 2,79 Mcal/kg). Par contre, Moody *et al.* (1980) n'ont pas trouvé de différence dans le diamètre des fibres du *longissimus dorsi* et du biceps femoris quand ils ont évalué l'effet de différents régimes alimentaires sur les paramètres histologiques.

L'activité physique est un autre facteur susceptible d'influencer la plasticité des fibres musculaires. Chez l'homme, il est bien connu que certains types d'exercice, comme courir le marathon, favorisent le développement de fibres FOG. Par contre, d'autres exercices, par exemple la levée de poids, favorisent le développement de fibres FG. Les expériences menées sur des animaux de laboratoire ont d'ailleurs montré la même chose. On peut donc penser que les exercices répétés et intensifs pratiqués sur de courtes périodes et suivis de périodes de repos relativement longues augmentent la musculature. Chez les agneaux, Aalhus *et al.* (1991), ont trouvé que l'exercice physique n'avait aucun effet significatif sur la taille ni sur le diamètre des fibres dans les muscles *semimembranosus*, *semitendinosus*, *psoas major*, *gastrocnemius* et *vastus lateralis* chez les agneaux SU mâles abattus après 6, 12 ou 18 semaines d'exercice d'endurance physique. Cependant, les agneaux soumis aux activités d'endurance avaient des sarcomères plus courts que les agneaux témoins. De plus, ils ont remarqué une augmentation des fibres à contraction lente (SO) dans le *semimembranosus*, *vastus lateralis*, *semitendinosus*, *psoas* et *gastrocnemius*, tandis que le muscle *semitendinosus* présentait une augmentation significative des fibres intermédiaires (FOG) associée à l'exercice.

### **2.1.7. Nombre et taille des fibres**

Le nombre de fibres présent dans un muscle est relativement fixé à la naissance (Lefaucheur, 1989). Les noyaux de la fibre musculaire sont incapables de synthétiser de

l'ADN ou de se diviser après la naissance. Ainsi, le nombre de fibres dans un muscle est déterminé pendant la période néonatale (Young *et al.*, 1979). En ce qui concerne la taille (diamètre et surface) des fibres musculaires, on remarque chez le porc que celles de type FG sont les plus petites en diamètre, suivies par les fibres de type FOG et finalement par les fibres oxydatives de type SO (Lefaucheur, 1989). Chez les ovins, la surface des fibres musculaires a été rapportée par de nombreux chercheurs. Pinkas *et al.*, (1982) n'ont pas trouvé de différence pour le *longissimus dorsi* dans la surface des différents types de fibres en fonction de l'âge d'abattage (22 et 30 semaines). Pinkas *et al.* (1986) n'ont trouvé aucune différence quant au diamètre des fibres purement oxydatives et purement glycolytiques à trois âges d'abattage (90, 120 et 180 jours). Par contre, Marinova *et al.* (1983) ont trouvé que la différence de surface des fibres musculaires en faveur des fibres glycolytiques (FG), diminue avec l'âge de l'agneau, indiquant ainsi une croissance plus intensive des fibres intermédiaires (FOG). Carpenter *et al.* (1996) ont montré que pour des agneaux de type callipyge (abattus à 59 kg), la taille des fibres rouges (SO) diminuait, tandis que pour les fibres intermédiaires (FOG) et les fibres glycolytiques (FG), leurs tailles augmentaient comparativement aux agneaux de type normal. Des différences de taille et de pourcentage des fibres en fonction du muscle chez l'agneau, ont été mises en évidence par Pinkas *et al.* (1982). Ainsi, le *longissimus dorsi* avait les plus grandes fibres musculaires tandis que le *rectus abdominis* (qui fait la liaison entre l'appendice xiphoïdien, les dernières côtes et le pubis ayant un rôle de compression des viscères), présentait les plus petites fibres. L'âge a significativement augmenté la surface des fibres seulement pour le *rectus abdominis*.

### 2.1.8. Héritabilité du type de fibres

En ce qui concerne les valeurs d'héritabilité, on remarque, en comparant plusieurs études effectuées sur différentes espèces d'animaux, qu'il y a beaucoup de différences d'une recherche à l'autre. Ces variations peuvent être attribuées aux erreurs de typage puisque la limite entre les fibres oxydatives et intermédiaires est difficile à établir surtout lorsqu'on utilise la réaction d'une seule enzyme (NADH-TR). Sachant que le nombre de fibres est caractérisé par une valeur d'héritabilité comprise entre 0,2-0,5 (Rehfeldt *et al.*, 1999) et en tenant compte que la taille des fibres est un caractère très héritable ( $h^2 > 0,5$ ; Vlaic et

Oroian, 2002), il y a lieu de faire une mise en garde. Ainsi, la sélection d'individus à forte masse musculaire et à faible adiposité via le seul accroissement de la taille des fibres augmente significativement le risque de voir apparaître, dans les générations futures, des individus ayant une viande avec des qualités organoleptiques dépréciées (couleur, texture, pouvoir de rétention d'eau, pH) ayant une forte efficacité de conversion alimentaire. De plus, Rehfeldt *et al.* (2000) exposaient des corrélations positives ( $r = 0$  à  $0,6$ ) entre la surface transversale du muscle et la taille des fibres musculaires, positives ( $r = 0,3$  à  $0,5$ ) entre le nombre de fibres musculaires et la surface transversale du muscle et finalement négatives ( $r = -0,3$  à  $-0,8$ ) entre le nombre de fibres musculaires et la taille des fibres musculaires. Pour les espèces en cause (bovine et porcine) la stratégie pour maximiser le rendement est donc de sélectionner des individus ayant un nombre plus élevé de fibres ayant une surface modérée (fibres oxydatives et oxydo-glycolytiques).

## **2.2. La qualité de la viande d'agneau**

La qualité de la viande perçue par les consommateurs au moment de l'achat ou au moment de la consommation, comporte plusieurs paramètres qu'il est possible de regrouper en quatre critères de qualité : organoleptique (couleur, odeur, flaveur, jutosité, tendreté, persillé), nutritionnel (teneur en protéines, lipides, minéraux, vitamines, acides gras saturés, etc.), technologique (% d'eau, pH, potentiel glycolytique, % d'acides gras insaturés, perte en eau, indice d'iode) et innocuité (microorganismes pathogènes, nitrates, pesticides, métaux lourds, anabolisants). Les caractéristiques organoleptiques se divisent, quant à elles, en deux groupes : celles que l'on perçoit de façon externe (couleur, odeur, humidité, disposition du gras, aspect granuleux dû au diamètre des faisceaux de fibres musculaires, etc.) et ceux qui sont perçus en bouche et/ou par la voie rétro nasale (tendreté, saveur, jutosité).

Le principal facteur en ce qui concerne la qualité de la viande est le muscle lui-même et l'interdépendance qui existe au niveau macromoléculaire et micromoléculaire entre les constituants bio- et physico-chimiques d'un muscle ou de plusieurs muscles. Ainsi, le métabolisme oxydatif intervient dans le déterminisme de la couleur, de la jutosité et de la flaveur de la viande. Les muscles oxydatifs (rouge) ont une teneur plus élevée en pigments

que les muscles glycolytiques (blanc). De même, la teneur en lipides du muscle joue un rôle important sur la jutosité, sur la flaveur et sur la tendreté de la viande (Sanudo, *et al.*, 2000). La flaveur fait intervenir différents facteurs (Hocquette *et al.*, 2000) et en particulier la quantité de lipides stockés dans le muscle (relation positive) et le degré de peroxydation des lipides (relation négative), lui même dépendant de la quantité de radicaux libres produits au niveau des mitochondries ou dans les peroxysomes au niveau du cytoplasme. L'influence des propriétés des fibres musculaires sur la qualité de la viande n'est pas encore parfaitement définie. Les recherches actuelles tentent donc d'apprécier les effets propres des caractéristiques contractiles et des caractéristiques métaboliques des fibres, ainsi que la contribution respective des fibres musculaires et des adipocytes à la qualité de la viande (Hocquette *et al.*, 2000).

### **2.2.1. Couleur**

La couleur des aliments est un élément essentiel en ce qui a trait à leur qualité. La couleur de la viande dépend de la teneur et de l'état chimique du pigment essentiel, la myoglobine qui représente plus de 80 % des pigments du muscle. Les techniques histo-chimiques ont montré que la myoglobine est immobile et localisée surtout dans la région située entre les filaments d'actine et de myosine à l'intérieur du disque A, au niveau de la ligne Z. Elle est absente ou présente à de faibles concentrations dans la zone H et le disque I (Govindarajan, 1973). Ce pigment est une chromoprotéine contenant un atome de fer. Au sein du muscle et selon l'état d'ionisation de ce dernier, cette molécule peut se trouver sous trois formes : oxymyoglobine (rouge vif), myoglobine réduite (rouge pourpre) et metmyoglobine (rouge sombre). La prépondérance de l'une des formes sur les autres est liée à de nombreux facteurs, tant intrinsèques (liés à l'animal) qu'extrinsèques (relatifs aux conditions de traitement et de conservation de la viande).

La myoglobine sert à stocker l'oxygène dans la cellule musculaire *in vivo*. Sa concentration est différente entre les espèces (Tableau 2.2). Chez le phoque, chez qui les plongées sont particulièrement longues, le pourcentage de myoglobine peut atteindre 5 à 8 % du poids du muscle; celui-ci a donc une coloration presque noire (Lawrie, 1966). Les basses teneurs en

myoglobine des muscles du porc et du lapin sont en accord avec la pâleur superficielle de la chair (Lawrie, 1966).

**Tableau 2.2. Teneur en myoglobine du muscle *longissimus dorsi* en fonction de l'espèce (Lawrie, 1966)**

ESPÈCE	MYOGLOBINE (g /100 g muscle frais)
Phoque	5 – 8
Baleine bleue	0,91
Cheval pur-sang	0,77
Bœuf	0,50
Mouton	0,25
Porc	0,06
Lapin	0,02

La myoglobine se présente sous différentes formes dépendant du degré d'oxydation du fer dans le noyau héminique et de la présence et de la nature des composés liés à la globine (oxygène principalement). L'état de la myoglobine c'est-à-dire son degré d'oxydation, dépend de la consommation d'oxygène mitochondrial après l'abattage et, par la suite, du pH de la viande. Le maintien d'un pH élevé (>6,0) se traduit par une viande de couleur sombre et collante, caractéristique des animaux stressés avant l'abattage et dont les réserves de glycogène ont été épuisées. Dans les muscles dont les réserves de glycogène sont fortement réduites, l'activité des mitochondries se maintient et la consommation d'oxygène reste élevée amenant une prédominance de la couleur sombre (Lawrie, 1966).

À la surface de la viande, seule une fine couche de myoglobine se trouve sous la forme oxygénée rouge vif. En outre, une viande à pH élevé ayant une forte capacité de rétention d'eau, présente une grande translucidité et une plus faible dispersion de la lumière incidente. Ceci conduit à une plus forte pénétration et absorption de la lumière, faisant paraître la viande plus sombre (Lawrie, 1966).

De nos jours, la technique instrumentale utilisée pour la détermination de la couleur de la viande, est le système CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) en coordonnées rectangulaires  $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$  qui permettent le repérage de la couleur d'une façon précise. La valeur  $L^*$  est une mesure de luminosité sur une échelle de 0 à 100 : plus cette valeur est élevée, plus le muscle est pâle. Les valeurs  $a^*$  et  $b^*$  sont les deux coordonnées de chromaticité :  $a^*$  étant sur l'axe vert-rouge et  $b^*$  sur l'axe bleu-jaune. Les valeurs  $a^*$  et  $b^*$  sont comprises entre -60 et +60. Plus la valeur de  $a^*$  est élevée, plus le muscle est de couleur rouge, plus  $b^*$  est élevée, plus la couleur du muscle se rapproche de la couleur orangée. Plus ces valeurs sont faibles, plus le muscle prend un aspect marron.

#### 2.2.1.1. Âge

Normalement, il existe une relation étroite entre l'âge de l'animal et la concentration en pigments. L'intensité de la couleur de la viande augmente avec l'âge, parce que la concentration en myoglobine dans le muscle augmente. Sañudo *et al.* (1993) ont en effet rapporté de grandes quantités de pigments et une valeur inférieure pour la clarté ( $L^*$ ) dans la viande des agneaux de poids vif de 28-30 kg par rapport aux agneaux de 23-25 kg pour les races Aragonesa, Laucane et Merino Allemand.

Selon Dawson *et al.* (2002), la valeur pour le paramètre  $a^*$  (qui représente la couleur rouge) de la viande d'agneaux abattus à 36 kg était inférieure à celle d'agneaux abattus à 52 kg. Pour leur part, Pinkas *et al.* (1983) ont réalisé une étude en utilisant les muscles *longissimus dorsi* et *semimembranosus* d'agneaux de type Askanian abattus à 3, 45, 90, 120, 150, 270 et 365 jours d'âge. Les résultats ont montré que l'intensité de la couleur de ces muscles a augmenté progressivement avec l'âge d'abattage, le tout étant bien corrélé avec l'augmentation du contenu en pigments avec l'âge. D'ailleurs, Silva *et al.* (2002) ont également démontré que la couleur de la viande est devenue plus sombre et que le paramètre  $a^*$  a augmenté avec le poids d'abattage. Sanudo *et al.* (1996) ont trouvé, chez la race Aragonesa, que l'augmentation du poids de la carcasse correspondait à une plus grande concentration de pigments hémiques (myoglobine et hémoglobine), une plus grande valeur pour le paramètre  $a^*$  (plus rougeâtre) et une diminution pour le paramètre  $L^*$ . Diaz *et al.* (2003), en utilisant des agneaux de race Manchego présentant des poids vifs différents (10,

12 et 14 kg), ont montré que les agneaux moins lourds (10 kg) avaient une valeur  $L^*$  plus grande que pour les autres strates de poids. Horcada (1998) ont trouvé des valeurs plus grandes pour la clarté ( $L^*$ ) dans la viande d'agneaux de race Aragonesa et Lacha ayant un poids vif de 12 et 24 kg par rapport à ceux de 36 kg.

#### 2.2.1.2. Génotype

La couleur peut varier avec la race et le type morpho-productif (la production de lait ou de viande). La précocité plus grande des races laitières implique la déposition plus hâtive de graisses par rapport aux races bouchères (Butler-Hogg *et al.*, 1986) mais également une concentration plus grande de myoglobine comme résultante de la demande plus grande en oxygène. Ainsi, la viande des races laitières devrait être différente de celle des races à viande. Par contre, Sañudo *et al.* (1993) n'ont trouvé aucune différence de contenu en pigments et aucune différence pour les coordonnées  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  du *longissimus dorsi* des carcasses légères (10-12 kg) d'agneaux de race Aragonesa, Lacaune et Merino Allemand. De la même façon, Horcada (1996) n'a trouvé aucune différence significative par rapport au contenu en pigments dans la viande de Lacha et Rasa Aragonesa bien que les agneaux avaient des poids d'abattage différents (12 à 36 kg). Une comparaison effectuée par Sierra *et al.* (1988) sur des carcasses d'agneaux de races britanniques et espagnoles, ayant le même poids d'abattage (24 kg), a permis de constater que le contenu en myoglobine était plus élevé chez les races anglaises que chez les races espagnoles. Dawson *et al.* (2002) ont trouvé que la teinte était inférieure pour les mâles Suffolk (32,9) comparativement à des agneaux mâles Texel (35,1). Carson *et al.* (2001) ont trouvé que seul le paramètre  $b^*$  a été significativement affecté par le génotype. Les agneaux Scottish Blackface avaient une valeur inférieure aux autres pour le  $b^*$ . Sanudo *et al.* (1997) n'ont trouvé aucune différence entre les races en ce qui concerne la couleur de la viande en utilisant des agneaux Churra Manchega, Castellana et des croisés Awassi.

#### 2.2.1.3. Sexe

Afin de bien comprendre l'implication du sexe au niveau de la couleur de la viande, il faut préciser que les valeurs de pH situées au-dessus du point isoélectrique des protéines, qui est de 5,5, déterminent « l'ouverture » de la structure du muscle. De cette façon, une diffusion

plus grande de la lumière entre les myofibrilles du muscle, donne à la viande une apparence plus sombre (Monin, 1988). Beriain *et al.* (2000) soutiennent que les agneaux mâles ont une valeur de pH ultime légèrement plus élevée que les femelles. En effet, les mâles seraient généralement plus stressés (excitables) avant l'abattage que les femelles (Beriain *et al.*, 2000). Donc, logiquement, la valeur pour le paramètre  $L^*$  devrait être statistiquement plus petite pour les mâles. En réalité, les références bibliographiques ne confirment pas cette hypothèse. Ainsi, Horcada *et al.* (1998) n'ont trouvé aucune différence entre les sexes pour la concentration en myoglobine et pour les paramètres de couleur de viande bien qu'ils aient démontré que les femelles avaient des quantités plus élevées de graisse intramusculaire que les mâles. La viande des femelles pourrait être plus sombre que celles des mâles en raison du fait qu'elles accumulent plus de gras sous-cutané et intramusculaire en comparaison des mâles. L'accumulation de gras intramusculaire produit une perte de perméabilité capillaire, provoquant des difficultés en ce qui concerne le captage d'oxygène (qui rend une couleur rouge-vif) par les fibres musculaires et un besoin accru de myoglobine (Sanudo *et al.*, 1993). Cependant, Dransfield *et al.* (1990) n'ont trouvé aucune différence concernant les paramètres de couleur entre les mâles, les mâles castrés et les femelles. Un autre exemple, est celui de Vergara *et al.* (1999); en utilisant des mâles et des femelles de race Manchega ayant le même poids d'abattage, ils n'ont trouvé aucun effet du sexe de l'agneau sur la couleur de la viande.

#### 2.2.1.4. Alimentation

Il est bien connu que l'autoxydation de la myoglobine réduite (qui donne à la viande une couleur rouge pourpre) en metmyoglobine (qui confère une couleur rouge sombre, une couleur indésirable) est étroitement liée au processus d'oxydation des lipides, lui-même associé à la flaveur des viandes. (Macit *et al.*, 2003). La présence de metmyoglobine et l'oxydation des lipides, qui sont reconnus comme les principaux défauts de qualité de la viande fraîche, se produisent durant la période de réfrigération de la viande. Chez les agneaux mâles Morkaraman, l'effet antioxydant de la vitamine E par supplémentation a été mis en évidence par Macit *et al.* (2003). Pour le *longissimus dorsi*, le paramètre  $a^*$  a légèrement augmenté au 7<sup>e</sup> jour après l'abattage. De plus, le supplément de vitamine E (45

mg/tête/jour pendant 75 jours) avait comme conséquence de réduire la capacité oxydative des lipides.

Selon Carson *et al.* (2001), le niveau de concentrés dans les fourrages n'aurait aucun effet significatif sur le paramètre L\*. Toutefois, les agneaux ayant reçu un régime pauvre (20 % concentrés et 80 % ensilage) pendant la période de finition avaient des valeurs significativement plus élevées pour les autres paramètres de couleur (a\* et b\*).

L'administration de niveaux élevés d'acides gras (oméga 3 et oméga 6) n'a pas causé de modification de la couleur ni de la capacité oxydative des lipides pendant la période de réfrigération de la viande d'agneau (Ponampalam, 2001), dans les muscles des régions thoracique et lombaire du *longissimus*.

#### 2.2.1.5. Type de muscles

Pour réussir à faire une distinction entre la couleur de certains muscles, il faut toujours corroborer l'emplacement du muscle dans le corps (rôle), le type métabolique (le % de fibres oxydatives et glycolytiques) et la quantification de l'exercice physique.

Les muscles utilisés pour le mouvement sont généralement plus sombres due à la présence et à la consommation accrue d'oxygène qui est nécessaire pour les réactions du cycle de Krebs pour produire l'énergie (ATP). Plusieurs études comparatives entre différents muscles (position anatomique), ont montré que les muscles locomoteurs étaient plus sombres et présentaient une concentration plus grande en myoglobine que les autres. Pinkas *et al.* (1982) ont comparé la couleur du *longissimus dorsi*, du *supraspinatus* (situé dans la fosse scapulaire ayant un rôle dans l'extension du bras) et du *rectus abdominis* (qui fait la liaison entre l'appendice xiphoïdien, les dernières côtes et le pubis ayant un rôle dans la compression des viscères) chez des agneaux Karakatchanska âgés de 20-30 semaines. Le *longissimus dorsi* était le muscle qui contenait le plus de myoglobine alors que le *rectus abdominis* avait le contenu en pigments le plus faible.

### 2.2.2. pH

Le plus important facteur qui détermine la qualité de la viande est le pH. Il est étroitement lié aux processus biochimiques présents lors de la transformation du muscle en viande. Dans le muscle vivant d'agneau, le pH se situe autour de 7,1-7,3. Après l'abattage, il y a arrêt de la circulation sanguine. Par conséquent, l'apport en oxygène et en nutriments est arrêté. À partir de ce moment, s'observe dans les muscles squelettiques, une série de changements physico-chimiques et biochimiques irréversibles (anaérobiose, formation d'acide lactique) qui inclut l'établissement de la rigidité cadavérique. Une des conséquences de ce phénomène est la diminution du pH, qui passe d'une valeur de 7,1-7,3 à une valeur variant de 5,6 à 6,4 selon les muscles. Les changements des valeurs de pH pendant la période post-mortem dépendent de la concentration en glycogène dans le muscle après l'abattage.

Les valeurs de pH post mortem trouvées dans la littérature indiquent que l'espèce ovine est moins sensible au stress à l'abattage que les porcs ou les bovins (Warris, *et al.*, 1987; cités par Vergara *et al.*, 1999). Les « mécanismes anti-stress » seraient mieux adaptés et par conséquent l'effet du stress sur la qualité de viande moins évident chez les ovins (Linch *et al.* 1992; cités par Sañudo *et al.*, 1997).

La valeur du *pH ultime*, celle mesurée 24 heures après l'abattage, est déterminée par le potentiel glycolytique, c'est à dire par la quantité de glycogène musculaire qui pourra être transformée en acide lactique. Le pH ultime est également fonction de plusieurs facteurs dont le poids et l'âge à l'abattage, le génotype, le sexe, l'alimentation, l'exercice physique et le stress.

#### 2.2.2.1. Poids et âge à l'abattage

Bien que la concentration en glycogène augmente généralement avec l'âge, la viande d'animaux plus vieux ne donne pas toujours le pH le plus bas (Solomon *et al.*, 1980). En utilisant des agneaux de race Manchego ayant des poids vifs différents (10, 12 et 14 kg), Diaz *et al.* (2003) ont montré que le *longissimus dorsi* d'agneaux plus légers (10 kg) avait les valeurs de pH ultime les plus basses. De même, chez la race Aragonesa, il a été montré

que l'augmentation du poids de la carcasse déterminait une valeur plus élevée pour le pH ultime (Sanudo *et al.*, 1996). Horcada (1998) et Beriain *et al.* (2000) ont obtenu des résultats semblables pour les races Lacha et Aragonesa, avec des pH ultimes plus élevés dans les carcasses provenant de l'abattage d'agneaux de 24 kg comparativement à 12 kg. Par contre, les carcasses d'agneaux de 36 kg avaient un pH plus bas. Les résultats obtenus par Pinkas et Marinova (1986) en utilisant le *longissimus dorsi* n'ont montré aucune différence quant au pH ultime, même si les âges d'abattage différaient (90, 120, et 180 jours). De même, Vergara et Galego (1999), en travaillant avec des races espagnoles à un poids d'abattage de 24 kg, n'ont montré aucune différence de pH ultime pour le *longissimus dorsi*.

