ÉRIC POULIOT

IMPACT DE L'ENVIRONNEMENT D'ÉLEVAGE DURANT LA PÉRIODE HIVERNALE SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITÉ DE LA VIANDE DES AGNEAUX LOURDS

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 DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2007

RÉSUMÉ COURT

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'impact de l'environnement d'élevage durant la période hivernale sur les performances de croissance et la qualité de la viande des agneaux lourds. Soixante-quatre agneaux de race Dorset (32 mâles et 32 femelles) ont été élevés dans deux environnements d'élevage (bergerie tempérée 10,9 °C ± 0,70 ou bergerie froide -2,0 °C ± 5,16) jusqu'à un poids d'abattage de 41-45 kg pour les femelles et 46-50 kg pour les mâles. Aucun impact négatif de l'élevage sous l'environnement froid n'a été observé au niveau de la croissance ni de la qualité de carcasse. Au niveau musculaire, l'élevage sous l'environnement froid a influencé la proportion des fibres composant le *longissimus dorsi* en faveur des fibres oxydo-glycolytique. Finalement, l'environnement d'élevage n'a eu qu'un faible impact sur la qualité de la viande, l'environnement froid favorisant la jutosité perçue par les dégustateurs.

AVANT-PROPOS

Une étape importante de ma formation se termine avec la rédaction de ce mémoire. Trois années se sont écoulées depuis que j'ai entrepris des études graduées, années durant lesquelles j'ai énormément évolué tant sur le plan professionnel que personnel. Tout ce cheminement n'aurait pu être possible sans la contribution de nombreuses personnes. Cet avant-propos leur rend hommage.

Je tiens d'abord à remercier Dr François Castonguay, chercheur en reproduction ovine d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), qui, à titre de directeur de maîtrise, a apporté la rigueur, le professionnalisme et l'encadrement nécessaire à la réussite de ce projet. Je tiens aussi à remercier l'homme derrière le chercheur qui, avec patience et passion, m'a aidé à grandir non seulement en tant que « futur » chercheur, mais aussi en tant que personne. Merci pour tout François.

Merci également à mon codirecteur, Dr Claude Gariépy, chercheur en qualité des viandes au Centre de recherche et de développement sur les aliments (CRDA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Saint-Hyacinthe qui a su apporter le soutien nécessaire à mon cheminement et me transmettre sa passion pour la science des viandes. Merci Claude pour toutes ces 15 minutes sur le pas de la porte qui se sont transformées en quelques heures de discussions et d'échanges enrichissantes sur cette science.

Mille mercis à Mireille Thériault, professionnelle de recherche à AAC en poste à l'Université Laval sans qui je n'aurais jamais pu mener à bien ce projet dans un « délai raisonnable ». Merci Mireille pour ta patience et ta dévotion. Merci de m'avoir permis d'entrer dans ton bureau 12 fois par jour et d'avoir pris le temps de répondre à mes questions, sourire aux lèvres.

Merci à Catherine Avezard, professionnelle de recherche au CRDA, pour m'avoir accueilli et guidé si gentiment au laboratoire. Merci d'avoir pris le temps de répondre à mes questions afin de me permettre de bien comprendre les différentes expériences.

Merci à tous les professionnels et à tout le personnel du Centre d'expertise en production ovine du Québec (CEPOQ) pour votre participation si précieuse à ce projet. Au plaisir de retravailler ensemble dans un futur vraiment pas si lointain.

Merci à Christian Bernier et Marie-Claude Parisé de Sélection BERARC pour votre collaboration, mais surtout pour votre intérêt pour la qualité de la viande. Ce projet ne fut que le début de nombreuses collaborations, je crois. Merci également aux bouchers Hervé Marquet et Daniel Rochon pour votre gentillesse et votre aide ainsi qu'aux responsables de l'abattoir Pouliot de Saint-Henri-de-Lévis.

Merci à Jacinthe Fortin et Nathalie Durand du Centre de recherche et de développement sur les aliments d'avoir réalisé la partie sensorielle du projet. Merci également aux statisticiens Steve Méthot et Claude Laberge pour leur aide et leurs conseils.

Merci au Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) de m'avoir octroyé une bourse de maîtrise. Votre soutien financier a été plus que précieux. Merci au Conseil de développement de l'agriculture du Québec (CDAQ) pour le soutien financier de ce projet. Sans votre contribution, le projet n'aurait pas été possible et je n'aurais pas eu la chance de découvrir la science qui me passionne désormais. Merci à Agribrands Purina Canada d'avoir fourni la moulée nécessaire à la croissance des agneaux. Une telle collaboration a été fort appréciée.

Merci à tous les professionnels, à tout le personnel et à tous les étudiants du Département des sciences animales qui ont contribué de près ou de loin à mon cheminement.

Finalement, je tiens à remercier ma mère, Lisette Armstrong, qui est décédée le 1^{er} mars dernier après avoir lutté pendant près de 30 ans contre la sclérose en plaque. Merci pour ton courage, ton amour et tout ce que tu m'as appris sans le savoir. Ton combat a été une source d'inspiration et m'a permis de traverser les moments difficiles auxquels j'ai fait face. Tu es pour beaucoup dans cette réussite.

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	E COUR	T	II
AVANT-	PROPOS	S	III
TABLE I	DES MA	TIERES	V
LISTE D	ES TABI	LEAUX	VIII
LISTE D	ES FIGU	URES	IX
CHAPI	TRE 1.	. Introduction	10
CHAPI'	TRE 2.	. REVUE DES TRAVAUX ANTERIEURS	12
2.1.	LE MU	JSCLE	12
	2.1.1.	Tissu musculaire	12
		2.1.1.1. Structure générale	
		2.1.1.2. La fibre musculaire	
		2.1.1.3. Types de fibres musculaires	
		2.1.1.4. Métabolisme et activité enzymatique	
		2.1.1.5. Muscle chez l'ovin	
	2.1.2.	f	
		2.1.2.1. Généralités	
		2.1.2.2. Types de gras	
		2.1.2.3. Lieu de déposition	
		2.1.2.5. Types de muscles ou de fibres	
	2.1.3.		
	2.1.5.	2.1.3.1. Rigor mortis	
		2.1.3.2. Maturation	
2.2.	La ou	JALITE DE LA VIANDE	
		Couleur	
	2.2.1.	2.2.1.1. La myoglobine	
		2.2.1.2. Oxydation et capacité de réduction	
		2.2.1.3. L'oxygène : consommation, pression et pénétration	
		2.2.1.4. Le type de muscle	
		2.2.1.5. Le pH	
		2.2.1.6. Les lipides et l'oxydation	33
	2.2.2.		
		2.2.2.1. L'eau et le muscle	
		2.2.2.2. Le pH et le pouvoir de rétention d'eau de la viande	
		2.2.2.3. Développement du rigor mortis et perte de fluides	
		2.2.2.4. La maturation	
	222		
	2.2.3.		
		2.2.3.1. Tissu conjonctif et collagène	
		2.2.3.2. Structure myofibrillaire	
			,