#### 2.2.2.2. Génotype

En ce qui concerne le génotype des agneaux, la majorité des études ne montre pas de différence significative entre les races. Ainsi, Dransfield *et al.* (1979), en utilisant des races anglaises (Texel, Dorset Down, Suffolk, Oxford, Cotswold, et Southdown), n'ont pas trouvé de différence au niveau de la valeur du pH ultime. Sanudo *et al.* (1996) ont obtenu les mêmes résultats avec des races espagnoles. Toutefois, Beriain *et al.* (2000) ont trouvé des différences de pH ultime d'environ 0,2 pour le *longissimus dorsi* entre les agneaux de race Rasa Aragonesa et ceux de race Lacha pour un poids d'abattage de 24 kg.

#### 2.2.2.3. Sexe

Dransfield *et al.* (1990) ont analysé la composition de la carcasse, la composition de la viande et la qualité alimentaire du *longissimus lumbarum* (qui couvre la zone de l'arc costale : de la crête iliaque à la région du cou) chez des agneaux mâles castrés ou entiers et chez des agneaux femelles de race Dorset Down, Suffolk, Blueface Leicester x Scottish Blackface ayant des poids de carcasse entre 13 à 24 kg. Ils ont remarqué que les carcasses de mâles étaient plus maigres que celles des femelles; les carcasses plus maigres étant les mâles de race Suffolk. De plus, leurs résultats montraient que le sexe n'influçait pas le pH ni la couleur du muscle *longissimus lumbarum*. Les mêmes résultats, mais utilisant le *longissimus dorsi* et le *rectus abdominis*, ont été montrés par Horcada *et al.* (1998) en comparant des mâles et des femelles de race Lacha et Aragonesa ayant un poids vif de 23,1

à 24,5 kg. Dransfield *et al.* (1990) concluaient également dans le même sens, avec des mâles et des femelles Dorset Down et Suffolk sur le *longissimus lumbarum* de carcasses de 13 à 24 kg. Finalement, l'expérience effectuée par de Siqueira *et al.* (2001) pour évaluer les effets de sexe à quatre poids d'abattage (28, 32, 36 et 40 kg) sur des agneaux croisés (1/2 Ile-de-France x 1/2 Corriedale) a également montré qu'il n'y avait pas de différence attribuable au sexe pour les valeurs de pH mesurées à 0, 45 min. et 24 h post-abattage.

#### 2.2.2.4. Alimentation

Les effets concernant le gain moyen quotidien (GMQ) et la perte de poids pendant une période de privation d'aliments à court terme et la privation d'eau pour 67 h ont été examinés sur le *longissimus dorsi* d'agneaux Romney et croisés (Southdown X Romney) au cours des recherches de Devine *et al.* (1983). Il n'y avait aucune différence significative par rapport au pH initial ou ultime et par rapport à la quantité de glycogène et d'acide lactique.

Une autre étude a été publiée par Solomon et Lynch (1988) sur les caractéristiques biochimiques et histologiques d'agneaux mâles (45 kg) soumis à différents régimes alimentaires et à divers protocoles de stimulation électrique. Les valeurs de pH post-mortem à 3 et 5 h post-mortem étaient plus élevées mais elles devenaient plus faibles après 48 h post-mortem dans le cas des agneaux alimentés avec le régime alimentaire plus riche par rapport à ceux alimentés avec le régime alimentaire plus pauvre. Après 1 h post-mortem le contenu en glycogène était plus élevé et celui en acide lactique plus faible pour les agneaux alimentés avec le régime alimentaire plus riche par rapport aux autres. Toutefois, en ce qui concerne le régime alimentaire, Carson *et al.* (2001) ont montré que le niveau de concentrés dans la ration n'a aucun effet significatif sur le pH ultime.

Priolo *et al.* (2002) ont utilisé des agneaux abattus à un poids de 35 kg, soit vers l'âge de 129 à 163 jours. Ils ont montré que la viande d'agneaux alimentés au pâturage avait un pH ultime plus élevé et que celle-ci était plus sombre que celle d'animaux alimentés avec des concentrés.

#### 2.2.2.5. Exercice physique

En comparant des agneaux mâles Suffolk pesant 27 à 36 kg et abattus après 6, 12 ou 18 semaines d'exercice physique d'endurance (sur un carrousel actionné par un moteur électrique à une vitesse variable), Aalhus *et al.* (1991) ont montré que l'exercice avait peu d'effet sur le taux de diminution du pH après l'abattage. Le muscle *semitendinosus* présentait une augmentation significative de fibres intermédiaires associées à l'exercice et était le seul muscle dans lequel l'exercice avait significativement influencé la vitesse de diminution du pH. De plus, le taux de diminution du pH avait différé selon les muscles; les muscles ayant la proportion la plus grande de fibres glycolytiques avaient le taux le plus lent de diminution.

#### 2.2.2.6. Stress

Le stress des agneaux avant l'abattage peut avoir une grande influence sur la valeur du pH ultime. Les fibres FG sont adaptées au métabolisme glycolytique ce qui tend à produire une réponse très rapide à l'adrénaline sécrétée lors d'un stress et à transformer rapidement les réserves de glycogène en acide lactique (Terlouw, 2002). Le stress, imposé au moment de l'abattage, peut provoquer une diminution rapide et prononcée du pH après la mort. Si le stress est imposé trop tôt avant l'abattage, il y a diminution des réserves de glycogène éliminant ainsi la chute du pH désirée lors du post-mortem, ce qui peut produire une viande de moindre qualité (Hocquette, *et al.* 2000). Dans l'étude de Devine *et al.* (1993), les agneaux qui ont été soumis au stress avant l'abattage et électriquement stimulés à 20 minutes post-mortem pendant 90 secondes avaient les valeurs les plus élevées pour le pH ultime.

### 2.2.3. Tendreté

La tendreté de la viande est perçue comme une combinaison de sensations résultant de l'interaction des sens avec les propriétés physiques et chimiques, comme la dureté, l'humidité et l'élasticité. La propriété physique de la viande la plus importante est son degré de tendreté pendant la mastication, et ce, après la cuisson. La *tendreté* et la *dureté* sont des termes subjectifs complexes qui sont difficiles à traduire de façon exacte en paramètres mécaniques, pouvant être mesurés objectivement. Selon la littérature, les trois principaux

facteurs responsables de la tendreté de la viande sont : l'intégrité du cytosquelette, la quantité et la solubilité du collagène intramusculaire et la longueur des sarcomères.

Lorsque la viande est cuite, il y a une diminution du diamètre des fibres du muscle pouvant aller jusqu'à 15 %, le collagène étant gélatinisé à divers degrés (Asghar et Pearson, 1980). Le collagène, en se dégradant autour du fascicule du muscle prend au piège une multitude de gouttelettes de graisses fondues sorties du gras intramusculaire. La tendreté maximale est obtenue lorsque la viande atteint une certaine température, bien que cette température diffère entre les muscles et entre les animaux, surtout de par la quantité et l'état biochimique du tissu conjonctif fibreux (Asghar et Pearson, 1980).

Le collagène est difficilement dégradé par les enzymes digestives mais est partiellement détruit lors des cuissons lentes en milieu aqueux (Asghar et Pearson, 1980). Le collagène n'est pas modifié pendant la phase de maturation de la viande (Asghar et Pearson, 1980). Après l'abattage, les fibres musculaires subissent des modifications qualitatives imputables à l'évolution post-mortem de la viande. Ces modifications, qui constituent le phénomène de maturation, permettent d'améliorer la tendreté de la viande.

Les myofibrilles se dégradent progressivement sous l'action des enzymes protéolytiques contenues dans le muscle. Cette dégradation entraîne un attendrissement progressif de la viande. La tendreté d'une viande dépend, pour beaucoup, du temps pendant lequel s'est exercé la maturation; plus ce temps est long, plus la tendreté est augmentée. Ainsi, Veiseth *et al.* (2004) ont montré que la viande maturée pendant 10 jours étaient plus tendres que celle maturée pendant 2 jours.

Les myofibrilles peuvent également intervenir d'une autre façon dans la tendreté de la viande. Si les carcasses sont réfrigérées trop rapidement après l'abattage, le phénomène connu sous le nom de *retrécissement au froid* ou *cold shortening* prend place. La rigidité cadavérique s'installe sur des myofibrilles particulièrement contractées qui conserveront par la suite une dureté notable, que ne pourra pas résoudre le phénomène d'attendrissement naturel de maturation. Dans la viande d'agneau, il y a peu de variation en ce qui concerne la

tendreté si la bonne gestion du refroidissement après l'abattage prévient le phénomène de rétrécissement au froid. Pour empêcher ce phénomène, une « règle d'or » dit que la température interne du muscle devrait baisser à 10°C quand le pH de celui-ci aura atteint une valeur de 6,0 (Picard, 2004).

En ce qui concerne la longueur des sarcomères, il est bien connu qu'elle est variable en fonction de l'état de contraction ou de l'état de relaxation des fibres musculaires. Autrement dit, pendant la contraction, la longueur des sarcomères devient plus courtes à cause de la disparition de la zone « H » située entre les filaments d'actine qui ont glissé les uns dans les autres parmi des filaments de myosine (Figure 2.2). Cependant, la tendreté est aussi affectée par le gras intramusculaire, le pH et la capacité de rétention en eau.

Pour mettre en évidence la tendreté de la viande, d'un point de vue objectif, les chercheurs utilisent la valeur de la force de cisaillement (mesurée par un appareil qui enregistre la force nécessaire pour couper un morceau de viande cuite de format déterminé) et les tests de dégustation (réalisés par des panels).

La tendreté est essentiellement fonction de la proportion et de la nature du tissu conjonctif contenu dans le muscle dont les facteurs de variation les plus importants sont : le poids et l'âge à l'abattage, le génotype, le sexe, l'alimentation, le stress, le pH, la température et l'exercice physique.

#### 2.2.3.1. Poids et âge à l'abattage

Tel que mentionné précédemment, la tendreté de la viande diminue avec l'augmentation de l'âge à l'abattage (Ouali *et al.* 1990), en raison d'une augmentation du nombre de liens thermorésistants entre les fibres de collagène. Par contre, Horcada (1996) n'a observé aucune différence de tendreté de la viande, évaluée par la force de cisaillement, entre les agneaux de races Aragonesa et Lacha abattus à 12, 24 et 36 kg de poids vif. Probablement que la variation de poids d'abattage n'était pas suffisante pour mesurer une augmentation de la structuration du collagène. Cependant, Gorraiz *et al.* (1999), cités par Beriain *et al.* (2000), ont trouvé des différences de tendreté, par évaluation dans un test de dégustation fait par un jury, entre des agneaux Lacha et Aragonesa abattus à 12 et 24 kg de poids vif.

La viande d'agneaux de 24 kg était plus dure, plus cohésive et plus difficile à avaler que celle des agneaux de 12 kg qui avaient été alimentés exclusivement avec le lait de leur mère (12 kg). Perez *et al.* (2002), en faisant une analyse physique d'échantillons de *longissimus dorsi* d'agneaux Suffolk Down encore sous la mère, ont montré que la tendreté avait tendance à augmenter avec le poids vif (8,7-14,9 kg).

Purchas *et al.* (2002) ont trouvé que les caractéristiques de qualité de la viande différaient peu entre les génotypes, et que la viande du muscle *semimembranosus* provenant d'agneaux de deux lots d'abattage (5-9 mois et 10-11 mois) ne présentait aucune différence de tendreté. Par contre, Veiseth *et al.* (2004), en comparant des agneaux abattus à 2 et 10 mois, ont constaté que les forces de cisaillement ont significativement diminué pour les agneaux de 8-10 mois d'âge, dû à une diminution de l'activité de la calpastatine, et d'une augmentation du rapport  $\mu$ -calpaïne/calpastatine.

#### 2.2.3.2. Génotype

Les différences de tendreté de la viande entre les races ovines sont associées aux caractéristiques du muscle, donc, en d'autres mots, au profil métabolique du muscle (proportion des fibres musculaires constituantes), à la taille des fibres, à la quantité et à l'état biochimique du collagène.

Beriain *et al.* (2000) ont utilisé des agneaux de race Aragonesa et Lacha abattus aux poids d'abattage de 12, 24 ou 36 kg. Ils ont trouvé que la race n'avait aucun effet sur la force de cisaillement du muscle *biceps femoris*. Sierra *et al.* (1988) ont constaté que la viande de type espagnol « Ternasco » était légèrement plus tendre que la viande des agneaux de races britanniques abattus au même poids. Sanudo *et al.* (1997), par leurs recherches sur des agneaux Churra Manchega, Castellana et croisés Awassi, ont constaté que la viande d'agneaux Castellana était moins tendre (force de cisaillement) que celle des autres races et qu'elle avait aussi une perte à la cuisson plus grande que la viande d'agneaux Churra. Par contre, Horcada (1996) n'a pas détecté de différences pour la tendreté entre la viande provenant de races Aragonesa et Lacha. Cependant, Gorraiz *et al.* (1999; cités par Beriain

*et al.*, 2000) ont trouvé des différences de tendreté entre les agneaux Lacha et Aragonesa abattus à 12 et 24 kg de poids vif en utilisant des tests de dégustation réalisés par un jury.

La présence du gène Callipyge chez un agneau affecte également la tendreté de la viande. Ainsi, les côtelettes d'agneaux de phénotype Callipyge étaient moins tendres et moins juteuses que les côtelettes d'agneaux qui présentaient un phénotype normal (Shackelford *et al.*, 1997). Le même résultat a été obtenu par Abdulkhaliq *et al.* (2002). Dans cette étude, les agneaux obtenus par le croisement entre des femelles Polypay et des mâles Dorset hétérozygotes pour le gène Callipyge ont été abattus à 57 kg. Le muscle *longissimus dorsi* présentait une force de cisaillement qui s'élevait à 4,7 kg/cm dans le cas des agneaux porteurs du gène Callipyge contre 2,2 kg/cm pour les agneaux non-porteurs. Une telle différence est généralement perceptible par le consommateur qui peut détecter des différences de force de cisaillement supérieur à 1 kg/cm (Jeremiah, L.E., Agriculture Canada, communication personnelle).

#### 2.2.3.3. Sexe

Au même âge, la viande des mâles est généralement moins tendre que celle des femelles. Après la puberté, l'augmentation de la testostérone chez les mâles augmente la quantité de collagène dans le muscle et réduit la tendreté de la viande (Pommier *et al.*, 1989). Dawson *et al.* (2002) ont également montré que la viande des mâles était moins tendre (2,44 kg/cm) que celle des femelles (1,97 kg/cm). Dans une étude de Perez *et al.* (2002), la tendreté de la viande a également augmenté pour les femelles.

#### 2.2.3.4. Alimentation

Généralement, les niveaux d'alimentation élevés augmentent la tendreté de la viande d'agneau, en entraînant une augmentation du gras intermusculaire et une diminution relative de la structuration du collagène (Kemp *et al.*, 1981). Il est cependant difficile de différencier l'effet direct de l'alimentation sur la tendreté d'un effet indirect qui pourrait être relié à des différences d'âge à l'abattage résultat d'une vitesse de croissance différente. Dans une étude de Carson *et al.* (2001), le niveau de concentrés dans la ration a eu un effet significatif en ce qui concerne la force de cisaillement de la viande.

Ponnampalam *et al.* (2003) ont utilisé des agneaux âgés de 4 mois obtenus du croisement entre les races Dorset Horn et Mérinos. Ils ont montré qu'une ration composée de faibles quantités de supplément protéique servie aux agneaux avec des fourrages de faible qualité peut améliorer le poids et la teneur en viande maigre des carcasses et ce, sans changer la tendreté de la viande. Priolo *et al.* (2002) ont utilisé des agneaux ayant un poids d'abattage de 35 kg et un âge moyen de 129 à 163 jours. L'analyse sensorielle de la viande d'agneau a montré que la tendreté et la jutosité étaient plus élevées pour les agneaux alimentés avec un niveau élevé de concentrés (85 % de la ration) en comparaison de ceux alimentés avec une ration pauvre en concentré (15 % de la ration).

Dans une étude concernant l'influence de l'allaitement sur la qualité de la carcasse d'agneaux de race Aragonesa, Sanudo *et al.* (1998) ont comparé des agneaux sevrés à 38-40 jours à d'autres non-sevrés, tous abattus à un poids de 20 kg (à l'âge de 80 jours), et ils n'ont observé aucune différence entre les groupes concernant la force de cisaillement en ce qui concerne le *longissimus lumborum*.

Les caractéristiques biochimiques de la viande d'agneaux mâles de 45,8 kg soumis à deux régimes alimentaires (riche et pauvre en énergie : 2,79 vs 1,87 Mcal EM/kg) ont été étudiées par Solomon et Lynch (1986). La tendreté de la viande des agneaux nourris avec une ration riche en concentrés était plus élevée que pour les agneaux alimentés avec une ration faible en concentrés, résultat du plus haut pourcentage de gras sous-cutanée des animaux recevant la ration riche.

#### 2.2.3.5. Exercice physique

Aalhus *et al.* (1991) ont étudié l'effet de l'exercice physique sur la tendreté. Ils ont comparé des agneaux, abattus à un poids vif de 27-30 kg, ayant subi un exercice physique à d'autres témoins « non entraînés ». Les agneaux soumis à l'exercice physique étaient également répartis dans trois durées de traitement : 6, 12 et 18 semaines. Leurs résultats ont démontré que les muscles *semimembranosus* et le *vastus lateralis* chez les agneaux soumis à l'exercice physique étaient plus tendres que ceux n'ayant pas effectué ce type d'effort. Le nombre de semaines d'exercice n'a cependant pas influencé la tendreté des muscles.

#### 2.2.4. Jutosité

La jutosité de la viande est d'abord perçue par le consommateur par la sensation qui est produite par des forces physiques pendant la mastication, suivie par l'expulsion lente du jus associé à l'effet de stimulation des graisses sur la sécrétion salivaire. Il y a peu d'études sur la jutosité de la viande d'agneau.

La jutosité peut être déterminée d'une façon subjective en utilisant un jury de dégustation et, d'une manière plus objective, en déterminant la capacité de rétention en eau de la viande. Cette dernière méthode permet de quantifier la jutosité de la viande par une évaluation des pertes en eau et des pertes à la cuisson. Elle permet également de comprendre de façon plus approfondie les processus biochimiques qui se déroulent dans la viande. De plus, elle a une influence sur la valeur de la viande à plusieurs niveaux jusqu'à l'étape finale de la mise en marché. On peut l'influencer au tout début du processus soit à partir de la sélection des individus destinés pour la viande (race, sexe), pendant leur engraissement (niveau alimentaire, durée, poids d'abattage), au niveau du stress (transport, abattage) et enfin, à l'entreposage des carcasses (température et temps). D'ailleurs, la capacité de rétention en eau est liée au type de muscle (oxydatif, intermédiaire ou glycolytique), à la proportion et à la surface des fibres musculaire, au contenu en glycogène musculaire avant l'abattage et post-mortem et au pourcentage de gras inter- et intramusculaire. Ainsi, plus le muscle est de type oxydatif, plus il contient plus des fibres musculaires ayant un métabolisme oxydatif, de gras inter- et intramusculaire, de glycogène musculaire, et meilleure est sa capacité de rétention en eau. (Monin, 1988).

Il existe beaucoup de variations quant aux valeurs relatives de pertes en eau et à la cuisson pour la viande d'agneau. Ainsi, pour les pertes à la cuisson, les valeurs sont situées entre 11 et 31 % (Shackelford *et al.*, 1997; Sanudo *et al.*, 2000; Caneque *et al.*, 2004). Pour les pertes en eau, les valeurs se situent généralement entre 1 et 7 % (Pommier *et al.*, 1989; Aalhus *et al.*, 1991; Hoffman *et al.*, 2003). Ces variations sont dues à plusieurs facteurs qui influencent la jutosité de la viande dont le type de muscle, le génotype, le sexe, l'âge et le poids à l'abattage, l'alimentation et le stress.

#### 2.2.4.1. Type de muscle

Pinkas *et al.* (1982) ont utilisé des agneaux Karakatchanska âgés de 20 à 30 semaines. Ils ont trouvé que les pertes à la cuisson étaient plus grandes dans le *longissimus dorsi* comparativement à celles dans le *supraspinatus* et le *rectus abdominis*.

#### 2.2.4.2. Génotype

Il semble que la race n'ait pas un grand effet sur la jutosité de la viande. Abdulkhaliq *et al.* (2002) ont utilisé des agneaux obtenus par le croisement entre des femelles Polypay et des mâles Dorset hétérozygotes pour le gène Callipyge. Ces agneaux ont été abattus à un poids de 57 kg. Les deux génotypes (porteurs et non-porteurs du gène) n'ont pas différé en ce qui concerne les pertes à la cuisson et le pourcentage d'eau dans les muscles *biceps femoris*, *semitendinosus* et *semimembranosus*.

Sanudo *et al.* (1993) n'ont trouvé aucune différence pour la perte en eau du *longissimus dorsi* d'agneaux de race Aragonesa, Lacaune et Merino (carcasses de 13 à 15 kg). Par contre, Beriain *et al.* (2000) ont observé une perte en eau plus grande dans le muscle *longissimus dorsi* d'Aragonesa que dans le cas d'agneaux Lacha, particulièrement chez les agneaux abattus au poids vif de 24 kg.

Sanudo *et al.* (1997) ont utilisé les muscles *longissimus thoracis* et *longissimus lumborum* d'agneaux âgés d'un mois de race Churra, Manchega, Castellana et croisés Awassi. La viande d'agneaux Castellana était moins juteuse que celle des autres races et avait une perte à la cuisson plus grande que la viande d'agneaux Churra qui elle, présentait la plus grande quantité de gras intramusculaire et de couverture. Généralement, une grande quantité de gras intramusculaire entraîne des pertes à la cuisson plus importantes (Solomon *et al.* 1980). Les résultats obtenus par Santos Silva *et al.* (2002) sur le *longissimus thoracis* et le *longissimus lumborum* d'agneaux Merino Branco et croisés Île-de-France abattus à 24-30 kg, montraient que la capacité de rétention en eau diminue pour la viande d'agneaux maigre.

#### 2.2.4.3. Sexe

Les recherches de Dawson *et al.* (2002) sur le muscle gluteus medius provenant d'agneaux de divers croisements entre différentes races et abattus à 36, 44 et 52 kg, montraient que les agneaux mâles avaient une perte à la cuisson plus grande (217 g/kg) que les femelles (196 g/kg). Par contre, les résultats de Diaz *et al.* (2003) sur le *longissimus dorsi* d'agneaux de race Manchego abattus à 10, 12 et 14 kg, ont montré que les femelles présentaient une plus grande perte en eau (19,94 %) que les mâles (18,54 %). Par contre, Horcada *et al.* (1998) n'ont trouvé aucun effet de sexe sur la capacité de rétention en eau en ce qui concerne le *longissimus dorsi* d'agneaux de races espagnoles abattus entre 11 et 24 kg. De plus, les résultats obtenus par Arsenos *et al.* (2001), en utilisant le panel de dégustation, sur des agneaux de races grecques abattus à 30, 45, 60 et 90 % de leur poids adulte, montraient qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les sexes concernant la jutosité, malgré le fait que le jury préférait la viande d'agneaux femelles.