		2.2.4.	Flaveur	55
			2.2.4.1. Les tissus	
			2.2.4.2. Les composés volatils	
			2.2.4.3. Les acide gras	
			2.2.4.4. Le pH ultime	
	2.3.		Γ DE L'EXPOSITION AU FROID	
		2.3.1.	Les besoins énergétiques	65
		2.3.2.	La thermogénèse	67
			2.3.2.1. Avec frisson	
			2.3.2.2. Sans frisson	
		2.3.3.	Impact sur les paramètres de croissance	
			2.3.3.1. La consommation alimentaire	
			2.3.3.2. Le gain moyen quotidien	
			2.3.3.4. Digestibilité	
		2.3.4.	Impact sur le muscle	
		2.3.5.	Impact sur la qualité de la viande	
	2.4			
			USION GENERALE, OBJECTIFS ET HYPOTHESES DE RECHERCHE	
	2.5.	BIBLIO	GRAPHIE	77
CI	I A DIT	rpr 3	IMPACT DE L'ENVIRONNEMENT D'ELEVAGE DURANT LA PERIODE	
CI			HIVERNALE SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALIT	E DE
			LA VIANDE DES AGNEAUX LOURDS	
	3 1		DUCTION	
	3.2.		RIEL ET MÉTHODES	
		3.2.1.		
			3.2.1.1. Saillies-Naissance	
			3.2.1.3. Sélection et formation des groupes	
			3.2.1.4. Température des bâtiments	
			3.2.1.5. Alimentation et soins	
			3.2.1.6. Échantillonnage et analyse des aliments	
			3.2.1.7. Profil métabolique	106
			3.2.1.8. Suivi de croissance	
			3.2.1.9. Mesures par échographie	
			3.2.1.10.Abattage	
			3.2.1.11. Prise d'échantillons à l'abattoir	
			3.2.1.12. Classification et découpe des carcasses	
			3.2.1.13. Calculs des rendements	
		3.2.2.	Analyses de laboratoire	
			3.2.2.1. Perte en eau, couleur et pH	
			3.2.2.2. Perte à la cuisson et force de cisaillement	
			3.2.2.3. Composition chimique	
			3.2.2.5. Cinétique enzymatique	
			3.2.2.6. Calpaïnes et Calpastatine	
			3.2.2.7. Longueur des sarcomères	
		3.2.3.	Évaluation sensorielle	
		J. 2 .J.	3.2.3.1. Entraînement du jury	
			3.2.3.2. Préparation des échantillons	

		3.2.3.3. Séance d'évaluation sensorielle	124
	3.2.4.	Analyses statistiques	125
3.3.	RÉSUL	TATS ET DISCUSSION	126
	3.3.1.	Paramètres de croissance et qualité de la carcasse	127
	3.3.2.	Caractéristiques biochimiques et chimiques du longissimus dorsi	140
	3.3.3.	Paramètres de qualité de la viande	143
3.4.	CONCI	LUSIONS ET IMPLICATIONS	149
3.5.	BIBLIC	OGRAPHIE	150
ANNEXE	A. Co	RRÉLATIONS	158
ANNEXE	B. Pro	OFILS MÉTABOLIQUES	165
ANNEVE	$C \Delta N$	ALVSES DE MOULÉE	167