#### 2.2.4.4. Âge et poids à l'abattage

La capacité de rétention en eau est positivement corrélée avec l'âge d'abattage (Pinkas *et al.* 1982). Ainsi, en utilisant le *longissimus dorsi*, le *supraspinatus* et le *rectus abdominis* d'agneaux âgés de 22 à 30 semaines, les auteurs ont constaté que la viande provenant des agneaux âgés de 30 semaines ont eu, d'une part, un plus grand pouvoir de rétention en eau dans le *longissimus dorsi* et le *supraspinatus* et d'autre part, ont montré que les pertes à la cuisson plus faibles pour les trois muscles comparativement aux individus âgés de 22 semaines. Selon Kemp *et al.* (1972) cette corrélation positive entre les pertes à la cuisson et l'âge d'abattage, serait attribuable à l'augmentation du pourcentage de gras avec l'âge.

Horcada (1996) a observé que la viande d'agneaux de races Aragonesa et Lacha abattus au poids vif de 24 kg, enregistrerait une plus grande perte en eau que celle d'agneaux abattus à 12 et 36 kg. Par contre, Beriain *et al.* (2000) montraient que les pertes en eau de la viande d'agneaux Aragonesa étaient inférieures pour un poids d'abattage de 24 kg par rapport à 12 et 36 kg.

L'augmentation du poids d'abattage réduit généralement la jutosité (Kemp *et al.*, 1981; Solomon *et al.*, 1980). En utilisant un panel de jurés, les recherches d'Arsenos *et al.* (2001) n'ont trouvé aucune différence pour la jutosité en relation poids d'abattage (23, 28 et 33 kg).

#### 2.2.4.5. Alimentation

Un niveau élevé de concentrés (80 %) dans la ration n'a eu aucun effet significatif en ce qui concerne les pertes à la cuisson de la viande (Carson *et al.*, 2001). Les mêmes résultats ont été observés dans une étude conduite par Velasco (2004). Ainsi, en utilisant des agneaux abattus à 28 kg, il n'a pas trouvé de différence concernant la perte en eau pour le *longissimus thoracis* et le *semitendinosus* et cela, même si les traitements d'alimentation étaient différents (pâturage+concentrés vs pâturage+orge entier+supplément protéique).

Macit *et al.* (2003) ont mis en évidence que le supplément de vitamine E (45mg/tête/jour pendant 75 jours) avait comme conséquence une réduction des pertes en eau de la viande via la stabilisation des membranes cellulaires.

### 2.2.5. Composition chimique

Une augmentation de la masse musculaire et une présence optimale de tissu adipeux dans la carcasse sont des éléments très désirables pour les producteurs de moutons. En d'autres mots, les qualités organoleptiques de la viande sont également déterminées par la proportion de gras présente en couverture de la carcasse et surtout par la proportion de gras intramusculaire. Ainsi, la composition chimique des muscles affecte la qualité de la viande.

#### 2.2.5.1. Génotype

L'étude comparative réalisée par Lirette *et al.* (1984) entre les agneaux mâles (castrés et non castrés) des races Suffolk, Finnish Landrace et croisés (Suffolk x Finnish Landrace, Finnish Landrace x Suffolk) abattus entre 24,9 kg et 35 kg, les ont conduit à conclure que le génotype n'a pas influencé le contenu de la longe en protéine (74,9 % - 81,6 %), en gras (15,6 % - 20,6 %) ni en cendre (3,9 % - 4,3 %).

Esenbuga *et al.* (2001) ont étudié des agneaux de race Awassi, Red Karaman, Tushin et croisés (Awassi x Tushin) abattus entre 28,2 kg et 31,3 kg. Aucune différence entre les races n'était observée quant au contenu en eau (75,63 % - 76,81 %), en protéine (19,02 % - 19,98 %) ou en gras (1,43 % - 2,79 %) du *longissimus*.

Snowder *et al.* (2003), en utilisant un poids d'abattage de 61 kg pour la race Suffolk et de 64 kg pour la race Dorper, ont obtenu une moyenne de composition des tissus mous (viande et gras de la carcasse) en gras 3,52 % pour la race Dorper et 4,30 % pour les Suffolk. Cependant, aucune différence significative entre les races n'a été enregistrée. En rapportant la teneur en eau, en protéine et en gras en terme de tissu frais, ils ont obtenu un pourcentage en eau de 51,2 %, 16,7 % protéine et 30,3 % gras pour la race Columbia; 53,2 % eau, 17,5 % protéine, 29,1 % gras pour la race Dorper et 51,2 %, 17,0 % et 31,8 %, respectivement, pour les Suffolk. Les différences entre les races n'étaient pas significatives.

#### 2.2.5.2. Sexe

Horcada *et al.* (1998) en utilisant le *longissimus dorsi* d'agneaux mâles et femelles de race Lacha, abattus à 11,4 kg et 10,4 kg respectivement, et d'agneaux de race Aragonesa (mâles et femelles abattus 24,5 kg et 23,1 kg), ont trouvé que le contenu en gras intramusculaire était supérieur chez les femelles (2,74 % - 3,54 %) que chez les mâles (1,87 % - 3,15 %). Des autres composantes chimiques, la seule qui a varié en fonction du sexe a été le contenu en eau. Le *longissimus* des femelles Lacha avait un contenu moins élevé en eau (75,03 %) que les mâles (75,96 %). En étudiant différents poids d'abattage (10, 12, 14 kg), Diaz *et al.* (2003) trouvaient que le *longissimus dorsi* des agneaux mâles de race Manchego était moins gras (5,03 %) que celui les femelles (6,23 %).

#### 2.2.5.3. Poids

La teneur en gras du *longissimus dorsi* a été étudiée par Pinkas *et al.* (1982) en fonction de l'âge d'abattage (22 vs 30 semaines). Aucune différence n'est apparue entre les deux âges d'abattage (2,53 % gras à 22 semaines vs 2,83 % à 30 semaines d'âge).

Diaz *et al.* (2005) ont constaté que dans le muscle *longissimus*, qui provenait d'agneaux mâles de race Manchego abattus entre 8 et 14 kg, le pourcentage de gras intramusculaire était inférieur (1,92 %) lorsque le poids de la carcasse était inférieur à 5,5 kg comparativement aux agneaux abattus plus lourds (5,5-6,5 kg et >6,5 kg poids de la carcasse; 2,24 % et 2,18 % gras, respectivement). Quant à la teneur en eau, celle-ci était supérieure à un poids d'abattage inférieur (78 % eau pour 5,5 kg vs 77,35 % et 77,33 % pour les poids de carcasse de 5,5-6,5 kg et >6,5 kg).

Dans un autre étude réalisée par Diaz *et al.* (2003) sur la même race (Manchego), il a été constaté que le poids d'abattage (10, 12 et 14 kg) n'influçait pas le pourcentage de gras intramusculaire (5,66 %, 5,49 % et 5,75 %). Santos Silva *et al.* (1991), par analyse chimique sur le *longissimus dorsi*, n'ont pas trouvé de différence en ce qui concerne la teneur en gras en utilisant quatre strates d'abattage (25, 30, 35 et 40 kg).

#### 2.2.5.4. Alimentation

Santos Silva *et al.* (1991) ont étudié l'effet de l'alimentation sur la composition chimique de la viande d'agneaux de race Merino abattus à 25, 30, 35 et 40 kg. Ils ont constaté que la teneur en gras dans le *longissimus dorsi* n'était pas influencée par les diètes à l'étude (60 % concentrés-40 % fourrage vs 40 % concentrés-60 % fourrage).

Murphy *et al.* (1994) ont abattus 58 agneaux croisés (Hampshire x Targhee), entre 47,9 kg et 49,1 kg poids vif, pour comparer la composition de la viande en fonction de trois niveaux d'alimentation : moulée à volonté, quantité de moulée restreinte à 85 % de la consommation à volonté et restriction à 70 %). Ainsi, ils ont constaté que la teneur du muscle *longissimus* en eau (70,28 % - 70,82 %), en protéine (20,50 % - 20,73 %) et en gras (8,27 % - 9,13 %) ne présentaient pas de différence significative en fonction des régimes alimentaires.

### 2.3. Objectifs du projet

La présente revue de littérature souligne la grande variabilité des résultats publiés en ce qui concerne les différents facteurs zootechniques qui peuvent influencer la viande d'agneau.

Dans le cas spécifique du Québec, il n'existe pas d'étude qui se soit attardée à évaluer les effets de différents facteurs d'élevage sur la qualité de viande. Il apparaissait donc pertinent de mener une telle étude surtout dans le contexte où l'industrie ovine québécoise cherche par tous les moyens possibles à se démarquer de la concurrence étrangère. La qualité de la viande fait partie des éléments sur lesquelles la renommée de l'agneau du Québec s'appuie.

Ainsi, le projet de recherche, présenté dans le prochain chapitre, avait pour objectif général d'évaluer l'effet de la race, du sexe et du poids d'abattage sur certains paramètres qui déterminent la qualité de la viande d'agneau lourd produite au Québec.

Les objectifs spécifiques étaient :

- i. Évaluer les différences de qualité de la viande entre des agneaux de race maternelle (Dorset) et ceux de race paternelle (Suffolk);
- ii. Évaluer l'effet du sexe sur la qualité de la viande;
- iii. Déterminer les variations des paramètres liés à la qualité de la viande d'agneau en fonction du poids d'abattage (de 41 à 54 kg);
- iv. Enrichir notre banque de données provinciale sur la qualité de l'agneau lourd du Québec de façon à pouvoir éventuellement la comparer et la différencier des autres pays et provinces.

## **2.4. Liste bibliographique**

Aalhus, J.L. et Price, M.A. (1991). Endurance-exercised growing sheep : I. Post-mortem and histological changes in skeletal muscles. *Meat Sci.*, 29, 43-56.

Aalhus, J.L., Price, M.A., Shand, P.J. et Hauurysh, Z.J. (1991). Endurance-exercised growing sheep : II. Tenderness increase and change in meat quality. *Meat Sci.*, 29, 57-68.

Abdulkhaliq, A. Meyer, H.H. Thompson, J.M. Holmes, Z.A. Forsberg, N.E. et Davis, S.L. (2002). Callipyge gene effects on lamb growth, carcass traits, muscle weights and meat characteristics. *Small Ruminant Res.*, 45, 89-93.

Arsenos, G., Banos, G., Fortomaris, P., Katsaounis, N., Stamataris, C., Tsaras, L. et Zygoiannis, D. (2002). Eating quality of lamb meat : effects of breed, sex, degree of maturity and nutritional management. *Meat Sci.*, 60, 379-387.

Asghar, A. et Pearson, A.M. (1980) Influence of ante-and postmortem treatments upon muscle composition and meat quality. Dans : *Advances in food research*, Vol. 26, Academic Press, New-York, États-Unis, p. 53-213.

Ashmore, C.R., Tompkins, G. et Doerr, L. (1972). Postnatal development of muscle fiber types in domestic animals. *J. Anim. Sci.*, 34, 37-41.

Barany, M. (1967). ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *J. Gen. Physiol.*, 50, 197-218.

Beaumont, C., Roussot, O., Marissal-Avry, N., Mormede, P., Prunet, P., et Roubertoux, P. (2002). Génétique et adaptation des animaux d'élevage : introduction. *Prod. Anim.*, 15, 343-348.

Beriain, M.J., Horcada, A., Purroy, A., Lizaso, G., Chasco, J. et Mendizabal, J.A. (2000). Characteristics of Lacha and Rasa Aragonesa lambs slaughtered at three live weights. *J. Anim. Sci.*, 78, 3070-3077.

Beriain, M.J., Purroy, A., Treacher, T. et Bas, P. (2000). Effect of animal and nutritional factors and nutrition on lamb meat quality. Dans Ledin I. et Morand-Fehr P. (ed.). *Sheep and goat nutrition : Intake, digestion, quality of products and rangelands*. Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, p. 75-86.

Briand, M., Talmant, A., Briand, Y., Monin, G. et Durand, R. (1981). Metabolic Types of Muscle in the Sheep : I. Myosin ATPase, Glycolytic and Mitochondrial Enzyme Activities. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 46, 347-358.

Brooke, M.H. et Kaiser, K.K. (1970). Muscle fiber types : how many and what kind ? *Arch. Neurol.*, 23, 369-379.

Butler Hogg, B.W., Francombe, M.A. et Dransfield, E. (1986). Carcass and meat quality of ram and ewe lambs. *Anim. Prod.*, 39, 107-113.

Carpenter, C.E., Rice, O.D., Cockett, N.E. et Snowden, G. D. (1996). Histology and composition of muscles from normal and callipyge lambs. *J. Anim. Sci.*, 74, 388-393.

Carson, A.F., Moss, B.W., Dawson, L.E.R. et Kilpatrick, D.J. (2001). Effect of genotype and dietary forage to concentrate ratio during the finishing period on carcass characteristics and meat quality of lamb from hill sheep systems. *J. Agric. Sci.*, 137, 205-220.

Cassens, R.G. et Cooper, C.C. (1971). Red and white muscle. *Adv. Food Res.*, 19, 1-74.

CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). (1976). 18th session, London, England, Sept. 1975, CIE Publication 36.

Dawson, L.E.R., Carson, A.F. et Moss, B.W. (2002). Effect of crossbred ewe genotype and ram genotype on lamb meat quality from the lowland sheep flock. *J. Agric. Sci.*, 139, 195-204.

Devine, C.E., Bell, R.G., Chrystal, B.B. Davey, C.L. et Kirton, A.H. (1983). Effect of nutrition in lamb and subsequent postmortem biochemical changes in muscle. *N. Z. J. Agric. Res.*, 26, 53-57.

Devine, C.E., Graafhuis, P.D., Muir, P.D. et Chrystall, B.B. (1993). The effect of growth rate and ultimate pH on meat quality of lambs. *Meat Sci.*, 35, 63-77.

Diaz, M.T., Velasco, S., Perez, C., Lauzurica, S., Huidobro, F. et Caneque, V. (2003) Physico-chemical characteristics of carcass and meat Manchego breed suckling lambs slaughtered at different weights. *Meat Sci.*, 65, 1247-1255.

Dransfield, E., Nute, G.R., Hogg, B.W. et Walters, B.R. (1990). Carcass and eating quality of ram, castrated ram and ewe lambs. *J. Anim. Sci.*, 50, 291-299.

Dransfield, E., Nute, G.R., Douglas, B. McDougall et Douglas, N.R. (1979). Effect of sire breed on eating quality of cross-breed lambs. *J. Sci. Food Agric.*, 30, 805-808.

de Siqueira, E.R., Simões, C.D. et Fernandes, S. (2001). Efeito do Sexo e do Peso ao Abate sobre a Produção de Carne de Cordeiro. I. Velocidade de Crescimento, Caracteres Quantitativos da Carcaça. *Rev. Bras. Zootec.*, 30, 1299-1307.

Essen-Gustavson, B. et Fjelkner-Modig, S. (1985). Skeletal muscle characteristics in different breeds of pigs in relation to sensory properties of meat. *Meat Sci.*, 13, 33-47.

Essen-Gustavson, B., Karlsson, A., Lundstrom, K. and Enfalt, A.C. 1994. Intramuscular fat and muscle fibre lipid contents in halothane-gene free pigs fed high or low protein diets and its relation to meat quality. *Meat Sci.*, 38.269.

Forsberg, N.E., Ilian, M.A., Ali-Bar, A., Cheeke, P.R. et Wehr, N.B. (1989). Effects of cimaterol on rabbit growth and myofibrillar protein degradation and on calcium-dependent proteinase and calpastatin activities in skeletal muscle. *J. Anim. Sci.*, 67, 3313-3321.

Geesink, G.H., Bekhit, A.D. et Bickerstaffe, R. (2000). Rigor temperature and quality characteristics of lamb longissimus muscle. *J. Anim. Sci.*, 78, 2842-2848.

Govindarajan, S. (1973). Fresh meat color. *Critical Reviews in Food Technology*, 4, 117-140.

Guth, L. et Samaha, F.J. (1966). Qualitative differences between actomyosin-ATPase of slow and fast mammalian muscle. *Exp. Neurol*, 25, 138-152.

Higgins, J.A., Lasslett, Y.V., Bardsley, R.G. et Buttery, P.J. (1988). The relation between dietary restriction or clenbuterol treatment on muscle growth and calpain proteinase and calpastatin activities in lambs. *Br. J. Nutr.*, 60, 645-652.

Hocquette, J.F., Ortigues-Marty, I., Damon, M., Herpin, P. et Geay, Y. (2000). Métabolisme énergétique des muscles squelettiques chez les animaux producteurs de viande. *Prod. Anim.*, 13, 185-200.

Horcada, A., Beriain, M. J., Purroy, A., Lizaso, G. et Chasco, J. (1998). Effect of sex on meat quality of Spanish lamb breeds (Lacha and Rasa Aragonesa). *J. Anim. Sci.*, 67, 541-547.

Jaime, I., Beltran, J.A., Cena, P., Lopez-Lorenzo, P. et Roncales, P. (1992). Tenderisation of lamb meat; Effect of rapid postmortem temperature drop on muscle conditioning and aging. *Meat Sci.*, 32, 357-366.

Junquiera, L.C., Carneiro, J. et Long, J.A. (1971). *Histologia Basica*, 2<sup>nd</sup> ed. © by Editôra Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, Brasil.

Kemp, J.D., Mahyuddin, M., Ely, D.G., Fox, J.D. et Moody W.G. (1981). Effect of feeding systems, slaughter weight and sex on organoleptic properties, and fatty acid composition of lamb. *J. Anim. Sci.*, 51, 321-327.

Lane, R.D., Allan, D.M. et Mellgren, R.L. (1992). A comparison of the intracellular distribution of u-calpain, m-calpain, and calpastatin in proliferating human A431 cells. *Exp. Cell. Res.*, 203, 5-16.

Lawrie, R.A. (1966). *Meat Sci.*. Pergamon Press, London.

Larzul, C., Lefaucheur, L., Ecolan, P., Gogué, J., Talmant.A., Sellier, P., Le Roy, P. et Monin, G. (1998). Phenotypic and genetic parameters for longissimus muscle fiber characteristics in relation to growth, carcass, and meat quality traits in large white pigs. *J. Anim. Sci.*, 75, 3126-3137.

Lefaucheur, L. (1989). Les différents types de fibres musculaires chez le porc. *Prod. Anim.*, 2, 205-213.

Lirette, A., Seoane, J.R., Minvielle, F. et Froehlich, D. (1984). Effects of breed and castration on conformation, classification, tissue distribution composition and quality of lamb carcasses. *J. Anim. Sci.*, 58, 6, 1343- 1357.

Macit, M., Vecihi, A., Ebru E., Irfan Aksu, M., Karaoglu, M. et Esenbuga, N. (2003). Effects of vitamin E supplementation on performance and meat quality traits of Morkaraman male lambs. *Meat Sci.*, 63, 51-55.

Marinova, P., Voinova, R., Nedelchev, D. et Pinkas, A. (1983). Study of meat quality of lambs of different breeds and crosses. *Zhivotnov"Dni-Nauki*, 20, 22-27.

Maroteaux, P., Cohen-Solal, L., et Bonaventure, J. (1988). Le collagène et ses désordres constitutionnels. *Ann. Chir.*, 42, 773-777.

Monin, G. (1988). Évolution post mortem du tissu musculaire et conséquences sur les qualités de la viande de porc. *Journées Recherches Porcine en France*, 20, 201-214.

Moody, W.G., Tichenor, D.A., Kemp, J.D. et Fox, J.D. (1970). Effects of weight, castration and rate of gain on muscle fiber and fat cell diameter in two ovine muscles. *J. Anim. Sci.*, 31, 676-680.

Moody, W.G., Kemp, J.D., Mahyuddin, M., Jhonston, D.M. et Ely, D.G. (1980). Effect of feeding systems, Slaughter weight and sex on histological properties of lamb carcasses. *J. Anim. Sci.*, 50, 2.

Murphy, T.A., Lorech, K.E. McClure et Solomon, M.B. (1994). Effects of restricted feeding on growth performance and carcass composition of lambs. *J. Anim. Sci.*, 72, 3131-3137.

Ouali, A. et Talmant, A. (1990). Calpain and calpastatin distribution in bovine, porcine and ovine skeletal muscles. *Meat Sci.*, 28, 331-348.

Ouali, A., Zabari, M., Lacourt, A., Talmant, A., Monin, G., Kopp, J. et Valin, C. (1988). Usefulness of Various Biochemical and Histochemical Characteristics as Indices of Muscle Type in Lamb Carcasses. *Meat Sci.*, 235 – 247.

Perez, B.R., Maino, M., Tomic, G., Mardones, E. et Pokniak, J. (2002). Carcass characteristics and meat quality of Suffolk Down suckling lambs. *Small Rum. Res.*, 44, 233-240.

Peter, J. B., Barnard, R.J., Edgerton, R.V., Gillespie, C.A. et Stempel, K. E. (1972). Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in Guinea pigs and rabbits. *Biochemistry*, 11, 14.

Picard, B., Duris, M.P. et Jurie, C. (1998). Classification of bovine muscle fibres by different histochemical techniques. *J. Histochem.*, 30, 473-479.

Pinkas, A., et Marinova, P. (1986). Colour and metabolic type of muscle fibers of lambs slaughtered at different ages. *Zhivotnov"Dni-Nauki*, 23, 42-46.

Pinkas, A., Marinova, P. et Monin, G. (1983). Influence of age on growth dynamics of muscle fibres, their metabolic type and meat quality in sheep. *Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers*, 1, 140-145.

Pinkas, A., Marinova, P., Tomov, I. et Monin, G. (1982). Influence of age at slaughter, rearing technique and pre-slaughter treatment on some quality traits of lamb meat. *Meat Sci.*, 6, 245-255.

Pommier, S.A., Fahmy, M.H., Poste, L.M. et Butler, G. (1989). Effect of sex, electrical stimulation and conditioning time on carcass and meat characteristics of Romanov lambs. *Food Quality and Preference*, 1, 127-132.

Ponnampalam, E.N., Hosking, B.J. et Egan, A.R. (2003). Rate of carcass components gain, carcass characteristics, and muscle longissimus tenderness in lambs fed dietary protein sources with a low quality roughage diet. *Meat Sci.*, 63, 143-149.

Ponampalam, E.N., Trout, G.R., Sinclair, A.J., Egan, A.R. et Leury, B.J. (2001). Comparison of the color stability and lipid oxidative stability of fresh and vacuum packaged lamb muscle containing omega-3 and omega-6 fatty acid levels from dietary manipulation. *Meat Sci.*, 58, 151-161.

Polidori, P., Lee, S., Kauffman, R.G. et Marsh, B.B. (1999). Low voltage electrical stimulation of lamb carcasses : effects on meat quality. *Meat Sci.*, 53, 179-182.

Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J., Prache, S. et Dransfield, E. (2002). Effect of grass concentrate feeding Systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Sci.*, 62, 179-185.

Prud'hon, M. et Vezinhet, A. (1975). Evolution of various adipose deposits in growing rabbits and sheep. *Anim. Prod.*, 20, 63-70.

Purchas, R.W., Silva Sobrinho, A.G., Garrick, D.J. et Lowe, K.I. (2002). Effect of age at slaughter and sire genotype on fatness, muscularity, and the quality of meat from ram lambs born to Romney ewes. *N. Z. J. Agric. Res.*, 45, 77-86.

Rehfeldt, C., Stickland, N.C., Fiedler, L. et Wegner, J. (1999). Environmental and genetic factors as sources of variation in skeletal muscle fibre number. *Basic Appl. Myol.*, 9, 235-253.

Rehfeldt, C., Fiedler, I, Dietl, G. et Ender, K. (2000). Myogenesis and postnatal skeletal muscle cell growth as influenced by selection. *Livest. Prod. Sci.*, 66, 177-188.

Rowe, R.W.D. (1974). Collagen fiber arrangement in intramuscular connective tissue. Changes associated with muscle shortening and their possible relevance to raw meat toughness measurements. *J. Food Tech.*, 9, 501-508.

Santos Silva, J., Bessa, R.J.B. et Santos Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. 2. Fatty acid composition of meat. *Livest. Prod. Sci.*, 77, 187-194.

Santos Silva, J., Mendes, I.A. et Bessa, R.J.B. (2002). The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs.1. Growth, carcass composition and meat quality. *Livest. Prod. Sci.*, 76, 17-25.

- Sanudo, C., Campo, M.M., Sierra, I., Maria, G.A., Olleta, J.L. et Santolaria, P. (1997). Breed effect on carcass and meat quality of suckling lambs. *Meat Sci.*, 46, 357-365.
- Sanudo, C., Enser, M.E., Campo, M.M., Nute, G.R., Maria, G., Sierra, I. et Wood, J.D. (2000). Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. *Meat Sci.*, 54, 339-346.
- Sanudo, C., Santolaria, M.P., Maria, G., Osorio, M. et Sierra, I. (1996). Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive production Systems. *Meat Sci.*, 42, 195-202.
- Sanudo, C., Sierra, I., Alcalde, M.J., Rota, A. et Osorio, J.C. (1993). Carcass and meat quality in light and medium weight lambs in the breeds Rasa Aragonesa, Lacaune and Sermon Merino. ITEA (Informacion Tecnica Economica Agraria). *Produccion Animal (Espana)*, 89A, 203-214
- Sanudo, C., Sierra, I., Olleta, J.L., Martin, L., Campo, M.M., Santolaria, P., Wood, J.D. et Nute, S.R. (1998). Influence of weaning on carcass quality, fatty acid composition and meat quality in intensive lamb production systems. *J. Anim. Sci.*, 66, 175-187.
- Santos Silva, J., Bessa, R.J.B. et Santos Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lamb. *Livest. Prod. Sci.*, 77, 187-194.
- Sazili, A.Q., Parr, T., Sensky, P.L., Jones, S.W., Bardsley, R.G. et Buttery, P.J. (2005). The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine skeletal muscles. *Meat Sci.*, 69, 17-23.
- Shackelford, S.D., Wheeler, T.L. et Koohmarie, M. (1997). Effect of the Callipyge phenotype and cooking method on tenderness of several major lamb muscle. *J. Anim. Sci.*, 75, 2100-2105.
- Shimokamaki, M., Eldsen, D.F. et Bailey, A.J. (1972). Meat tenderness : age related changes in bovine intramuscular collagen. *J. Food Sci.*, 37, 892-896.
- Sierra, I., Sanudo, C., Olleta, J. L. et Forcada, F. (1988). Apport a l'étude comparative de la qualité de la carcasse et de la viande chez des agneaux légers. 3rd World Congr. Sheep, Beef, Cattle Breeding. Paris, p.513-515.
- Snowder, G.D. et Duckett, S.K. (2003). Evaluation of the South African Dorper as terminal sire breed for growth, carcass, and palatability characteristics. *J. Anim. Sci.*, 81, 368-375.
- Solomon, M.B., Kemp, J.D., Moody, W.G., Ely, D.G. et Fox, J.D. (1980). Effect of breed and slaughter weight on physical, chemical and organoleptic properties of lamb carcasses. *J. Anim. Sci.*, 5, 1103-1107.

Solomon, M.B. et Lynch, G.P. (1988). Biochemical histochemical and palatability characteristics of young ram lambs as affected by diet and electrical stimulation. *J. Anim. Sci.*, 66, 1955-1962.

Suzuki, A. (1971). Histochemical classification of individual skeletal muscle fibers in the sheep. *Jap. J. Zootech. Sci.*, 42, 39-54.

Talmant, A. et Monin, G. (1986). Activities of metabolic and contractile enzymes in 18 bovine muscles. *Meat Sci.*, 18, 23-40

Tamas, V., Serban, M. et Cotrut, M. (1981). *Biochimie medicala veterinara*. Editura didactica si pedagogica, Bucuresti, 597 pp.

Terlouw, E.M.C. (2002). Stress des animaux et qualités de leurs viandes. Rôles du patrimoine génétique et de l'expérience antérieure. *Prod. Anim.*, 15.125-133.

Veiseth, E., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L. et Koohmarie, M. (2004). Factors regulating lamb longissimus tenderness are affected by age at slaughter. *Meat Sci.*, 68, 635-640.

Velasco, S., Caneque, V., Lauzurica, S., Perez, C. et Huidobro, F. (2004). Effect of different feeds on meat quality and fatty acid composition of lambs fattened at pasture. *Meat Sci.*, 66, 457-465.

Vergara, H., Molina, A. et Gallego, L. (1999). Influence of sex and slaughter weight on carcass and meat quality in light and medium weight lambs produced in intensive systems. *Meat Sci.*, 52, 221-226.

Vlaic, A. et Oroian, T.E. (2002). *Elemente de genetica pentru zootehnisti*. Editura Academicpres, 166 pp.

Young, R.B. et Allen, R.E. (1979). Transitions in gene activity during development of muscle fibers. *J. Anim. Sci.*, 48, 837-850.

**Chapitre 3 - INFLUENCE DE LA RACE, DU SEXE ET DU  
POIDS D'ABATTAGE SUR LA QUALITÉ DE LA VIANDE  
D'AGNEAU LOURD QUÉBÉCOIS**

### 3.1. Introduction

Les deux principales raisons les plus couramment évoquées par les consommateurs pour justifier leur refus d'acheter de la viande d'agneau sont l'excès de gras et le faible rendement en viande des coupes commercialisées. Pour les producteurs ovins, la production du type de carcasses recherché fait intervenir plusieurs aspects de la régie, notamment le choix des races et de leurs croisements, l'alimentation, le poids d'abattage. Cependant, le travail de recherche sur l'augmentation du rendement en viande des carcasses doit se faire de concert avec le maintien de la qualité de la viande, critère de premier plan pour le consommateur.

Il existe une grande variabilité des résultats publiés en ce qui concerne les différents facteurs zootechniques qui peuvent influencer la qualité de la viande d'agneau. Dans le cas spécifique du Québec, il n'existe pas d'étude qui se soit attardée à évaluer les effets de différents facteurs d'élevage sur la qualité de viande. Il apparaissait donc pertinent de mener une telle étude surtout dans le contexte où l'industrie ovine québécoise cherche par tous les moyens possibles à se démarquer de la concurrence étrangère. La qualité de la viande fait partie des éléments sur lesquelles la renommée de l'agneau du Québec s'appuie.

Environ 23 races pures sont présentes dans les troupeaux ovins du Québec; les agneaux mis en marché se caractérisent donc par une grande hétérogénéité. Les études sur la qualité de la viande des races utilisées au Québec sont rares et difficiles à transférer directement dans nos élevages étant donné la multitude de facteurs supplémentaires qui affectent les résultats publiés par les autres études (poids d'abattage, alimentation, environnement, etc.).

Concernant le poids d'abattage, les producteurs seraient intéressés à augmenter le poids des agneaux qu'ils vendent pour améliorer le rendement en viande de leur carcasse. Les consommateurs y trouveraient leur compte puisque cette augmentation du poids des carcasses engendre un accroissement de la quantité de viande, notamment de la surface de l'œil de longe. Les éleveurs, pour leur part, en verraient leurs bénéfices augmentés. En effet, économiquement, la production d'agneaux plus lourds permet d'améliorer le nombre de kilogrammes de viande vendus par brebis tout en augmentant que très peu les coûts d'alimentation et de régie. L'intérêt pour l'augmentation du poids des carcasses est

également partagé par les transformateurs qui y voient de plus en plus d'avantages du point de vue de la découpe.

Ainsi, ce projet de recherche avait pour objectif d'évaluer l'effet de la race, du sexe et du poids d'abattage sur certains paramètres de qualité (qualités chimiques et organoleptiques) de la viande d'agneau lourd produite au Québec. Plus spécifiquement, nous avons évalué les différences de qualité de la viande entre des agneaux de race maternelle Dorset et ceux de race paternelle Suffolk, deux races qui sont reconnus pour avoir des patrons de croissance musculaire différents (Thériault et Castonguay, non publiés) et qui sont les races les plus populaires au Québec. Dans l'objectif d'accroître éventuellement le poids d'abattage des agneaux au Québec, qui est autour de 44 kg présentement, nous avons voulu déterminer les variations des paramètres liés à la qualité de la viande d'agneau en fonction du poids d'abattage pour des strates de poids variant entre 41 à 54 kg. Comme les agneaux des deux sexes sont généralement commercialisés, il apparaissait intéressant de valider les résultats sur les deux sexes.

### **3.2. Matériel et Méthodes**

#### **3.2.1. Sélection des agneaux**

À l'automne 2001, 273 brebis (144 Suffolk [SU] et 129 Dorset [DP]) ont été synchronisées, chez 9 producteurs, à l'aide d'éponges vaginales et de PMSG afin de regrouper les agnelages et ainsi produire des agneaux les plus uniformes possible en terme d'âge et de poids au sevrage. Les agneaux ont été sevrés entre 55 et 60 jours d'âge. La sélection finale a été effectuée vers 65 jours d'âge. Grâce à l'information sur le poids au sevrage, le gain moyen quotidien 0-50 jours et la valeur des indices génétiques (ÉPD), 54 agneaux SU (27 mâles et 27 femelles) et 54 agneaux DP (27 mâles et 27 femelles) ont été choisis pour participer à l'expérience.

#### **3.2.2. Logement**

Les agneaux sélectionnés ont été transportés vers la station provinciale d'évaluation des agneaux commerciaux de St-Jean-de-Dieu. À leur entrée en station, ceux-ci ont reçu un

vaccin contre l'entérotoxémie (Covexin 8, Schering-Plough) ainsi qu'un vermifuge (Ivomec, Merial) et ont été pesés une première fois.

### **3.2.3. Traitements**

Les 108 agneaux ont été répartis en fonction de leur sexe (M et F), de leur race (SU et DP) et de leur strate de poids cible à l'abattage : 41-44 kg, 46-49 kg et 51-54 kg. Il s'agit donc d'un dispositif factoriel 2x2x3. Les strates de poids ciblées dans cette expérience représentent les catégories de poids à l'abattage de l'agneau lourd au Québec. Les mâles et les femelles ont été placés dans des parquets séparés (8 agneaux/parc). Dans un même parc, quatre agneaux de chaque race (4 SU et 4 DP) ont été regroupés et à l'intérieur de chaque race, un individu représentant chaque strate de poids d'abattage a été choisi. Les agneaux ont été regroupés de façon à minimiser, à l'intérieur d'un même parquet, les variations de poids au moment de l'entrée en station.

### **3.2.4. Alimentation**

Les agneaux ont reçu une moulée complète cubée « croissance » commerciale (18 % de protéine; énergie métabolisable de 2,76 Mcal/kg) à volonté jusqu'à 35 kg et un concentré « finition » (15 % de protéine; énergie métabolisable de 2,79 Mcal/kg) pour le reste de leur croissance. Un fourrage sec de bonne qualité leur a également été servi à volonté (consommation <10 %). La quantité de concentrés servie par parquet a été mesurée quotidiennement. Les refus de moulée ont été pesés une fois par semaine.

### **3.2.5. Suivi de croissance et abattage**

La pesée des agneaux était effectuée de façon hebdomadaire, chaque mercredi, à l'aide d'une balance électronique. Les agneaux qui avaient atteint leur poids vif d'abattage cible étaient mis à jeun pour une période d'environ 12 h avant leur abattage (le jeudi matin). Une dernière pesée des agneaux était réalisée à l'abattoir avant chaque abattage (poids vif à jeun). Les abattages ont eu lieu à l'abattoir de Luceville, pendant 14 semaines, et ils se sont échelonnés du 9 mai au 15 août.

Au moment de l'abattage, les agneaux étaient d'abord insensibilisés à l'aide d'une décharge électrique puis saignés par sectionnement de la veine jugulaire. Par la suite, la peau était

enlevée, la tête coupée au niveau de la première vertèbre cervicale et les carcasses étaient éviscérées. Chacune des carcasses était pesée à chaud avant d'être placée à une température d'environ 2 °C.

### **3.2.6. Échantillonnage de la viande à l'abattoir**

Dans l'heure suivant l'abattage, un échantillon de muscle (un morceau d'environ 4 cm de long x 2 cm de large x 2 cm profond) a été prélevé dans le longissimus dorsi des demi-carcasses droites, au niveau de la 13<sup>e</sup> côte. L'échantillon a par la suite été découpé en petits blocs carrés d'environ 1 cm<sup>2</sup> chacun. Huit à dix blocs ont été fixés pendant 30 secondes dans de l'isopentane refroidie avec de l'azote liquide. Les échantillons ont ensuite été placés dans des tubes qui ont été enfouis dans de la glace sèche en attendant leur transfert dans un congélateur à -80 °C. Ces échantillons ont servi à la détermination des caractéristiques histo-enzymologiques du muscle. Le reste de l'échantillon de muscle (nécessaire aux analyses de la cinétique enzymatique), soit environ 3 morceaux, a été plongé directement dans l'azote liquide pour environ 30 secondes. Les morceaux ont par la suite été placés dans des tubes, conservés dans de la glace sèche en attendant leur transfert à -80 °C pour l'analyse ultérieure de l'activité enzymatique musculaire.

### **3.2.7. Classification des carcasses**

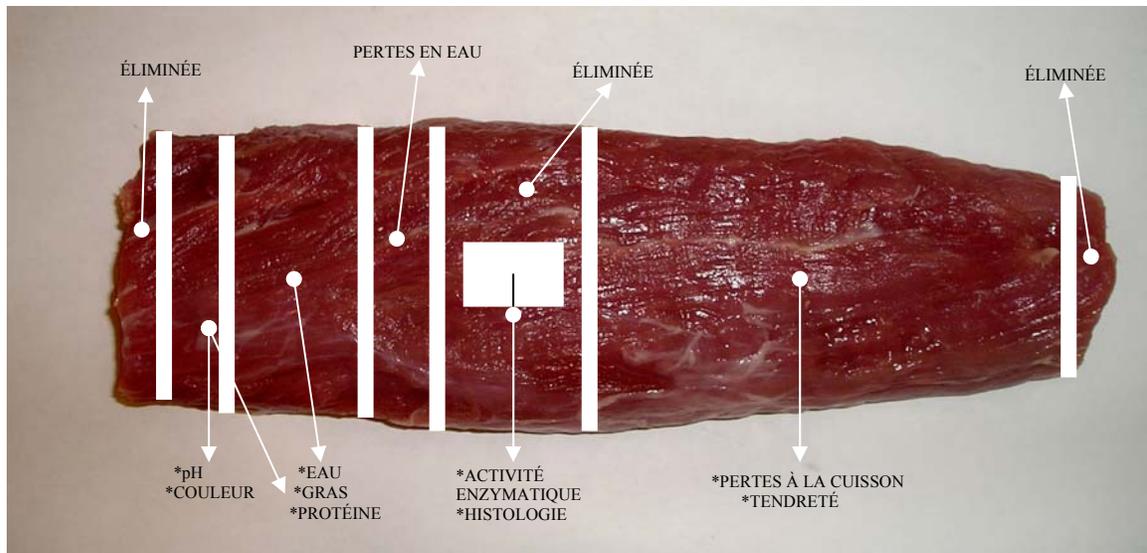
Après 24 heures de refroidissement, les carcasses étaient classifiées, selon la procédure d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (1992), par le classificateur accrédité par la Fédération des producteurs d'agneaux et moutons du Québec. Ce dernier évaluait le développement musculaire des épaules, de la longe et des gigots (cote de conformation variant de 1 à 5; 1 = faible musculature, 5 = forte musculature). Une cote de conformation globale moyenne était ensuite calculée avec les cotes de chacune des parties. Il mesurait également, à l'aide d'une réglette, l'épaisseur totale des tissus à la 12<sup>e</sup> côte à 11 cm de la ligne médiane (mesure « GR »). Cette mesure donne une estimation de l'état d'engraissement de l'animal. La mesure du GR et la cote de conformation permettent d'estimer le rendement en viande vendable de la carcasse (Jones *et al.*, 1996). Le poids de la carcasse froide a également été enregistré.

### 3.2.8. Dissection des carcasses

Le lendemain de l'abattage, après l'étape de la classification, les carcasses ont été séparées en deux parties. Tous les carrés des demi-carcasses droites ont été prélevés, mis sous vide et congelés à -20 °C pour les analyses physico-chimiques de la viande. Les demi-carcasses gauches ont été expédiées au Centre de recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Lennoxville pour y être découpées (découpe primaire et commerciale) et disséquées (% gras, % muscle et % os). Lors de la découpe, des mesures de l'épaisseur du gras dorsal et de la surface (évaluer avec un logiciel d'analyse d'images sur des images de côtelettes numérisés) et de l'épaisseur du longissimus sur une tranche faite entre les 12<sup>e</sup> et 13<sup>e</sup> côtes ont été réalisées. Le longissimus a également été pesé.

### 3.2.9. Caractérisation de la viande

Pour obtenir les échantillons pour les analyses physico-chimiques, les carrés congelés ont été placés pendant 48 h à une température de 1 °C. Suite à la décongélation, le *longissimus dorsi* a été extrait de la pièce et des échantillons de viande ont été prélevés selon la Figure 3.1 pour la réalisation des différentes analyses. Ainsi, une tranche d'environ 3,5 cm a été prélevée pour les analyses de pH et de couleur. Une autre tranche de 2,5 cm d'épaisseur a servi à la détermination de la perte en eau. Une autre partie du muscle, la plus importante, a été utilisée pour les évaluations de la tendreté et les pertes à la cuisson. La partie du muscle utilisée pour la détermination du pH et de la couleur a été lyophilisée pour la réalisation des analyses chimiques (% eau, % gras, % protéines). La Figure 3.1 illustre également l'endroit où les échantillons ont été prélevés à l'abattoir pour les analyses histologiques et enzymatiques.



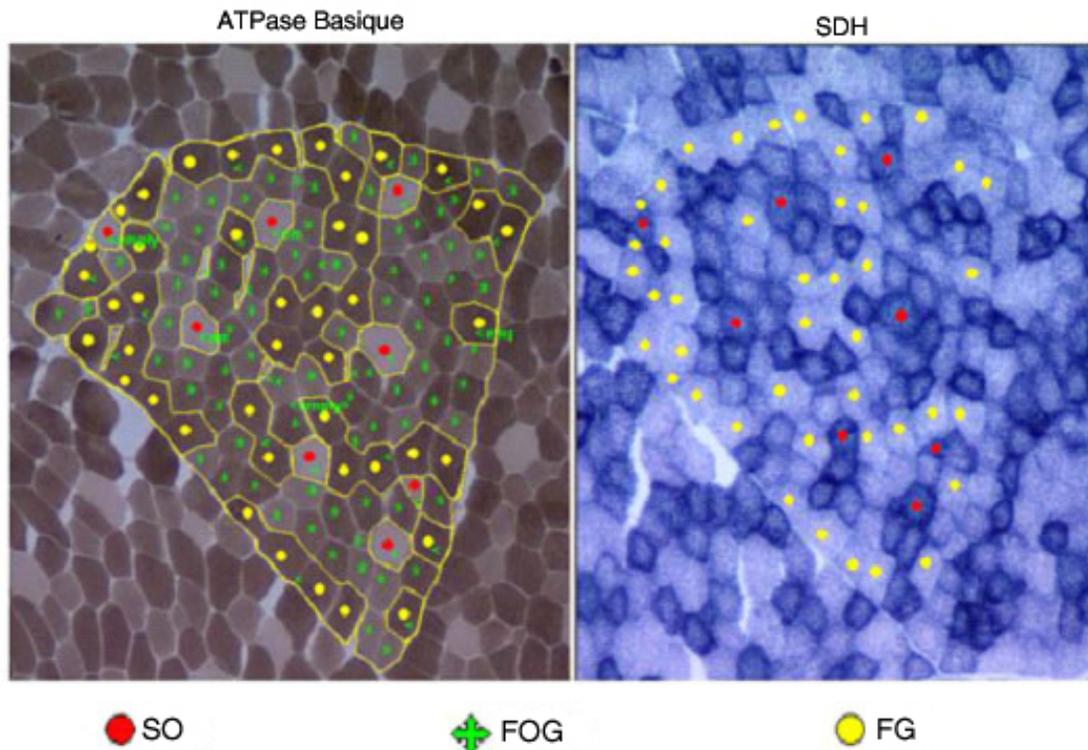
**Figure 3.1. Sites de prélèvements sur le *longissimus dorsi* pour les différentes analyses de qualité de la viande.**

#### 3.2.9.1. Typage des fibres musculaires

Des coupes sériées de 14  $\mu$ m provenant de trois blocs de viande différents pour chaque animal, ont été réalisées à l'aide d'un cryostat modèle 840 (Reichert-Jung, Buffalo, NY, USA). Les coupes ont été colorées pour mettre en évidence l'activité de la succinate déshydrogénase (SDH) et l'ATPase myofibrillaire en milieu basique. Environ 400 fibres musculaires réparties en 2 ou 3 faisceaux/individu ont été observées à l'aide d'un microscope Eclipse (E400, Nikon) muni d'une caméra digitale (model 3.2.0 Diagnostic Instruments) et analysées à l'aide d'un logiciel d'analyse d'images (Image Pro Express 4.5). Le nombre de fibres ainsi que leur taille ont ainsi pu être déterminés (Figure 3.2).

#### *Activité SDH*

La SDH est une enzyme de la paroi interne des mitochondries. Elle catalyse la déshydrogénation de l'acide succinique en acide fumarique dans le cycle de Krebs. Son activité a été mise en évidence en utilisant la méthode de Nachlas *et al.* (1957). Une coloration bleue indique une activité oxydative (Figure 3.2).



**Figure 3.2. Colorations de l'ATPase et de la succinate déshydrogénase**

Pour mettre en évidence l'activité de cette enzyme, les coupes sont incubées pendant 1 h à 37 °C dans un milieu contenant 25 ml de tampon Tris (0,2M; pH 7,4), 0,1 g de NBT (nitrobleu-tetrazolium), 10 ml de  $MgCl_2$  0,05 M, 25 ml de succinate de sodium 1M et 0,5 g de ménadione. Après rinçage dans du sérum physiologique, les coupes sont fixées (15 min) dans une solution aqueuse (5 ml formaldéhyde 40 %, 0,9 g NaCl, complétée à 100 ml avec de l'eau déionisée) et ensuite déshydratées dans des bains successifs d'éthanol (30 %, 50 % et 70 %), puis dans deux solutions éthanol-xylène (3:1; 1:1) et finalement dans du xylène pure. Les coupes sont ensuite montées pour l'observation au microscope.

#### *Activité ATPase*

La mise en évidence de l'activité ATPasique myofibrillaire est basée sur la méthode de Guth et Samaha (1969). Cette méthode permet de distinguer, selon la vitesse de contraction, les fibres lentes des fibres rapides (figure 3.2).

Des coupes sériées sont fixées pendant 5 minutes à la température ambiante dans une solution composée de formaldéhyde (40 %), sodium cacodylate (0,2 M),  $\text{CaCl}_2$  (2 %), sucrose (0,34 M). Après la fixation, les lames sont rincées pendant 1 minute dans une solution Tris-HCl 0,1 M,  $\text{CaCl}_2$  0,18 M, pH = 7,8 et puis sont pré-incubées dans une solution alcaline (pH = 10,4 ajusté avec NaOH 1N pendant 15 min à la température de la pièce afin d'inhiber l'activité ATPasique des fibres oxydatives. La solution de pré-incubation est composée de 2-amino-2-méthyl-1-propanol (1,5 M) et de  $\text{CaCl}_2$  (2 %). Après rinçage dans une solution Tris-Hcl 0,1 M,  $\text{CaCl}_2$  0,18 M, pH=7,8 pendant 1 minute, les coupes sont incubées 45 minutes à 37 °C dans un milieu basique (pH 9,4) contenant de l'ATP (0,14 mM),  $\text{CaCl}_2$  (2 %), du KCl (0,5 M) et de 2amino2methyl1propanol (100 mM). Sous l'action de l'ATPase myofibrillaire, il y a libération d'ions phosphoriques qui précipitent sous forme de phosphate de calcium. Les coupes sont alors plongées dans une solution de  $\text{CaCl}_2$  (1 %) puis incubées dans du  $\text{CoCl}_2$  (2 %) pendant 3 minutes. Le phosphate de calcium est alors transformé en phosphate de cobalt. Après un rinçage dans l'eau déionisée, les coupes sont révélées dans un bain d'ammonium sulfide (1 %) pendant 2 minutes. Le phosphate de cobalt est transformé en sulfure de cobalt noir. Les coupes sont rincées à l'eau distillée puis déshydratées dans des bains successifs d'éthanol (30 %, 50 % et 70 %), puis dans deux solutions éthanol-xylène (3:1; 1:1) et finalement dans du xylène pure. Les lames sont ensuite montées pour l'observation au microscope.

Les fibres ont conséquemment été classifiées selon leur vitesse de contraction et leur activité métabolique en fibres lentes oxydatives (« slow oxidative », SO), rapides oxydo-glycolytiques (« fast oxido-glycolytic », FOG) et rapides glycolytiques (« fast glycolytic » FG).

#### 3.2.9.2. Activité enzymatique

L'activité oxydative du muscle, par la mesure de l'activité de la citrate synthase (CS), ainsi que l'activité glycolytique, mesurée par celle de la lactate déshydrogénase (LDH), ont également été évaluées. Les deux activités enzymatiques étaient mesurées à partir d'un même surnageant dilué, obtenu par centrifugation d'un broyat (environ 500 mg) de viande dans un tampon d'extraction.

### *Activité de la citrate synthase (CS)*

La citrate synthase est localisée dans la matrice mitochondriale, elle caractérise le métabolisme aérobie en catalysant la formation d'oxalate à partir du citrate. La mise en évidence de son activité est basée sur la méthode de Srere (1969).

Les échantillons de muscle congelé à -80 °C (environ 500 mg) sont pesés et broyés pendant 3 minutes dans un tampon d'extraction composé de glycyglycine (63 mM), saccharose (0,5 M), EDTA (6,2 mM), NaF (125 mM) et dithiothreitol (5 mM). Le pH est ajusté à 7,5. L'échantillon de muscle est mélangé au tampon d'extraction en respectant un rapport de 5 ml de tampon d'extraction pour 500 mg de muscle. Le mélange est centrifugé à 3500 rpm à 4 °C pendant 20 minutes. Le surnageant a été conservé. Dans une cuvette à usage unique maintenue à 30 °C, sont ajoutés successivement les produits suivants : 0,05 ml du surnageant dilué en duplicata (1:15) dans du sérum physiologique contenant 1,5 % de BSA, 3,0 ml tampon de réaction [(Tris 0,1 M, EDTA 2,5mM, pH 8,1)], 0,1 ml d'acétyl-CoA , 0,1 ml de DTNB 1 mM et 0,1 ml d'oxaloacétate 10 mM. La variation d'absorption a été mesurée, sur les duplicata, avec l'aide d'un spectrophotomètre Varian Cary 50 (Varian Instruments, Walnut Creek, CA, USA) pendant 5 minutes à une longueur d'onde de 412 nm. Le coefficient d'absorption du DTNB à cette longueur d'onde est 13,6 [l x mol<sup>-1</sup> x cm<sup>-1</sup>]. L'activité enzymatique a été exprimée selon l'équation de Beer-Lambert en UI (µmol d'oxalate transformé en citrate/min/g de viande).

$$\text{Activité}_{CS} \text{ (UI/g)} = (\text{DO/min} \times \text{dilution} \times \text{Vt}) / (\text{Vpd}) \times (\text{L/e}) \times (\text{Ve/m})$$

Où :

- DO/min = la pente (cinétique enzymatique)/min
- dilution = 1:15
- Vt (volume total) = 3,35 ml
- Vpd (volume de la prise d'essai) = 0,05 ml
- L = longueur de la cuvette (1 cm)
- e = le coefficient d'absorption du DTNB (=13,6 [l x mol<sup>-1</sup> x cm<sup>-1</sup>])
- Ve (volume d'extraction) = 5 ml
- m (le poids de viande) en mg

### *Activité de la lactate déshydrogénase (LDH)*

La glycolyse, ou la voie Embden-Mayerhoff-Parnas, représente le processus de la dégradation, dans des conditions anaérobiques, du glucose qui provient du glycogène ou du glucose circulant, ce qui produit de l'acide lactique. Dans le tissu musculaire, ce processus, qui a lieu dans la matrice cellulaire, commence à partir du glycogène et suit 12 étapes, jusqu'à l'acide lactique. La lactate déshydrogénase intervient en réduisant le pyruvate en acide lactique. Pour mettre en évidence l'activité de cette enzyme, la méthode de Bass *et al.* (1969) a été utilisée.

Le même surnageant obtenu lors de la préparation des échantillons pour l'analyse de l'activité de la citrate synthase a été utilisé pour la lactate déshydrogénase. Dans une cuvette à usage unique maintenue à 30 °C, sont ajoutés successivement les réactifs suivants : 3 ml tampon de réaction [triéthanolamine HCL 100 mM; EDTA 5 mM; 2 % MgCl<sub>2</sub>, 0,02 % NADH et pyruvate de Na 2,5 mM], auquel a été ajouté 0,1 ml du surnageant dilué (1:200) dans du sérum physiologique contenant 1,5 % de BSA. La variation d'absorption a été suivie avec l'aide du spectrophotomètre Varian Cary 50 (Varian Instruments, Walnut Creek, CA, USA), sur deux réplicats, pendant 5 minutes à une longueur d'onde de 340 nm. Le coefficient d'absorption du NADH à cette longueur d'onde est 6,22 [l x mmol<sup>-1</sup> x cm<sup>-1</sup>]. L'activité enzymatique a été calculée par l'équation de Beer Lambert en UI (µmol de pyruvate transformé en lactate/min/g de viande).

$$\text{Activité}_{\text{LDH}} (\text{UI/g}) = (\text{DO}/\text{min} \times \text{dilution} \times \text{Vt}) / (\text{Vpd}) \times (\text{L}/\text{e}) \times (\text{Ve}/\text{m})$$

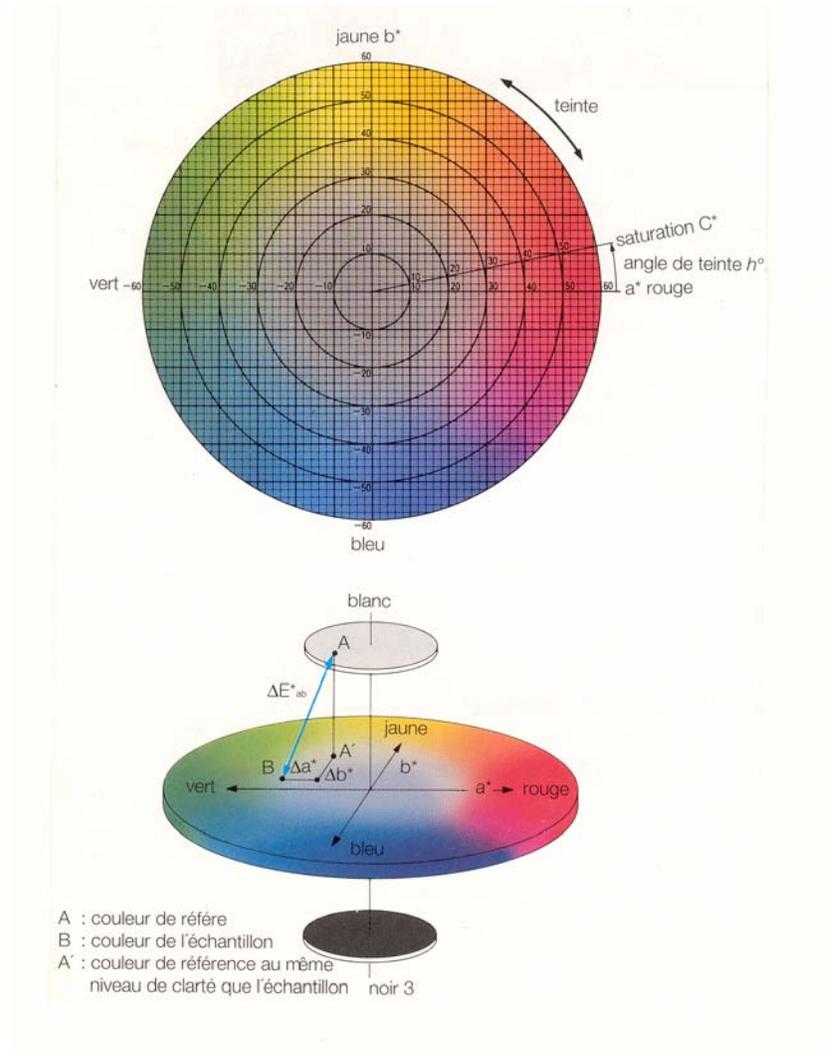
Où :

- DO/min = la pente (cinétique enzymatique)/min
- dilution = 1:200
- Vt (volume total) = 3,1 ml
- Vpd (volume de la prise d'essai) = 0,1 ml
- L = longueur de la cuvette (1 cm)
- e = le coefficient d'absorption du DTNB (=6220[l x mmol<sup>-1</sup> x cm<sup>-1</sup>])
- Ve (volume d'extraction) = 5 ml
- m (le poids de viande) en mg

### 3.2.9.3. Paramètres de qualité

Le pourcentage d'eau de la viande a été calculé à partir du poids perdu par l'échantillon suite à la lyophilisation. Le pourcentage de gras a été obtenu selon la méthode AOAC 991,36 (AOAC, 1995) réalisé en duplicata, par extraction à l'éther de pétrole à l'aide d'un appareil Soxtec System HT 1043 Extraction Unit Tecator (Foss North America Brampton ON, Canada). Le pourcentage de protéines a été déterminé, en 2 répétitions, selon la méthode AOAC 992,15 (AOAC, 1995) par combustion à l'aide d'un appareil de type FP428 (LECO Corporation, St. Joseph, MI, USA).

Une coupe transversale du *longissimus dorsi*, ayant une épaisseur de 3,5 cm, a été utilisée pour la détermination de la couleur et du pH. Après une exposition de 15 minutes à la température de la pièce à 21 °C, les deux paramètres ont été successivement déterminés en trois répétitions. Le pH a été déterminé avec l'aide d'un pH-mètre Accumet Basic AB40 (Fisher Scientific International Inc. Hampton, NH, USA), munie d'une électrode à pénétration pour la viande de type Ingold Metler Toledo. La couleur de la viande a été déterminée avec un colorimètre Minolta CR300 (Minolta Corporation, Ramsey, NJ, USA) selon le système de la Commission Internationale de l'Éclairage (Figure 3.3) en coordonnées rectangulaires :  $L^*$ =clarté,  $a^*$ =la composante chromatique rouge-vert,  $b^*$ =la composante chromatique jaune-bleu. La saturation ( $C^*$ ) était par la suite déterminée en utilisant la formule  $C^*=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ . La teinte ( $h$ ) a aussi été calculée avec la formule  $h=\text{arc tg}(b^*/a^*)$ .



**Figure 3.3. Représentation des composantes de la couleur L\*, a\* et b\* (CIE, 1976)**

Les pertes en eau ont été évaluées à partir d'une quantité définie de viande (environ 9 g) laissée à une température de 4 °C pendant 48 heures dans un contenant spécialement conçu à cette fin (EZ-DripLoss, Boehringer Ingelheim Vetmedica, Sioux Center, IA, USA). Le poids final a permis d'exprimer l'exsudation en pourcentage du poids initial. Pour chaque échantillon de viande, la perte en eau a été déterminée en triplicata.

Pour la mesure des forces de cisaillement, une partie du *longissimus dorsi*, d'une longueur moyenne de 10 cm, a été pesée et emballée sous vide. L'échantillon a ensuite été cuit au fumoir en atmosphère humide (100 %) jusqu'à une température interne de 68 °C. La

température était contrôlée par des thermocouples insérés dans certains morceaux de viande. Après la cuisson, les échantillons ont été conservés pendant 24 heures à 4 °C, puis pesés pour obtenir, par différence, les pertes à la cuisson. Par la suite, des bâtonnets de muscle mesurant 5 cm x 1 cm x 1cm ont été préparés parallèlement à l'axe des fibres. La force de cisaillement transversale des échantillons, caractérisant la tendreté, a été mesurée à l'aide d'un texturomètre TA.XT2i (Texture Technologies, Scarsdale, NY, USA). Ce paramètre a été évalué entre 6 à 9 reprises sur la viande cuite.

### 3.2.10. Analyses statistiques

Quatre agneaux ont eu des problèmes de santé et/ou sont morts en cours d'expérimentation. Des 108 agneaux présents au départ, 104 ont donc terminé l'expérimentation et leurs données ont pu être analysées. Les mesures du GR de 4 agneaux ont été ignorées puisqu'elles dépassaient les 25 mm, limite supérieure de la règle utilisée pour la classification (n = 100). De plus, en raison de la mauvaise qualité de la coupe longitudinale visant à séparer la carcasse en deux, il a été impossible de mesurer précisément l'épaisseur du gras et/ou du *longissimus dorsi* de certaines carcasses. Ainsi, environ 95 agneaux avaient des mesures de tissus sur la carcasse valides. En cours des analyses de laboratoire, certains échantillons ont dû être éliminés. Finalement, la mauvaise qualité de plusieurs coupes histologiques (présence de cristaux de glace) a causé la perte de beaucoup d'informations concernant le typage des fibres.

Les données ont été analysées à l'aide de la procédure GLM de SAS (SAS Institute Inc., 2001). Les trois sources de variation incluses dans le modèle statistique étaient le sexe, la race et le poids d'abattage. Compte tenu qu'un enclos ne contenait que des animaux d'un seul sexe, ce facteur a été testé en utilisant l'enclos comme unité expérimentale. Les deux autres facteurs et toutes les interactions ont été testés en utilisant l'animal comme unité expérimentale. Les interactions sont considérées comme significative à  $P < 0,05$ . Une analyse en composante principale a aussi été effectuée pour permettre d'illustrer les relations existant entre les variables de qualité de la viande avec les divers paramètres de croissance et de qualité des carcasses.

### 3.3. Résultats et Discussion

Les deux premiers tableaux (Tableau 3.1 et Tableau 3.2) présentent les résultats concernant les performances de croissance et la composition des carcasses des agneaux utilisés dans la présente étude. Ces résultats, présentés à titre indicatif, ont été compilés dans le cadre d'un autre projet complémentaire à cette étude sur les effets du sexe, de la race et du poids d'abattage sur la qualité de la viande d'agneau (F. Castonguay, résultats non publiés).

#### 3.3.1. Caractéristiques musculaires du *longissimus dorsi* d'agneau

Le Tableau 3.3 présente l'effet des traitements sur la proportion et la surface des différents types de fibres musculaires. La proportion de fibres (SO) est plus élevée chez les mâles que chez les femelles (8,2 % vs 6,9 %;  $P < 0,05$ ) alors qu'elle est semblable pour les deux races pour tous les poids d'abattage. Les proportions de fibres FOG et FG étaient dépendantes d'interactions Race x Poids ( $P < 0,05$ ) et Race x Sexe ( $P < 0,05$ ).

Le pourcentage de fibres FOG chez les Dorset (DP) a significativement diminué avec l'augmentation du poids d'abattage (64,9, 62,4 à 58,5 % pour les poids d'abattage 41-44, 46-49 et 51-54 kg respectivement,  $P < 0,001$ ) alors qu'il est demeuré relativement constant chez les SU, (56,8, 57,0 et 58,8 % pour les strates 41-44, 46-49 et 51-54 kg, respectivement,  $P < 0,001$ ). Par ailleurs, la proportion de fibres FOG chez les femelles et les mâles DP est demeurée inchangée (61,9 vs 62,0 %, respectivement,  $P < 0,001$ ) alors que chez les SU, les femelles avaient une proportion de fibres FOG plus élevée que les mâles (62,4 vs 52,6 %, respectivement,  $P < 0,001$ ).

Inversement, la population de FG a significativement augmenté avec le poids d'abattage chez les DP (27,7, 30,5 à 34,8 % pour les poids d'abattage 41-44, 46-49 et 51-54 kg, respectivement) alors qu'elle est demeurée relativement semblable chez les SU (35,3, 34,8 et 33,3 % pour les strates 41-44, 46-49 et 51-54 kg, respectivement). Cette observation, mise en commun avec la précédente sur la population des FOG, indique que l'augmentation de la population des FG s'est faite au détriment de celle des FOG. La proportion de fibres FG chez les femelles et les mâles DP était constante (31,7 vs 30,3 %, respectivement), alors

que pour les SU, les femelles avaient une proportion de fibres FG plus faible que les mâles (30,2 vs 38,7 %, respectivement).

Les traitements n'ont par ailleurs eu aucun effet sur la surface des différents types de fibres du *longissimus dorsi*. Les effets observés au niveau de la surface relative des différents types de fibres sont, par conséquent, principalement attribuables aux variations associées à leur distribution.

Indépendamment de l'effet des traitements, le Tableau 3.3 nous indique que le muscle *longissimus dorsi* de l'ensemble des agneaux de ce projet possède une teneur très élevée (>90 %) en fibres à contraction rapide (FOG et FG), ayant un métabolisme glycolytique, par rapport à celles à contraction lente (SO), ayant un métabolisme purement oxydatif. La prédominance des fibres FOG, qualifiées d'intermédiaire quant à leur activité métabolique, y est particulièrement remarquable. Ces fibres ont une vitesse de contraction rapide et dérivent leur énergie autant par la voie oxydative (aérobie) que par la voie glycolytique (anaérobie). Les fibres à vitesse de contraction rapide se retrouvent généralement en plus forte concentration dans les muscles locomoteurs. Le muscle *longissimus* est, pour sa part, généralement reconnu comme étant un muscle postural ayant pour fonction principale l'extension de la colonne vertébrale (Pastea, 1985). La présence d'une très forte teneur en fibres de type rapide dans ce muscle chez l'agneau suggère néanmoins une contribution importante à son activité physique caractéristique. La combinaison de caractéristiques biochimiques et histochimiques ont d'ailleurs permis à Ouali *et al.* (1989) de classifier le *longissimus* d'agneau en tant que muscle oxydo-glycolytique à contraction rapide alors qu'il est reconnu en tant que muscle blanc (glycolytique) chez le porc. Les activités enzymatiques, tant glycolytique qu'oxydative, de ce muscle chez l'agneau ont d'ailleurs la particularité d'être à la fois plus élevées que celle d'autres muscles à prédominance oxydative ou à prédominance glycolytique (Briand *et al.*, 1981a; 1981b). Des distributions variables en ce qui a trait aux trois principaux types de fibres musculaires dans le *longissimus* d'agneau sont toutefois rapportés en littérature. Ainsi, Solomon *et al.*, (1981) ont trouvé, pour un poids de 41 kg, les valeurs suivantes : 7,1 % de fibres SO; 40 % de fibres FOG et 53 % de fibres FG. Pinkas *et al.*, (1982) ont obtenu, pour un poids de 30 kg,

27,6 % de SO, 33,5 % de FOG et 39,9 % de FG. Shackelford et al., (1995) ont trouvé, pour un poids de 43 kg, 15-17 % de fibres SO, 31-30 % de fibres FOG et 53-54 % de fibres FG. Par ailleurs, Carpenter et al., (1996) ont montré, pour des agneaux de 59 kg, 11,7 % de SO, 41,8 % de FOG et 46,5 % de FG. Le ratio fibres lentes/fibres rapides y semble généralement plus élevé que les résultats de la présente étude. Sazili *et al.* (2005) ont toutefois récemment obtenu un ratio de fibres lentes/rapides dans le *longissimus* de l'agneau essentiellement identique (7,5 % SO : 92,5 % FOG + FG) à celui que nous rapportons ici sans toutefois établir de distinction entre les fibres glycolytiques et celles oxydo-glycolytiques.

### 3.3.2. Fibres musculaires et performances de croissance

La croissance d'un muscle est la résultante du nombre de fibres qu'il contient et de la taille individuelle atteinte par chacune d'entre elles durant la croissance de l'animal. Chez le porc, ce nombre est généralement déterminé génétiquement dès la naissance (Lefaucheur, 1989) et est principalement responsable des différences de taille entre les muscles d'une même espèce ou entre des muscles identiques d'espèces différentes.

Dans cette étude, les fibres FOG ont une surface inférieure à celle des deux autres types de fibres (surface moyenne, tous les traitements confondus : 2 352  $\mu\text{m}^2$  pour les SO, 1 796  $\mu\text{m}^2$  pour les FOG et 2 272  $\mu\text{m}^2$  pour les FG;  $P < 0,001$ ). La surface relative qu'elles occupent par rapport à la surface du *longissimus* demeure néanmoins généralement supérieure à celle attribuable aux fibres SO et FG due à leur proportion passablement plus importante que celle de ces dernières. Cette distribution supporte entièrement le caractère rapide et oxydo-glycolytique du *longissimus* d'agneau tel que déterminé par Ouali *et al.* (1988). Les fibres SO ont une taille comparable à celle des fibres FG, mais leur contribution en terme de surface relative n'a guère dépassé 10 % alors que celle attribuable aux fibres FG a varié entre 31 % et 46 % (Tableau 3.3). Il est généralement accepté que les fibres purement oxydatives ou de type I sont plus petites que celles dites intermédiaires ou purement glycolytiques. Moody *et al.* (1980) ont néanmoins également observé à partir de *longissimus* d'agneaux abattus à 41 et 50 kg, des fibres oxydatives de tailles supérieures à celles des deux autres types de fibres. Les fibres typiquement glycolytiques (FG) sont

généralement reconnues pour leur taille et leur vitesse de croissance supérieures à celle des autres types de fibres et on leur attribue généralement une part importante de la croissance musculaire des animaux de boucherie élevés en production intensive (Laville *et al.*, 2002). Dans notre étude, le gain moyen quotidien (GMQ) était positivement corrélé (Tableau 3.5; abréviations au Tableau 3.4) à la teneur (%) et à la surface relative occupée par les fibres SO ( $r = 0,32$ ,  $P < 0,01$  et  $0,28$ ,  $P < 0,05$  respectivement), celles des FG ( $r = 0,32$ ,  $P < 0,01$  et  $0,37$ ,  $P < 0,01$  respectivement) et négativement à celles attribuables aux FOG ( $r = -0,41$ ,  $P < 0,001$  et  $-0,46$ ,  $P < 0,001$ , respectivement). Une augmentation de la proportion de fibres SO et de la surface relative qu'elles occupent dans le *longissimus* est d'ailleurs associée à une réduction de l'âge à l'abattage ( $r = -0,38$ ,  $P < 0,01$  et  $-0,25$ ,  $P < 0,05$ , respectivement) et pourrait traduire le caractère globalement plus oxydatif de l'ensemble des muscles chez l'agneau. D'ailleurs, contrairement aux fibres SO, la contribution positive des fibres FG au GMQ ne se traduit pas au niveau de l'âge à l'abattage ( $r = -0,04$ ). La croissance plus rapide des fibres glycolytiques d'une part mais aussi la maturation également plus rapide du muscle *longissimus* durant la croissance de l'animal, associée à la déposition des autres tissus de la carcasse, sont autant de facteurs susceptibles d'expliquer ces résultats.

L'absence de corrélation entre la surface de l'œil de longe mesurée sur la carcasse avec, à la fois, l'âge à l'abattage ( $r = 0,14$ ) et le GMQ ( $r = 0,01$ ), supporte une croissance radiale hâtive du *longissimus*. D'ailleurs, en comparaison avec le muscle *semitendineux*, Moody *et al.* (1970) ont effectivement observé une croissance plus hâtive du *longissimus* d'agneau. La présence de différence significative au niveau de la surface de l'œil de longe entre les agneaux des deux derniers poids d'abattage comparativement à celle provenant des agneaux de 41-44 kg expliquerait l'effet significatif du poids d'abattage ( $P < 0,001$ ) sur la surface de l'œil de longe (Tableau 3.1). Il n'existe d'ailleurs aucun effet significatif du poids à l'abattage sur la surface moyenne des fibres musculaires (Tableau 3.3). À des poids d'abattage approximatifs de 15, 30 et 38 kg, Klowsowska *et al.* (1998) ont observé une augmentation de la taille des trois types de fibres dans le *longissimus*. Toutefois, en comparant des poids de 32 et 41 kg, Solomon *et al.* (1981) ont observé que seule la taille des fibres SO augmentait au niveau du *longissimus* alors qu'au niveau du semimembraneux un accroissement de la taille des trois types de fibres était observée. Selon Swatland (1984)

le diamètre des fibres musculaires chez l'agneau augmente avec la croissance, et ce diamètre est relié au poids vif de l'animal et à sa masse musculaire seulement s'il est abattu à un stade de croissance incomplet. D'ailleurs, à des poids supérieurs à 45 kg, Moody *et al.* (1970) n'ont observé aucune augmentation de la taille des fibres dans le *longissimus* d'agneau. Cette observation supporte à la fois l'absence d'effet de poids d'abattage sur la taille des fibres ainsi que la non augmentation de la surface de l'œil de longe chez les agneaux abattus au-delà de 45 kg dans notre étude.

Comme le montre le Tableau 3.5, il n'existe aucune relation significative entre la surface totale des fibres et la surface de l'œil de longe ( $r = 0,19$ ). Celle-ci est par contre faiblement mais positivement corrélée au pourcentage de fibres FG ( $r = 0,24$ ,  $P < 0,05$ ) et négativement à la proportion de FOG ( $r = -0,29$ ,  $P < 0,05$ ). Une augmentation au niveau de la surface des FOG tend cependant à augmenter la surface du muscle ( $r = 0,20$ ,  $P < 0,1$ ). Cette observation, associée à la corrélation négative qui existe entre les fibres FOG et FG, supporte le modèle de développement proposé en ce qui a trait au phénomène de dilution mitochondriale obligeant les plus grosses fibres FOG à adopter le métabolisme davantage glycolytique typique des FG. La croissance chez l'agneau serait donc principalement dépendante de l'augmentation rapide et hâtive des fibres glycolytiques (FG) au dépend des fibres SO et FOG pour le *semimembranosus* et *vastus lateralis* (Klosowska *et al.*, 1998; Laville *et al.*, 2002). Dans cette étude, les traitements n'ont eu aucun effet sur le nombre de fibres total du muscle (surface du muscle/taille moyenne des fibres :  $8,1$  vs  $8,6 \times 10^5$  pour les DP et SU;  $8,2$  vs  $8,5 \times 10^5$  pour les femelles et les mâles;  $7,9$  vs  $8,3$  vs  $8,9 \times 10^5$  pour les strates de poids de 41-44, 46-49 et 51-54, respectivement).

Les corrélations suivantes fournissent cependant une meilleure compréhension de la dynamique de croissance du longissimus. En effet, le poids du longissimus augmente avec l'âge ( $r = 0,40$ ,  $P < 0,001$  - donnée non-présentée) et aussi avec le poids d'abattage (effet Poids  $P < 0,001$ , Tableau 3.1). Cette augmentation de poids n'est pas expliquée par une augmentation de gras intramusculaire ( $r = 0,02$ ). Puisque la circonférence du muscle et que la surface des fibres n'augmentent pas non plus avec le poids du muscle (Tableau 3.5), ce dernier s'expliquerait essentiellement par une croissance radiale plus tardive au niveau de la

région lombaire. Tel que présenté par Lawrie (1998), la région thoracique du *longissimus* posséderait en effet une croissance plus hâtive que sa région lombaire. Ce phénomène pourrait s'expliquer par l'ajout de sarcomères à l'extrémité des myofibrilles pour assurer leur croissance longitudinale. Cet ajout contribuerait cependant indirectement à la croissance radiale du muscle de par la position des fibres suivant un angle croissant le long du *longissimus* (c'est-à-dire non parallèle à l'axe du muscle).

Comme pour la taille, les autres caractéristiques des fibres musculaires du *longissimus* ont également été peu influencées par le poids d'abattage (Tableau 3.3). Des interactions significatives Race x Poids au niveau du pourcentage de fibres FOG et FG ne se sont pas traduites sur leur surface relative, sans doute en raison des tailles variables atteintes par les différents types de fibres. Par contre, une interaction hautement significative Race x Sexe a caractérisé la teneur (%) et la surface relative des fibres FOG et FG. Le *longissimus* des mâles SU semblerait globalement plus glycolytique que celui des agneaux des autres groupes comme le traduit l'augmentation de la teneur et de la surface relative des FG au dépend des FOG. Il est à noter que la surface relative occupée par les fibres SO tend à être plus importante, mais non significativement différente, chez les mâles ( $P < 0,1$ ) et serait fort probablement attribuable à la valeur plus élevée des SU. Comparativement aux autres traitements de cette étude, l'apport supérieur des FG en terme de surface relative au niveau du *longissimus* au dépend de celle des FOG traduit certainement le potentiel de croissance supérieur du *longissimus* des mâles SU.

Des corrélations négatives existent entre la proportion des fibres FOG et celle des fibres SO ( $r = -0,35$ ,  $P < 0,003$ ; Tableau 3.6) et FG ( $r = -0,93$ ,  $P < 0,0001$ ). Ces corrélations, de même ordre, prévalent également au niveau des surfaces relatives et sont conséquentes avec la plasticité des fibres musculaires en période post natale. Pour permettre un ajustement fonctionnel des muscles selon les besoins, les fibres musculaires peuvent en effet subir une inter conversion bidirectionnelle selon une séquence  $S0 \leftrightarrow FOG \leftrightarrow FG$  (incluant certains types transitoires) qui serait spécifique à chaque muscle selon sa fonction et sa période de croissance comme le démontre les résultats de Brandsetter *et al.* (1998). Selon ces auteurs, des ajustements surviennent au niveau des deux types contractiles et s'accompagnent de modifications enzymatiques conséquentes et ce, selon un patron spécifique à chaque muscle. La séquence temporelle dans la différenciation post natale de l'activité métabolique

semble étroitement reliée à l'intensité de croissance et à l'allométrie spécifique d'un muscle, la glycolyse étant alors la voie métabolique préférentielle pour fournir l'énergie nécessaire à la croissance. Tel que présenté par Brandsetter *et al.* (1998), la maturation des fibres et l'augmentation rapide de leur taille dilueraient les mitochondries et obligerait la cellule à adopter, via une augmentation rapide des enzymes glycolytiques, un métabolisme plus anaérobie pour rencontrer ses besoins énergétiques. En dépit de leur faible surface relative au niveau du *longissimus*, qui est un muscle métaboliquement intermédiaire, les corrélations entre les fibres SO de ce muscle avec le GMQ et l'âge à l'abattage traduisent, tel que mentionné précédemment, l'apport des fibres lentes à la croissance de l'animal. Une diminution de la vitesse de contraction de certains muscles associée à une efficacité métabolique supérieure leur confèreraient un meilleur degré de résistance à la fatigue en réponse à l'augmentation du poids de l'animal. Suzuki et Cassens (1983) ont d'ailleurs démontré une augmentation graduelle de la taille et du pourcentage des fibres de type SO au dépend principalement des fibres de types FG dans le muscle *serratus ventralis thoracis* responsable du support du tronc au cours de la croissance de l'agneau. Un changement au niveau de l'activité des enzymes et isoenzymes résultant en une transformation du métabolisme glycolytique vers un métabolisme plus oxydatif précéderait la conversion des myosines de type rapide en type lent (Pette, 1984). Une telle variation du métabolisme à l'intérieur de fibres de même type n'a toutefois pas été observé au niveau du *longissimus* et du *serratus ventralis thoracis* de bovin en croissance (Brandsetter *et al.* 1998). La synchronicité entre les modifications métaboliques et contractiles serait spécifique aux différents muscles (Brandsetter, 1998).

### 3.3.3. Activités enzymatiques

Le Tableau 3.7 présente les activités enzymatiques de la CS et de la LDH. L'activité de la CS diminuait avec l'augmentation du poids d'abattage (16,9, 17,8 et 14,9  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  viande pour les strates 41-44, 46-49 et 51-54 kg respectivement;  $P < 0,001$ ). Pour la LDH, son activité était supérieure pour les DP en comparaison des SU (1475 vs 1373  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  viande;  $P < 0,05$ ) et plus élevée chez les femelles que chez les mâles (1507 vs 1342  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  viande;  $P < 0,001$ ).

Les valeurs de LDH dans cette étude variaient de 1 342 à 1 507  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  viande et étaient différentes des valeurs moins élevées (400  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  viande) rapportées par Briand *et al.* (1981), et de celles plus élevées (5 535  $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{g}$  viande) de Ouali *et al.* (1988). Difficile de savoir pourquoi les différentes études arrivent à des écarts si importants dans les valeurs d'activité de la LDH, surtout que les techniques de mesure étaient quasi identiques.

Nos résultats ne révèlent aucune corrélation entre les activités enzymatiques glycolytiques (LDH) ou oxydatives (CS), et les caractéristiques des fibres musculaires du *longissimus* (Tableau 3.6). Une des raisons pouvant expliquer ce résultat pourrait être la forte activité glycolytique et oxydative qui caractérise la population de fibres intermédiaires (FOG) chez l'agneau. La corrélation négative entre l'activité de la LDH et le GMQ ( $r = -0,45$ ,  $P < 0,001$ ) pourrait être attribuable au fort potentiel glycolytique des fibres FOG dans le *longissimus* d'agneau en raison d'une corrélation négative avec le GMQ ( $r = -0,45$ ,  $P < 0,001$ , surface relative). Ces résultats ne sont pas inconsistants compte tenu de la particularité métabolique du *longissimus* d'agneau. Tel que rapporté par Talmant *et al.* (1986), il n'existerait aucune relation directe entre l'activité des enzymes glycolytiques et oxydatives chez cette espèce puisque certains muscles présentent simultanément de fortes activités glycolytiques, ATPasique myofibrillaire et oxydatives. Tel que démontré par Briand *et al.* (1981a), le *longissimus* d'agneau est de type rouge rapide (intermédiaire) et semble plus oxydatif que les muscles rouges lents (oxydatifs) et souvent plus glycolytique que les muscles rapides blancs (glycolytiques) eux-mêmes. Comme le rapporte Lacourt (1985), cité par Talmant *et al.* (1986), un tel effet résulte des caractéristiques individuelles des fibres musculaires : chez l'agneau, les fibres classifiées intermédiaires selon la nomenclature de Ashmore et Doer (1971) possèdent une activité oxydative supérieure à celle des fibres proprement oxydatives. La forte prédominance des fibres FOG chez les animaux de ce projet et leur forte activité métabolique mixte ne semblent donc pas avoir permis l'établissement de corrélations entre les activités enzymatiques et les caractéristiques des fibres musculaires. Il apparaît d'ailleurs difficile d'expliquer l'effet significatif du poids d'abattage sur l'activité de la CS (Tableau 3.7,  $P < 0,001$ ) qui semble davantage réduite chez les agneaux les plus

lourds. L'augmentation du poids d'abattage pourrait ainsi favoriser l'augmentation de la stabilité de la couleur de la viande d'agneau, du moins pour le LD.

La LDH, pour sa part, est significativement plus élevée ( $P < 0,05$ ) chez les DP que chez les SU, les femelles sont aussi plus glycolytique ( $P < 0,001$ ) que les mâles. L'activité de la LDH du *longissimus* est négativement reliée au GMQ ( $r = -0,45$ ,  $P < 0,001$ ) et positivement à l'âge à l'abattage ( $r = 0,44$ ,  $P < 0,001$ ). Ces résultats pourraient s'expliquer par la relation négative entre la population des fibres FOG et les performances de croissance tel que présenté précédemment. Pour sa part, le ratio LDH/CS augmente avec le poids d'abattage ( $r = 0,23$ ,  $P < 0,05$ ) et pourrait traduire un ajustement métabolique non synchronisé avec une transformation au niveau du type de fibres. Kłowska *et al.* (1998) ont indiqué que la croissance chez l'agneau se fait par un changement des fibres SO et FOG en FG et que la différenciation de l'activité enzymatique oxydative et ATPasique semble plus prononcée chez les agneaux les plus lourds.

#### 3.3.4. pH

Les valeurs de pH ne présentaient pas de différence significative entre les sexes, les races et les poids d'abattage (Tableau 3.8). Il a été démontré par plusieurs auteurs que le pH ultime de la viande d'agneau est peu influencé par le sexe et par le génotype (Horcada *et al.*, 1998; de Siqueira *et al.*, 2001; Dransfield *et al.*, 1990). Malgré une augmentation du rapport LDH/CS avec le poids d'abattage ( $r = 0,23$ ;  $P < 0,05$ ) nous n'avons pas observé de changement au niveau du pH de la viande en accord avec les résultats de Solomon *et al.* (1980), Pinkas *et al.* (1981), Sañudo *et al.* (1993) et de Siqueira *et al.* (2001).

#### 3.3.5. Tendreté

La tendreté est le critère de qualité de la viande le plus important pour le consommateur. Les résultats (Tableau 3.8) montrent qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux races à l'étude pour la tendreté du *longissimus dorsi*.

Les résultats des recherches antérieures, pour le même muscle utilisé dans notre travail, mettent en lumière des différences entre certaines races en ce qui concerne la tendreté (Shackelford *et al.*, 2003). Ainsi, le *longissimus* des agneaux issus de béliers Finnsheep, accouplés à des femelles croisées  $\frac{1}{2}$ Columbia $\frac{1}{4}$ Hampshire $\frac{1}{4}$ Suffolk, était plus tendre que celui des agneaux issus de mâles DP ou SU (âge à l'abattage ajusté à 217 jours). Dans cette

étude, aucune différence de tendreté n'a été observée entre les agneaux provenant de béliers SU ou DP. À une moyenne d'âge à l'abattage de 205 jours, Burke *et al.* (2003) trouvaient des différences de tendreté pour le *longissimus thoracis* entre différents génotypes : plus tendre (1,86 kg/1,27 cm) pour les agneaux croisés St-Croix x ½Romanov½St-Croix par rapport aux agneaux Katahdin (3,65 kg/1,27 cm) ou ½Dorper½St-Croix (2,53 kg/1,27 cm). À un poids d'abattage entre 31 et 42 kg, Solomon *et al.* (1980) ont trouvé des différences de tendreté entre certains génotypes. Le *longissimus* des agneaux croisés SU x ½Finnish Landrace½Southdown était plus tendre (3,4 kg/1,27 cm) que celui des agneaux croisés SU x ½SU½Rambouillet (4,0 kg/1,27 cm).

Les forces de cisaillement étaient plus élevées pour la viande de mâles que pour celle des femelles (3,3 et 3,9 kg;  $P < 0,05$ , pour les femelles et les mâles, respectivement). Bien que significatif, un tel écart est peu perceptible par le consommateur. Ceci est en accord avec la majorité des études qui montrent que la viande des mâles est souvent moins tendre (Dawson *et al.*, 2002; Perez *et al.*, 2002). L'augmentation de testostérone, observable chez les mâles dans la période entourant la puberté, aurait comme conséquence la croissance du contenu en collagène et une diminution de la tendreté (Pommier *et al.*, 1989).

Par ailleurs, les forces de cisaillement ont diminué avec l'augmentation du poids d'abattage (3,9, 3,7 et 3,3 kg pour les strates 41-44, 46-49 et 51-54 kg respectivement;  $P < 0,05$ ). Les corrélations établies entre la force de cisaillement et l'âge d'abattage ( $r = -0,31$ ,  $P < 0,01$ ) et avec le poids ( $r = -0,17$ ,  $P < 0,09$ ) étaient également négatives, quoique faibles.

En général, la tendreté de la viande diminue avec l'augmentation de l'âge à l'abattage (Ouali *et al.* 1990), conséquence d'une augmentation du nombre de liens thermorésistants entre les fibres de collagène. Par contre, Horcada (1998) n'observe aucune différence de tendreté de la viande, évaluée par la force de cisaillement, entre les agneaux de races Aragonesa et Lacha abattus à 12, 24 et 36 kg de poids vif. Cependant, Gorraiz *et al.* (1999), cités par Beriain *et al.* (2000), ont trouvé des différences de tendreté, par évaluation dans un test de dégustation fait par un jury, entre des agneaux Lacha et Aragonesa abattus à 12 et 24

kg de poids vif. La viande d'agneaux de 24 kg était plus dure, plus cohésive et plus difficile à avaler que la viande des agneaux alimentés avec du lait.

Ainsi, comme les forces de cisaillement étaient négativement corrélées à l'épaisseur de gras de la carcasse ( $r = -0,28$ ,  $P < 0,01$ ; Tableau 3.5) on peut penser qu'une meilleure isolation des carcasses plus lourdes au cours du refroidissement ait pu diminuer les risques de « cold-shortening » et améliorer la tendreté de la viande. Ce phénomène est largement documenté chez l'agneau et la forte proportion de fibres FOG des animaux de cette étude pourrait accroître leur propension à subir une contraction musculaire lors du refroidissement et ainsi présenter des forces de cisaillement plus élevées. Nous n'avons malheureusement pas mesuré la longueur des sarcomères dans cette étude. Les résultats de Okeudo *et al.* (2005) ont démontré que le taux de refroidissement des carcasses d'agneaux de 32 à 62 kg était négativement corrélé au poids de carcasse, à l'épaisseur de gras dorsal et au gras total. Dans notre étude, les forces de cisaillement étaient également négativement corrélées au pourcentage de gras de la carcasse ( $r = -0,23$ ,  $P < 0,05$ ) et à l'épaisseur de gras mesurée sur la carcasse ( $r = -0,28$ ,  $P < 0,01$ ). Quoiqu'il en soit, les écarts de force de cisaillement observés étaient tous en deçà de 1 kg, la variation minimale pour que le consommateur puisse percevoir une différence de tendreté.

### **3.3.6. Pertes en eau et pertes à la cuisson**

Ces deux paramètres caractérisent le pouvoir de rétention en eau de la viande et influencent la jutosité. Ni le sexe, ni la race, ni même les poids d'abattage n'ont influencé les pertes en eau et à la cuisson (Tableau 3.8).

Les valeurs moyennes obtenues pour les pertes en eau à 41-44 kg dans notre recherche sont en accord avec celles publiées par Solomon *et al.* (1980) pour un poids d'abattage semblable. Quant aux pertes à la cuisson, nos valeurs sont semblables à celles rapportées par Pinkas *et al.* (1981) pour les agneaux abattus à 29,1 et 36,1 kg. Hoffman *et al.* (2003) n'ont pas non plus observé de différence entre les races pour les pertes à la cuisson et en eau.

Il est connu que les valeurs de perte en eau et perte à la cuisson dépendent du pH ultime (Monin, 1988). Comme les valeurs de pH mesurées dans notre étude ne différaient pas

entre les traitements, il apparaît donc logique de ne pas observer de différences significatives pour les pertes à la cuisson et les pertes en eau.

### 3.3.7. Composition chimique

Les proportions d'eau et de gras intramusculaire étaient affectées significativement par le sexe et la race (Tableau 3.8). Ainsi, la viande du *longissimus dorsi* des agneaux mâles comportait plus d'eau et moins de gras comparativement à celle des femelles (72,7 vs 71,2 % d'eau; 2,1 vs 3,1 % gras;  $P < 0,001$ ). En ce qui a trait à l'effet de la race, la viande de DP contenait moins d'eau (71,3 vs 72,5 %;  $P < 0,001$ ) et plus de gras (2,9 vs 2,3;  $P < 0,001$ ) que les SU. Il ne semble pas que ces différences de composition en gras aient eu un impact sur la tendreté de la viande puisque celle-ci était similaire entre les deux races. De plus, il n'y avait pas de corrélation entre les forces de cisaillement et le pourcentage de gras intramusculaire ( $r = -0,09$ ;  $P > 0,05$ , Tableau 3.6).

Dans notre étude, la composition chimique du *longissimus* n'a pas varié en fonction du poids d'abattage. Cette observation est surprenante malgré une corrélation positive entre le pourcentage de gras intramusculaire du *longissimus* et l'âge à l'abattage ( $r = 0,39$ ,  $P < 0,001$ ). Cependant, Pinkas *et al.* (1982) n'ont pas non plus observé de différence de composition en gras pour des agneaux âgés de 22 et 30 semaines (2,5 vs 2,8 %, respectivement).

### 3.3.8. Couleur

La race, le sexe et le poids d'abattage n'ont pas affecté la majorité des composantes de la couleur de la viande (Tableau 3.8). Seulement les valeurs de  $a^*$  et de saturation ont été affectées significativement par la race. Il existait une interaction ( $P < 0,05$ ) entre les facteurs sexe et poids pour la valeur de  $a^*$ , qui s'est également retrouvée dans le calcul de la valeur de saturation. Ces variations n'avaient que peu d'influence pratique sur la couleur de la viande.

Dans notre étude cependant, des corrélations négatives furent obtenues entre les fibres SO et les paramètres de couleur  $a^*$  (rouge) et la saturation alors que ces mêmes paramètres furent positivement reliés aux caractéristiques des fibres FOG, tel qu'indiqué

précédemment. Ce résultat souligne une fois de plus le fort caractère oxydatif de ces dernières et l'importance de les réduire pour améliorer la qualité.

Tel que mentionné précédemment, les fibres FOG sont fortement représentées dans le *longissimus* d'agneau et les résultats précédents démontrent le caractère oxydatif supérieur de ces fibres chez l'agneau comme l'ont démontré Briand *et al.* (1981a). Selon ces auteurs, les muscles rouges rapides de l'agneau, tel le *longissimus*, seraient également plus glycolytiques que les muscles blancs rapides mais aussi plus oxydatifs que les rouges lentes. La réduction du caractère oxydatif de la viande d'agneau via une diminution de la quantité de fibres FOG permettrait sans doute d'accroître la stabilité de la couleur.

La réduction du caractère oxydatif pourrait de plus réduire l'intensité de la saveur de la viande comme l'ont démontré Valin *et al.* (1982). Les résultats de ces auteurs étaient basés sur des muscles ayant toutefois une plus forte concentration de fibres de type SO.

### **3.4. Conclusions & Implications**

D'entrée de jeu, il importe de mentionner que, comparativement aux autres espèces de boucherie, la littérature contient peu d'information en ce qui a trait aux caractéristiques musculaires en relation avec la qualité de la viande chez l'agneau. L'information disponible y est par ailleurs souvent très variable en raison principalement de la variabilité génétique, des muscles et des poids étudiés. L'établissement des relations entre ces caractéristiques musculaires, les performances de croissance et d'engraissement des animaux et les paramètres de qualité de la viande demeure néanmoins important afin d'établir des stratégies efficaces de sélection et de production qui rencontreront les besoins des marchés et des consommateurs.

Les résultats de cette étude suggèrent que le *longissimus dorsi* soit un muscle à maturation rapide puisque sa croissance, en terme de taille des fibres, est déjà arrêtée à 41 kg. Nous n'avons pu établir aucune relation directe entre les types de fibres du muscle *longissimus* et les paramètres zootechniques. Le sexe, la race et le poids d'abattage, compris entre 41 et 54 kg, n'ont pas eu d'effet majeur sur la qualité de la viande d'agneau. Cependant, il ne faut pas oublier que cette étude a été réalisée sur le *longissimus dorsi* qui représente moins de 10

% de la carcasse totale d'un agneau. D'autres études seraient les bienvenues pour valider nos observations sur d'autres muscles d'importance comme le gigot.

En raison de la croissance allométrique des différents muscles, notamment du *longissimus dorsi*, ainsi que du développement et de la croissance des autres tissus à l'intérieur de la carcasse, il faut tirer avec prudence les conclusions issues des observations recueillies à partir du muscle *longissimus*. Il n'en demeure pas moins qu'une sélection axée sur la réduction des fibres FOG au dépend d'une concentration accrue de fibres FG pourrait avoir plusieurs avantages, dont : amélioration du GMQ, augmentation du rendement en viande maigre, réduction de l'intensité de la couleur et amélioration de sa stabilité, réduction probable de l'intensité de la saveur de mouton et diminution du risque de contraction au froid susceptible de faire durcir la viande. Les mâles SU posséderaient à ce titre un avantage supérieur par rapport aux autres agneaux de ce projet.

Pour l'industrie, il ne semble donc pas y avoir de restriction, en terme de qualité de viande, à augmenter le poids de carcasse des agneaux lourds dans l'objectif d'augmenter la marge de profit des producteurs sur les agneaux vendus et de fournir aux consommateurs des découpes possédant plus de viande maigre.

### 3.5. Références

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1992. Règlement sur la classification des carcasses de bétail et de volaille (DORS/92-541). Gazette du Canada, Partie II, 126, 3848.

AOAC (1995). Official methods of analysis, Washington D.C. Association of Official Analytical Chemists.

Apple, J.K., Dikeman, M.E., Minton, J.E., McMurphy, R.M., Fedde, M.R., Leith, D.E. et Unruh, J.A. (1995). Effects of restraint and isolation stress and epidural blockade on endocrine and blood metabolite status, muscle glycogen metabolism, and incidence of dark-cutting longissimus muscle of sheep. J. Anim. Sci., 72, 2295-2307.

Ashmore, C.R. et Doerr, L. (1971). Comparatives aspects of muscle fibers types in different species. Exp. Neurol., 31, 408-418.

Bass, A., Brdiszka, D., Eyer, P., Hofer, S. et Pette, D. (1969). Metabolic differentiation of distinct muscle types at level of enzymatic organization. Eur. J. Biochem., 10, 198-206.

- Beriain, M.J., Horcada, A., Purroy, A., Lizaso, G., Chasco, J. et Mendizabal, J.A. (2000). Characteristics of Lacha and Rasa Aragonesa lambs slaughtered at three live weights. *J. Anim. Sci.*, 78, 3070-3077.
- Brandsetter, A.M., Picard, B. et Geay, Y. (1998). Muscle fiber characteristics in four muscles of growing bulls. I. Post natal differentiation. *Livest. Prod. Sci.*, 53, 15-23.
- Briand, M., Talmant, A., Briand, Y., Monin, G. et Durand, R. (1981a). Metabolic types of muscle in the sheep : I. Myosin ATPase, glycolytic and mitochondrial enzyme activities. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 46, 347-358.
- Briand, M. Talmant, A., Briand, Y., Monin, G. and Durand, R. (1981b). Metabolic Types of Muscle in the Sheep : II. Lactate dehydrogenase activity and LDH isoenzyme distribution. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 46, 359-365.
- Burke, J.M., Apple, J.K., Roberts, W.J., Boger, C.B. et Kegley, E.B. (2003). Effect of breed-type on performance and carcass traits of intensively managed hair sheep. *Meat Sci.*, 63, 309-315.
- Carpenter, C.E., Rice, O.D., Cockett, N.E. et Snowden, G.D. (1996). Histology and composition of muscles from normal and callipyge lambs. *J. Anim. Sci.*, 74, 388-393.
- Dawson, L.E.R., Carson, A.F. et Moss, B.W. (2002). Effects of crossbred ewe genotype and ram genotype on lamb meat quality from the lowland sheep flock. *J. Agric. Sci.*, 139, 195-204.
- Dawson, L.E.R., Carson, A.F., McClinton, L.O.W., Kilpatrick, D.J. et Moss, B.W. (2003). Comparison of the carcass characteristics and meat quality of lambs produced from Texel and Rouge de West ewes and their crosses. *J. Anim. Sci.*, 77, 57-65.
- de Siqueira, E.R., Simões, C.D. et Fernandes, S. (2001). Efeito do Sexo e do Peso ao Abate sobre a Produção de Carne de Cordeiro. I. Velocidade de Crescimento, Caracteres Quantitativos da Carcaça. *Rev. Bras. Zootec.*, 30, 1299-1307.
- Dransfield, E., Nute, G.R., Douglas, B. McDougall et Douglas, N.R. (1979). Effect of sire breed on eating quality of cross-breed lambs. *J. Sci. Food Agr.*, 30, 805-808.
- Esenbuga, N., Yanar, M. et Dayioglu, H. (2001). Physical, chemical and organoleptic properties of ram lamb carcasses from four fat-tailed genotypes. *Small Rum. Res.*, 39, 99-105.
- Hoffman, L.C., Muller, M., Cloete, S.W.P. et Schmid, D. (2003). Comparison of six crossbred lamb types : sensory, physical and nutritional meat quality characteristics. *Meat Sci.*, 65, 1265-1274.

- Horcada, A., Beriain, M. J., Purroy, A., Lizaso, G. et Chasco, J. (1998). Effect of sex on meat quality of Spanish lamb breeds (Lacha and Rasa Aragonesa). *J. Anim. Sci.*, 67, 541-547.
- Jones, S.D.M., W.M. Robertson, M.A. Price et Coupland, T. (1996). The prediction of saleable meat yield in lamb carcasses. *Can. J. Anim. Sci.* 76, 49-53.
- Klowsowska, D., Dankowski, A., Belzerowska, P. et Stepka, D. (1998). Microstructure of longissimus lumborum muscle and selected characteristics of lamb carcass and meat quality. *Polish J. Food Nutr. Sci.*, 48, 493-501
- Laville, A., Bouix, J., Sayd, T., Eychenne, F., Marcq, F., Leroy, P.L., Elsen, J.M. et Bibé, B. (2002). Carcass conformation in lambs. A study of genetic variability among breeds. *Prod. Anim.*, 15, 53-66.
- Lefaucheur, L. (1989). Les différents types de fibres musculaires chez le porc. *Prod. Anim.*, 2, 205-213.
- Moody, W.G., Tichenor, D.A., Kemp, J.D. and Fox, J.D. (1970). Effects of weight, castration and rate of gain on muscle fiber and fat cell diameter in two ovine muscles *J. Anim. Sci.*, 675-680.
- Moody, W.G., Kemp, J.D., Mahyuddin, M., Johnston, D.M. et Ely, D.G. (1980). Effect of feeding systems, slaughter weight and sex on histological properties of lamb carcasses. *J. Anim. Sci.*, 50, 149-256.
- Monin, G. (1988). Évolution post mortem du tissu musculaire et conséquences sur les qualités de la viande de porc. *Journées Recherches Porcine en France*, 20, 201-214.
- Nachlas, M.M., Tsou, K.C., DeSouza, E., Cheng, S.S. et Seligman, A.M. (1957). Cytochemical demonstration of succinic dehydrogenase by the use of a new p-nitrophenyl substituted ditetrazole. *J. Histochem. Cytochem.* 5, 420-436.
- Okeudo, N.J., Moss, B.W. (2005). Interrelationships amongst carcass and meat quality characteristics of sheep. *Meat Sci.*, 69, 1-8.
- Ouali, A. (1991). Sensory quality of meat as affected by muscle biochemistry and modern technologies. *Animal Biotechnology and the Quality of Meat Production*, Fiems, L.O., Cottyn, B.C. and Demeyer, D.I. (eds). Elsevier, Amsterdam, pp. 85-105.
- Ouali, A. et Talmant, A. (1990). Calpain and calpastatin distribution in bovine, porcine and ovine skeletal muscles. *Meat Sci.*, 28, 331-348.
- Ouali, A., Zabari, M., Lacourt, A., Talmant, A., Monin, G., Kopp, J. et Valin, C. (1988). Usefulness of various biochemical and histochemical characteristics as indices of muscle type in lamb carcasses. *Meat Sci.*, 235-247.

Pastea, E. (1985). Anatomia comparata a animalelor domestice. Editura didactica si pedagogica Bucuresti. Vol. 1, 404 pp.

Perez, B.R., Maino, M., Tomic, G., Mardones, E. et Pokniak, J. (2002). Carcass characteristics and meat quality of Suffolk Down suckling lambs. *Small Rum. Res.*, 44, 233-240.

Peter, J.B., Barnard, R.J., Edgerton, V.R., Gillespie, C.A. et Stempel, K.E. (1972). Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in Guinea pigs and rabbits. *Biochemistry*, 11, 2627-2633.

Pette, D. (1984). Activity-induced fast to slow transitions in mammalian muscle. *Medecine and Science in Sports and Exercise*, 16, 517-528

Pinkas, A. et Marinova, P. (1986). Colour and metabolic type of muscle fibers of lambs slaughtered at different ages. *Zhivotnov"Dni-Nauki*, 23, 42-46.

Pinkas, A., Marinova, P., Tomov, I., et Monin, G. (1982). Influence of age at slaughter, rearing technique and pre-slaughter treatment on some quality traits of lamb meat. *Meat Sci.*, 6, 245-255.

Pinkas, A., Valin, C., Nedelchev, D. et Stoyanov, A. (1981). Study on type and diameter of muscle fibers in lambs of some breeds and crosses. *Proceedings of the European Meeting of Meat Research Workers*, I, A20, 76-79.

Pommier, S.A., Fahmy, M.H., Poste, L.M. et Butler, G. (1989). Effect of sex, electrical stimulation and conditioning time on carcass and meat characteristics of Romanov lambs. *Food Quality and Preference*, 1, 127-132.

Renner, M. (1986). Influence des facteurs biologiques et technologiques sur la couleur de la viande bovine. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix. INRA*, 65, 41-45.

Sanudo, C., Campo, M.M., Sierra, I., Maria, G.A., Olleta, J.L. et Santolaria, P. (1997). Breed effect on carcass and meat quality of suckling lambs. *Meat Sci.*, 46, 357-365.

Sanudo, C., Santolaria, M.P., Maria, G., Osorio, M.T. et Sierra, I. (1996). Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive lamb production Systems. *Meat Sci.*, 42, 195-202.

Sanudo, C., Sierra, I., Alcalde, M. J., Rota, A. et Osorio, J.C. (1993). Carcass and meat quality in light and medium weight lambs in the breeds Rasa Aragonesa, Lacaune and Sermon Merino. *ITEA (Informacion Tecnica Economica Agraria). Produccion Animal (Espana)*, 89A, 203-214.

SAS Institute Inc. (2001). SAS User's Guide : Statistics, SAS for Windows, version 8.2, SAS Institute Inc., Cary, NC.

Sazili, A.Q., Parr, T., Sensky, P.L., Jones, S.W., Bardsley, R.G. et Buttery, P.J. (2005). The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine skeletal muscles. *Meat Sci.*, 69, 17-23.

Seideman, S.C. et Grouse, J.D. (1986). The effects of sex condition, genotype and diet on bovine muscle fibre characteristics. *Meat Sci.*, 17, 55-72.

Shackelford, S.D., Wheeler, T.L. et Koohmarie, M. (1995). The effect of in utero exposure of lamb to a  $\beta$ -adrenergic agonist on prenatal and postnatal muscle growth, carcass cutability, and meat tenderness. *J. Anim. Sci.*, 73, 2986-2993.

Shackelford, S.D., Leymaster, K.A., Wheeler, T.L. et Koohmarie, M. (2003). Lamb meat quality progress report number 1. Preliminary results of an evaluation of effects of breed of sire on carcass composition and sensory traits of lamb. <http://sol.marc.usda.gov/>. Page consultée le 2 avril 2005.

Solomon, M.B., Kemp, J.D., Moody, W.G., Ely, D.G. et Fox, J.D. (1980). Effect of breed and slaughter weight on physical, chemical and organoleptic properties of lamb carcasses. *J. Anim. Sci.*, 5, 1103-1107.

Solomon, M.B., Moody, W.G., Kemp, J.D. et Ely, D.G. (1981). Effect of breed, slaughter weight and sex on histological properties of ovine muscle. *J. Anim. Sci.*, 52, 1019-1025.

Srere P.A. (1969). Citrate synthase. Dans : *Methods in enzymology*, Vol. XIII, Citric acid cycle (J.M. Lowenstein, Ed.), Academic Press. New York, p.3-11.

Suzuki, A. et Cassens, R.G. (1983). A histochemical study of myofiber types in the Serratus ventralis thoracis muscle of sheep during growth. *J. Anim. Sci.*, 56, 1447-1458.

Talmant, A. et Monin, G. (1986). Activities of metabolic and contractile enzymes in 18 bovine muscles. *Meat Sci.*, 18, 23-40.

Valin C., Touraille C., Vigneron P., Ashmore C.R. (1982). Prediction of lamb meat quality traits based on muscle biopsy fibre typing. *Meat Sci.*, 6, 257-263.

Tableau 3.1. Performances de croissance en fonction du sexe, de la race et du poids d'abattage des agneaux (LSMEANS).

VARIABLES	FEMELLES						MÂLES						SEM	Effets <sup>2</sup>			
	Dorset			Suffolk			Dorset			Suffolk				S	R	P	X
	41-44 <sup>1</sup> (n=10)	46-49 (n=9)	51-54 (n=9)	41-44 (n=9)	46-49 (n=9)	51-54 (n=9)	41-44 (n=8)	46-49 (n=9)	51-54 (n=8)	41-44 (n=7)	46-49 (n=9)	51-54 (n=8)					
Âge initial (j)	68,4	67,1	66,4	67,7	65,7	66,2	67,1	68,0	66,1	65,4	64,6	66,8	1,2	NS	NS	NS	NS
Pds initial (kg)	22,0	22,4	22,8	26,2	26,4	26,8	24,2	23,8	24,0	26,2	26,9	26,6	1,2	NS	***	NS	SxR
GMQ (kg/j)	341	332	316	444	434	393	442	438	425	544	545	525	24,0	***	***	NS	NS
Âge abattage (j)	140,9	156,4	169,8	115,0	129,3	145,4	118,2	132,4	146,1	103,5	111,9	126,7	4,0	***	***	***	SxR
Pds abattage (kg)	43,2	48,1	52,5	43,7	49,2	53,5	43,7	48,7	53,6	42,4	48,3	53,5	0,6	NS	NS	***	SxR
Pds carcasse (kg)	23,0	25,7	28,4	22,5	25,7	27,9	22,2	24,7	28,1	21,1	24,2	27,1	0,4	***	***	***	NS
Rdt carcasse (%)	53,1	53,5	54,2	51,5	52,4	52,3	50,8	50,7	52,5	49,7	50,2	50,7	0,5	***	***	***	NS
GR (mm)	18,1	21,7	24,0	16,2	17,6	19,1	16,6	14,4	16,4	8,7	12,8	11,8	1,1	***	***	***	SxRxP
Conformation	3,5	3,7	3,9	3,1	3,3	3,4	3,2	3,3	3,4	3,0	3,0	3,0	0,1	***	***	***	NS
Gras dorsal <sup>3</sup> (mm)	7,1	8,6	10,7	6,1	6,5	8,0	5,4	5,9	6,4	3,8	4,0	4,2	0,7	***	***	***	NS
Épaisseur LD <sup>3</sup> (mm)	32,8	33,1	34,8	32,4	34,9	33,5	31,6	33,8	34,9	34,6	34,0	33,9	1,2	NS	NS	*	NS
Surface LD <sup>3</sup> (mm <sup>2</sup> )	1544,4	1612,8	1702,4	1585,7	1720,2	1639,9	1465,8	1665,4	1763,5	1535,7	1668,8	1691,4	74,7	NS	NS	***	NS
Pds LD (g)	565,8	611,1	648,3	538,2	636,6	649,8	531,4	634,0	687,7	507,8	596,9	643,7	19,3	NS	<0,1	***	NS

<sup>1</sup> Strate de poids d'abattage (à jeun), en kilogramme,

<sup>2</sup> S : Sexe; R : Race; P : Poids; X : Interactions.

<sup>3</sup> Épaisseur de gras dorsal et surface et épaisseur du *longissimus dorsi* (LD) mesurées sur la carcasse entre les 12<sup>e</sup> et 13<sup>e</sup> côtes.

\* P < 0,05; \*\* P < 0,01; \*\*\* P < 0,001.

Tableau 3.2. Composition des demi-carcasses en fonction du sexe, de la race et du poids d'abattage des agneaux (LSMEANS).

VARIABLES	FEMELLES						MÂLES						SEM	Effets <sup>2</sup>			
	Dorset			Suffolk			Dorset			Suffolk				S	R	P	X
	41-44 <sup>1</sup> (n=10)	46-49 (n=9)	51-54 (n=9)	41-44 (n=9)	46-49 (n=9)	51-54 (n=9)	41-44 (n=8)	46-49 (n=9)	51-54 (n=8)	41-44 (n=7)	46-49 (n=9)	51-54 (n=8)					
<b>Muscle (g)</b>	5987,6	6594,2	6774,2	5843,2	6722,4	7107,6	5864,9	6747,6	7543,6	5839,4	6669,1	7373,5	138,2	*	NS	***	SxP
<b>Gras Total<sup>3</sup> (g)</b>	3309,4	3970,4	5104,4	2983,7	3501,4	4104,3	2848,6	2864,7	3626,7	2008,1	2485,0	2876,1	166,2	***	***	***	SxP
<b>Gras SC-Inter<sup>4</sup> (g)</b>	2918,4	3434,8	4416,2	2667,9	3084,7	3611,3	2578,6	2557,9	3240,4	1795,6	2219,3	2595,8	144,9	***	***	***	SxP
<b>Os (g)</b>	1838,3	2007,3	1920,9	1923,7	2124,0	2314,4	1928,3	2142,7	2307,9	2146,9	2384,9	2545,9	60,6	***	***	***	NS
<b>Muscle (%)</b>	53,5	52,2	48,9	54,1	54,2	52,2	54,7	57,1	55,7	58,1	57,4	57,4	1,1	***	***	***	SxP
<b>Gras Total<sup>3</sup> (%)</b>	29,5	31,4	36,8	27,5	28,1	30,3	26,7	24,3	26,8	19,8	21,4	22,2	1,3	***	***	***	SxP
<b>Gras SC-Inter<sup>4</sup> (%)</b>	26,0	27,2	31,9	24,6	24,7	26,7	24,1	21,6	23,9	17,7	19,1	20,0	1,1	***	***	***	SxRxP
<b>Os (%)</b>	16,4	15,9	13,9	17,8	17,1	16,9	18,0	18,1	17,1	21,3	20,5	19,8	0,5	***	***	***	NS

<sup>1</sup> Strate de poids d'abattage (à jeun), en kilogramme,

<sup>2</sup> S : Sexe; R : Race; P : Poids; X : Interactions.

<sup>3</sup> Gras total, incluant le gras péri rénal.

<sup>4</sup> Gras sous-cutané et inter musculaire seulement.

\* P < 0,05; \*\* P < 0,01; \*\*\* P < 0,001.

**Tableau 3.3. Proportion et surface des différents types de fibres musculaires du *longissimus dorsi* en fonction du sexe, de la race et du poids d'abattage des agneaux (LSMEANS).**

TYPES <sup>3</sup>	FEMELLES						MÂLES						SEM	Effets <sup>2</sup>			
	Dorset			Suffolk			Dorset			Suffolk				S	R	P	X
	41-44 <sup>1</sup> (n=8)	46-49 (n=6)	51-54 (n=7)	41-44 (n=3)	46-49 (n=5)	51-54 (n=8)	41-44 (n=4)	46-49 (n=8)	51-54 (n=8)	41-44 (n=1)	46-49 (n=4)	51-54 (n=6)					
<b>Proportion (%)</b>																	
<b>SO</b>	6,9	6,5	5,7	6,6	7,8	7,8	7,9	7,7	7,6	9,3	8,7	8,0	2,1	*	0,10	NS	NS
<b>FOG</b>	65,5	61,6	58,7	62,4	62,1	62,8	64,4	63,3	58,4	51,2	51,9	54,7	4,4	***	***	NS	RxP ; RxS
<b>FG</b>	27,6	31,9	35,5	31,0	30,1	29,4	27,8	29,0	34,0	39,5	39,4	37,3	4,1	**	**	NS	RxP ; RxS
<b>Surface (m<sup>2</sup>)</b>																	
<b>SO</b>	2195,6	2702,4	2265,9	2193,2	2313,3	2356,3	1956,5	2477,3	2620,9	2138,4	2266,8	2113,3	673,0	NS	NS	NS	NS
<b>FOG</b>	1769,7	1859,9	1927,5	1838,6	1780,2	1683,1	1746,4	1959,5	1931,9	1620,4	1683,0	1608,1	371,3	NS	0,12	NS	NS
<b>FG</b>	2235,1	2487,9	2069,1	2400,4	2554,7	2196,0	2090,7	2273,6	2415,5	1994,0	2310,0	2122,9	469,7	NS	NS	NS	NS
<b>Totale</b>	1922,9	2120,0	1995,1	2016,7	2037,6	1886,9	1862,8	2087,6	2140,3	1823,4	1975,2	1842,1	384,4	NS	NS	NS	NS
<b>Surface relative (%)</b>																	
<b>SO</b>	7,7	8,3	6,5	6,8	8,7	9,7	8,2	8,9	9,2	10,8	10,1	9,3	2,6	0,06	NS	NS	NS
<b>FOG</b>	60,2	54,4	56,7	56,6	54,5	56,0	60,5	59,3	52,6	45,9	43,9	47,8	5,5	**	***	NS	RxS
<b>FG</b>	32,1	37,4	36,7	36,6	36,8	34,2	31,2	31,8	38,2	43,3	46,0	42,9	5,5	*	**	NS	RxS

<sup>1</sup> Strate de poids d'abattage (à jeun), en kilogramme.

<sup>2</sup> S : Sexe; R : Race; P : Poids; X : Interaction.

<sup>3</sup> Types de fibres musculaires : FR : Fibres rouges (oxydatives); FOG : Fibres intermédiaires (oxydo-glycolytiques); FG : Fibres blanches (glycolytiques).

\* P < 0,05; \*\* P < 0,01; \*\*\* P < 0,001.

**Tableau 3.4. Définitions et abréviations des variables utilisées dans les tableaux des corrélations.**

#	Abréviations	Descriptions
1	SO (%)	Pourcentage de fibres oxydatives (rouges)
2	FOG (%)	Pourcentage de fibres oxydo-glycolytiques (intermédiaires)
3	FG (%)	Pourcentage de fibres glycolytiques (blanches)
4	SOI (%)	Pourcentage de fibres rouges + intermédiaires
5	FGI (%)	Pourcentage de fibres blanches + intermédiaires
6	Surf. SO	Surface des fibres rouges ( $\mu\text{m}^2$ )
7	Surf. FOG	Surface des fibres intermédiaires ( $\mu\text{m}^2$ )
8	Surf. FG	Surface des fibres blanches ( $\mu\text{m}^2$ )
9	Surf. SOI	Surface des fibres rouges + intermédiaires ( $\mu\text{m}^2$ )
10	Surf. FGI	Surface des fibres blanches + intermédiaires ( $\mu\text{m}^2$ )
11	Surf. Total	Surface des fibres totales ( $\mu\text{m}^2$ )
12	Surf. Rel. SO	Surface relative des fibres rouges = $[(\text{SO} (\%) \cdot \text{Surf. SO}) / (\text{Surf. Total})] \times 100$
13	Surf. Rel. FOG	Surface relative des fibres intermédiaires = $[(\text{FOG} (\%) \cdot \text{Surf. FOG}) / (\text{Surf. Total})] \times 100$
14	Surf. Rel. FG	Surface relative des fibres blanches = $[(\text{FG} (\%) \cdot \text{Surf. FG}) / (\text{Surf. Total})] \times 100$
15	Surf. Rel. SOI	Surface relative des fibres rouges + intermédiaires = $[(\text{SOI} (\%) \cdot \text{Surf. SOI}) / (\text{Surf. Total})] \times 100$
16	Surf. Rel. FGI	Surface relative des fibres blanches + intermédiaires = $[(\text{FGI} (\%) \cdot \text{Surf. FGI}) / (\text{Surf. Total})] \times 100$
17	PerteCuisson	Pourcentage de perte à la cuisson
18	PerteEau	Pourcentage de perte en eau
19	Cisaillement	Force de cisaillement (kg/cm)
20	pH	pH (après décongélation)
21	L	L*
22	a	a*
23	b	b*
24	Teinte	Teinte
25	Saturation	Saturation
26	Eau	Pourcentage d'eau de la viande décongelée
27	Gras Intram.	Pourcentage de gras intramusculaire de la viande décongelée
28	Protéine	Pourcentage de protéine de la viande décongelée
29	LDH	LDH (activité glycolytique)
30	CS	CS (activité oxydative)
31	nfibmus	Estimation du nombre de fibres musculaires du longissimus dorsi
	GMQ	Gain moyen quotidien (kg/j)
	Âge	Âge à l'abattage (j)
	Pds	Poids à l'abattage suite à un jeûne d'au moins 12 heures (kg)
	Pds Carc.	Poids de la carcasse froide (kg)
	GR	Épaisseur de tissus total à la 12e côte à 11 cm de la ligne médiane (classification) (mm)
	ÉpGT	Épaisseur de gras dorsal entre la 12e et la 13e côte (mm)
	ÉpMT	Épaisseur de muscle (l.d.) entre la 12e et la 13e côte (mm)
	SurfT	Surface du l.d. entre la 12 <sup>e</sup> et la 13 <sup>e</sup> côte (mm <sup>2</sup> )
	Gras	Quantité totale de gras disséquée (g)
	Muscle	Quantité totale de muscle disséquée (g)
	Pds l.d.	Poids du longissimus dorsi (l.d.) (g)
	%Gras	Pourcentage de gras total disséqué
	%Muscle	Pourcentage de muscle total disséqué

Tableau 3.5. Corrélations entre les paramètres de qualité de viande et ceux de croissance des agneaux.

	GMQ	Age	Pds	Pds Carc.	GR	ÉpGT	SurfT	Gras	Muscle	Pds I.d.	%Gras	%Muscle
n	104	104	104	104	100	97	97	102	104	104	102	102
1 SO (%)	0,32**	-0,38**	0,14	0,05	-0,22	-0,31*	0,17	-0,32**	0,27*	0,22	-0,39**	0,37**
2 FOG (%)	-0,41***	0,18	-0,44***	-0,33**	0,35**	0,23	-0,29*	0,07	-0,40***	-0,21	0,24	-0,22
3 FG (%)	0,32**	-0,04	0,42***	0,33**	-0,29*	-0,13	0,24*	0,05	0,32**	0,14	-0,11	0,09
4 SOI (%)	-0,32**	0,04	-0,42***	-0,33**	0,29*	0,13	-0,24*	-0,05	-0,32**	-0,14	0,11	-0,09
5 FGI (%)	-0,32**	0,38**	-0,14	-0,05	0,22	0,31*	-0,17	0,32**	-0,27*	-0,22	0,39**	-0,37**
6 Surf. SO	-0,12	0,25*	0,11	0,17	0,12	0,07	0,16	0,03	0,27*	0,26*	-0,05	0,13
7 Surf. FOG	-0,19	0,19	0,02	0,12	0,15	0,11	0,20	0,17	0,10	0,28*	0,14	-0,08
8 Surf. FG	-0,03	0,07	0,03	0,08	0,18	0,10	0,08	0,05	0,08	0,18	0,03	-0,04
9 Surf. SOI	-0,16	0,19	0,05	0,15	0,13	0,08	0,22	0,14	0,15	0,31*	0,09	-0,03
10 Surf. FGI	-0,11	0,14	0,05	0,13	0,14	0,10	0,18	0,13	0,12	0,26*	0,09	-0,06
11 Surf. Total	-0,10	0,15	0,07	0,14	0,14	0,09	0,19	0,11	0,15	0,28*	0,06	-0,03
12 Surf. Rel. SO	0,28*	-0,25*	0,22	0,14	-0,18	-0,29*	0,18	-0,32**	0,41***	0,28*	-0,43***	0,46***
13 Surf. Rel. FOG	-0,45***	0,21	-0,41***	-0,27*	0,29*	0,22	-0,19	0,14	-0,37**	-0,14	0,29*	-0,25*
14 Surf. Rel. FG	0,37**	-0,12	0,35**	0,23	-0,24	-0,12	0,12	-0,03	0,23	0,04	-0,14	0,08
15 Surf. Rel. SOI	-0,37**	0,12	-0,35**	-0,23	0,24	0,12	-0,12	0,03	-0,23	-0,04	0,14	-0,08
16 Surf. Rel. FGI	-0,28*	0,25*	-0,22	-0,14	0,18	0,29*	-0,18	0,32**	-0,41***	-0,28*	0,43***	-0,46***
17 PerteCuisson	-0,06	-0,05	-0,18	-0,15	-0,06	-0,01	-0,18	-0,05	-0,18	-0,16	0,02	-0,02
18 PerteEau	-0,18	0,16	0,08	0,14	0,12	0,12	0,08	0,21*	0,00	0,09	0,19	-0,20
19 Cisaillement	0,18	-0,31**	-0,17	-0,20*	-0,21*	-0,28**	-0,26*	-0,25*	-0,14	-0,26*	-0,23*	0,13
20 pH	0,18	-0,13	0,06	0,02	0,02	-0,07	0,06	-0,09	0,10	0,03	-0,13	0,12
21 L*	0,20	-0,25*	-0,16	-0,22*	-0,17	-0,14	-0,19	-0,19	-0,18	-0,18	-0,13	0,07
22 a*	-0,33**	0,30**	-0,01	0,08	0,28**	0,37***	0,04	0,27*	-0,08	0,00	0,30**	-0,27**
23 b*	-0,26*	0,14	-0,13	-0,06	0,16	0,17	-0,13	0,10	-0,15	-0,07	0,17	-0,16
24 Teinte	-0,10	0,01	-0,02	-0,02	-0,03	0,03	-0,16	0,01	-0,05	-0,07	0,03	-0,06
25 Saturation	-0,34**	0,27**	-0,04	0,05	0,28**	0,34**	-0,02	0,25*	-0,11	-0,01	0,30**	-0,27**
26 Eau	0,57***	-0,56***	-0,08	-0,25*	-0,62***	-0,63***	0,01	-0,58***	0,04	-0,09	-0,62***	0,52***
27 Gras Intram.	-0,42***	0,39***	-0,09	0,09	0,59***	0,53***	-0,27*	0,57***	-0,31**	-0,16	0,69***	-0,69***
28 Protéine	-0,23*	0,25*	0,21*	0,25*	0,29**	0,26*	0,13	0,21*	0,22*	0,30**	0,16	-0,07
29 LDH	-0,45***	0,44***	0,22	0,34**	0,41***	0,39***	0,23	0,50***	0,17	0,30**	0,46***	-0,34**
30 CS	-0,10	0,05	-0,19	-0,14	0,07	0,00	0,16	-0,06	-0,08	0,04	0,00	0,06

\* P &lt; 0,05; \*\* P &lt; 0,01; \*\*\* P &lt; 0,001.

Tableau 3.6. Corrélations entre les paramètres de qualité de viande des agneaux.

Variables	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n		68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
SO (%)	1	1,00									
FOG (%)	2	-0,35**	1,00								
FG (%)	3	-0,01	-0,93***	1,00							
SOI (%)	4	0,01	0,93***	-1,00***	1,00						
FGI (%)	5	-1,00***	0,35**	0,01	-0,01	1,00					
Surf. SO	6	-0,14	0,07	-0,02	0,02	0,14	1,00				
Surf. FOG	7	0,01	0,13	-0,15	0,15	-0,01	0,62***	1,00			
Surf. FG	8	0,12	0,12	-0,18	0,18	-0,12	0,53***	0,68***	1,00		
Surf. SOI	9	0,04	0,09	-0,11	0,11	-0,02	0,72***	0,99***	0,70***	1,00	
Surf. FGI	10	0,06	0,06	-0,09	0,11	-0,06	0,64***	0,94***	0,88***	0,94***	1,00
Surf. Total	11	0,06	0,05	-0,08	0,08	-0,06	0,71***	0,94***	0,87***	0,95***	1,00***
Surf. Rel. SO	12	0,83***	-0,34**	0,04	-0,04	-0,83***	0,26*	-0,01	0,04	0,09	0,01
Surf. Rel. FOG	13	-0,33**	0,87***	-0,81***	0,81***	0,33**	0,01	0,29*	-0,09	0,22	0,07
Surf. Rel. FG	14	0,02	-0,80***	0,85***	-0,85***	-0,02	-0,12	-0,30*	0,08	-0,27*	-0,08
Surf. Rel. SOI	15	-0,02	0,80***	-0,85***	0,85***	0,02	0,12	0,30*	-0,08	0,27*	0,08
Surf. Rel. FGI	16	-0,83***	0,34**	-0,04	0,04	0,83***	-0,27*	0,01	-0,04	-0,09	0,01
PerteCuisson	17	-0,17	-0,01	0,08	-0,08	0,17	0,05	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03
PerteEau	18	-0,34**	-0,07	0,22	-0,22	0,34**	-0,05	-0,07	-0,12	-0,08	-0,09
Cisaillement	19	-0,08	-0,08	0,12	-0,12	0,08	-0,04	-0,06	-0,06	-0,06	-0,04
pH	20	0,21	-0,10	0,03	-0,03	-0,21	0,18	0,00	0,05	0,05	0,03
L*	21	-0,02	0,07	-0,06	0,06	0,02	-0,23	-0,05	-0,03	-0,08	-0,06
a*	22	-0,30*	0,31*	-0,21	0,21	0,30*	0,06	0,13	0,10	0,11	0,11
b*	23	-0,23	0,41***	-0,35**	0,35**	0,23	-0,17	-0,03	-0,02	-0,07	-0,06
Teinte	24	-0,04	-0,05	0,07	-0,07	0,04	-0,20	-0,12	-0,11	-0,15	-0,12
Saturation	25	-0,32*	0,38**	-0,28*	0,28*	0,32*	0,00	0,10	0,08	0,07	0,07
Eau	26	0,20	-0,28*	0,22	-0,22	-0,20	-0,11	-0,13	-0,17	-0,11	-0,14
Gras Intram.	27	-0,33**	0,27*	-0,16	0,16	0,33**	0,02	0,11	0,22	0,07	0,16
Protéine	28	0,10	0,05	-0,09	0,09	-0,10	0,04	0,03	0,10	0,04	0,06
LDH	29	-0,10	0,17	-0,14	0,14	0,10	0,19	0,18	0,22	0,18	0,20
CS	30	-0,07	0,04	-0,02	0,02	0,07	0,13	-0,03	0,15	0,00	0,05
nfibmus	31	0,05	-0,23	0,23	-0,23	-0,05	-0,56***	-0,74***	-0,75***	-0,74***	-0,80***

\* P &lt; 0,05; \*\* P &lt; 0,01; \*\*\* P &lt; 0,001.

Tableau 3.6 (suite). Corrélations entre les paramètres de qualité de viande des agneaux.

Variables	#	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n		68	68	68	68	68	68	94	95	95	95
SO (%)	1										
FOG (%)	2										
FG (%)	3										
SOI (%)	4										
FGI (%)	5										
Surf. SO	6										
Surf. FOG	7										
Surf. FG	8										
Surf. SOI	9										
Surf. FGI	10										
Surf. Total	11	1,00									
Surf. Rel. SO	12	0,07	1,00								
Surf. Rel. FOG	13	0,06	-0,36**	1,00							
Surf. Rel. FG	14	-0,09	-0,02	0,93***	1,00						
Surf. Rel. SOI	15	0,09	0,02	0,93***	-1,00***	1,00					
Surf. Rel. FGI	16	-0,07	-1,00***	0,36**	0,02	-0,02	1,00				
PerteCuisson	17	-0,02	-0,08	-0,02	0,05	-0,05	0,08	1,00			
PerteEau	18	-0,10	-0,32**	-0,03	0,17	-0,17	0,32**	0,36***	1,00		
Cisaillement	19	-0,05	-0,11	-0,06	0,11	-0,11	0,11	0,04	0,30**	1,00	
pH	20	0,05	0,29*	-0,14	0,03	-0,03	-0,29*	-0,10	-0,23*	0,11	1,00
L*	21	-0,08	-0,13	0,07	-0,02	0,02	0,13	0,05	0,03	0,01	-0,26*
a*	22	0,10	-0,28*	0,30*	-0,20	0,20	0,28*	0,20	0,15	-0,19	-0,22*
b*	23	-0,08	-0,30*	0,37**	-0,28*	0,28*	0,30*	-0,01	0,03	-0,22*	-0,33**
Teinte	24	-0,14	-0,12	-0,04	0,09	-0,09	0,12	-0,20	0,07	-0,07	-0,22*
Saturation	25	0,06	-0,32**	0,36**	-0,25*	0,25*	0,32**	0,15	0,13	-0,22*	-0,27*
Eau	26	-0,13	0,19	-0,23	0,16	-0,16	-0,19	0,02	-0,03	0,25*	0,19
Gras Intram.	27	0,13	-0,39**	0,19	-0,03	0,03	0,39**	0,04	0,12	-0,09	-0,13
Protéine	28	0,06	0,11	0,00	-0,05	0,05	-0,11	0,03	0,04	-0,09	-0,08
LDH	29	0,20	-0,06	0,12	-0,11	0,11	0,06	-0,14	-0,06	-0,17	0,06
CS	30	0,06	-0,01	-0,09	0,10	-0,10	0,01	-0,02	0,01	-0,22	-0,09
nfibmus	31	-0,80***	0,04	-0,17	0,16	-0,16	-0,04	-0,11	0,11	-0,04	0,09

\* P &lt; 0,05; \*\* P &lt; 0,01; \*\*\* P &lt; 0,001.

Tableau 3.6 (suite). Corrélations entre les paramètres de qualité de viande des agneaux.

Variables	#	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
n		90	90	90	90	90	90	88	90	75	100	66
SO (%)	1											
FOG (%)	2											
FG (%)	3											
SOI (%)	4											
FGI (%)	5											
Surf. SO	6											
Surf. FOG	7											
Surf. FG	8											
Surf. SOI	9											
Surf. FGI	10											
Surf. Total	11											
Surf. Rel. SO	12											
Surf. Rel. FOG	13											
Surf. Rel. FG	14											
Surf. Rel. SOI	15											
Surf. Rel. FGI	16											
PerteCuisson	17											
PerteEau	18											
Cisaillement	19											
pH	20											
L*	21	1,00										
a*	22	0,31**	1,00									
b*	23	0,70***	0,71***	1,00								
Teinte	24	0,57***	0,11	0,54***	1,00							
Saturation	25	0,46***	0,97***	0,86***	0,25*	1,00						
Eau	26	0,04	-0,29**	-0,32**	-0,16	-0,33**	1,00					
Gras Intram.	27	0,10	0,33**	0,26*	0,13	0,34**	0,65***	1,00				
Protéine	28	-0,18	-0,13	-0,03	0,02	-0,10	-0,43***	-0,06	1,00			
LDH	29	-0,10	0,22	0,08	-0,06	0,20	-0,27*	0,16	0,17	1,00		
CS	30	0,07	0,16	0,15	0,11	0,17	-0,17	0,03	0,04	0,16	1,00	
nfibmus	31	-0,05	-0,12	-0,07	0,02	-0,12	0,15	-0,30*	0,08	0,03	0,04	1,00

\* P &lt; 0,05; \*\* P &lt; 0,01; \*\*\* P &lt; 0,001.

**Tableau 3.7. Activité enzymatique de la viande du *longissimus dorsi* en fonction du sexe, de la race et du poids d'abattage des agneaux (LSMEANS).**

VARIABLES <sup>3</sup>	FEMELLES						MÂLES						SEM	Effets <sup>2</sup>			
	Dorset			Suffolk			Dorset			Suffolk				S	R	P	X
	41-44 <sup>1</sup>	46-49	51-54	41-44	46-49	51-54	41-44	46-49	51-54	41-44	46-49	51-54					
(n=10)	(n=8)	(n=8)	(n=8)	(n=9)	(n=8)	(n=8)	(n=9)	(n=8)	(n=7)	(n=9)	(n=8)						
<b>CS</b>	17,34	19,61	15,21	17,06	17,70	15,14	17,40	17,16	14,34	15,75	16,56	14,89	1,36	0,09	NS	***	NS
<b>LDH</b>	1453,4	1510,7	1586,0	1492,1	1601,9	1394,7	1365,7	1424,7	1511,7	1231,8	1128,5	1386,3	96,6	***	*	NS	NS
<b>LDH : CS</b>	83,5	76,0	98,3	96,1	89,9	66,0	84,1	89,8	106,3	79,8	66,9	96,8	15,0	NS	NS	NS	NS

<sup>1</sup> Strate de poids d'abattage (à jeun), en kilogramme.

<sup>2</sup> S : Sexe; R : Race; P : Poids; X : Interaction.

<sup>3</sup> CS : Citrate synthase, LDH : Lactate déshydrogénase; L'activité est exprimée en unité internationale soit en µmole de substrat transformé par minute et par ml.

\* P < 0,05; \*\* P < 0,01; \*\*\* P < 0,001.

Tableau 3.8. Qualité de la viande du *longissimus dorsi* en fonction du sexe, de la race et du poids d'abattage des agneaux (LSMEANS).

VARIABLES	FEMELLES						MÂLES						SEM	Effets <sup>2</sup>			
	Dorset			Suffolk			Dorset			Suffolk				S	R	P	X
	41-44 <sup>1</sup> (n=10)	46-49 (n=9)	51-54 (n=8)	41-44 (n=9)	46-49 (n=8)	51-54 (n=9)	41-44 (n=7)	46-49 (n=8)	51-54 (n=8)	41-44 (n=5)	46-49 (n=6)	51-54 (n=8)					
<b>pH</b>	5,51	5,48	5,48	5,59	5,58	5,52	5,52	5,61	5,57	5,48	5,56	5,54	0,06	NS	NS	NS	RxS
<b>Force de cisaillement (kg)</b>	2,7	3,9	3,2	4,1	3,2	3,0	4,2	3,6	3,4	4,6	4,0	3,6	0,4	*	NS	*	NS
<b>Perte cuisson (%)</b>	24,8	25,4	26,2	26,2	25,4	22,9	26,4	25,2	23,9	25,3	26,0	24,8	1,3	NS	NS	NS	NS
<b>Perte en eau (%)</b>	5,2	8,6	9,4	7,8	8,2	7,8	7,4	5,7	6,6	8,4	7,0	6,6	1,6	NS	NS	NS	NS
<b>Eau (%)</b>	71,0	70,3	70,6	72,0	71,9	71,3	72,3	72,1	71,6	73,6	73,0	73,4	0,5	***	***	NS	NS
<b>Gras Intram. (%)</b>	3,5	3,2	3,5	2,6	3,1	2,7	2,7	2,1	2,4	1,8	1,4	2,0	0,4	***	***	NS	NS
<b>Protéine (%)</b>	22,6	23,0	22,3	22,6	22,3	22,8	22,1	22,1	22,9	21,6	22,1	22,4	0,3	NS	NS	0,11	SxP
<b>a*</b>	18,9	19,4	20,1	18,0	20,1	18,6	19,1	18,7	18,4	18,7	16,7	17,0	0,8	0,07	**	NS	SxP
<b>b*</b>	10,5	9,5	9,7	8,2	11,1	9,7	9,9	9,0	8,9	9,6	8,0	7,8	0,8	*	NS	NS	RxSxP
<b>L*</b>	40,2	37,4	39,4	38,2	42,4	38,9	40,8	39,1	38,4	41,9	40,3	39,4	1,3	NS	NS	NS	NS
<b>Teinte</b>	0,45	0,44	0,45	0,43	0,51	0,48	0,47	0,45	0,45	0,48	0,44	0,43	0,04	NS	NS	NS	NS
<b>Saturation</b>	21,6	21,7	22,3	19,8	23,0	21,0	21,6	20,7	20,5	20,7	18,6	18,7	0,9	*	**	NS	SxP

<sup>1</sup> Strate de poids d'abattage (à jeun), en kilogramme,<sup>2</sup> S : Sexe; R : Race; P : Poids; X : Interactions.

\* P &lt; 0,05; \*\* P &lt; 0,01; \*\*\* P &lt; 0,001.