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1.	CARACTERISTIQUES DES TYPES DE FIBRES MUSCULAIRES CHEZ LES MAMMIFERES	17
TABLEAU 2.2.	TENEUR EN LIPIDES TOTAUX, TRIGLYCERIDES (TG) ET PHOSPHOLIPIDES (PL) DANS DIFFERENTS MUSCLES CHEZ PLUSIEURS ESPECES	23
TABLEAU 2.3.	VARIATION DE LA CONCENTRATION DE LA MYOGLOBINE SELON LES ESPECES	28
TABLEAU 2.4.	INFLUENCE DE L'AGE SUR LA CONCENTRATION EN MYOGLOBINE	28
TABLEAU 2.5.	ESTIMATION DE LA TEMPERATURE INFERIEURE CRITIQUE CHEZ L'OVIN	66
TABLEAU 2.6.	EFFET DE LA TEMPERATURE SUR L'AZOTE INGEREE PAR DES AGNEAUX DE 4 MOIS D'AGE	70
TABLEAU 2.7.	EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE D'AGNEAUX	71
TABLEAU 3.1.	PARAMETRES DE CROISSANCE EN FONCTION DU SEXE (S) ET DE L'ENVIRONNEMENT D'ELEVAGE (E)	. 130
TABLEAU 3.2.	PARAMETRES DE QUALITE DE CARCASSE EN FONCTION DU SEXE (S) ET DE L'ENVIRONNEMENT D'ELEVAGE (E)	. 136
TABLEAU 3.3.	CARACTERISTIQUES CHIMIQUE ET BIOCHIMIQUE DU LONGISSIMUS DORSI EN FONCTION DU SEXE (S) ET DE L'ENVIRONNEMENT D'ELEVAGE (E)	. 141
TABLEAU 3.4.	PROFIL EN ACIDES GRAS DU <i>LONGISSIMUS DORSI</i> EN FONCTION DU SEXE (S) ET DE L'ENVIRONNEMENT D'ELEVAGE (E)	. 144
TABLEAU 3.5.	PARAMETRES DE QUALITE DE LA VIANDE DU <i>LONGISSIMUS DORSI</i> EN FONCTION DU SEXE (S) ET DE L'ENVIRONNEMENT D'ELEVAGE (E)	. 147
TABLEAU A.1.	CORRELATIONS SIMPLES ENTRE LES PARAMETRES DE QUALITE ET CEUX DE CROISSANCE CHEZ LES FEMELLES	. 159
TABLEAU A.2.	CORRELATIONS SIMPLES ENTRE LES PARAMETRES DE QUALITE ET CEUX DE CROISSANCE CHEZ LES MALES	. 160
TABLEAU A.3.	CORRELATIONS SIMPLES ENTRE LES PARAMETRES DE QUALITE CHEZ LES FEMELLES	. 161
TABLEAU A.4.	CORRELATIONS SIMPLES ENTRE LES PARAMETRES DE QUALITE CHEZ LES MALES	. 163
TABLEAU B.1.	PROFIL METABOLIQUE DES AGNEAUX MALES AUX JOURS 76, 97 ET 118 DE LA PERIODE DE CROISSANCE	. 166
TABLEAU C.1.	COMPOSITION DE LA MOULEE « PURANIO » 18 %	. 168
TABLEAU C.2.	COMPOSITION DE LA MOULEE « PURANIO » 16 %	. 168

LISTE DES FIGURES

FIGURE 2.1.	STRUCTURE D'UN MUSCLE STRIE	13
FIGURE 2.2.	STRUCTURE MUSCULAIRE	14
FIGURE 2.3.	REGENERATION DU NAD ⁺ EN ANAEROBIE	19
FIGURE 2.4.	REPRESENTATION DES COMPOSANTES DE LA COULEUR L*, A* ET B*	26
FIGURE 2.5.	MOLECULE DE MYOGLOBINE	27
FIGURE 2.6.	RELATION ENTRE LE PH ET LE POUVOIR DE RETENTION D'EAU DE LA VIANDE	36
FIGURE 2.7.	IMPACT POTENTIEL DE LA PROTEOLYSE SUR LE DIAMETRE DE LA FIBRE MUSCULAIRE	39
FIGURE 3.1.	VARIATION DE LA TEMPERATURE DANS LES BERGERIES EXPERIMENTALES DURANT LA PERIODE HIVERNALE	128
FIGURE 3.2.	VARIATION DE L'HUMIDITE DANS LES BERGERIES EXPERIMENTALES DURANT LA PERIODE HIVERNALE	129

CHAPITRE 1.

INTRODUCTION

Dans le contexte actuel d'ouverture des marchés et de mondialisation, la production ovine se doit, comme l'ensemble des productions animales québécoises, de maintenir, voire améliorer et développer la qualité de son produit carné. La réalité climatique de l'est du Canada a un impact majeur sur les productions agricoles telle la production ovine. En effet, tandis que plusieurs pays producteurs de viande d'agneaux bénéficient d'un climat favorable à l'élevage extensif, les hivers dans certaines régions du Canada exigent des producteurs qu'ils soient en mesure de loger convenablement leurs animaux à l'abri des aléas du climat rigoureux. Or, les infrastructures nécessaires augmentent les coûts de production dans ce contexte de production en réclusion. Il devient dès lors primordial de tenter de réduire ces coûts supplémentaires afin de demeurer concurrentiel face aux pays exportateurs dont les coûts de production, et par le fait même celui des produits offerts, sont souvent moindres que les nôtres. Ainsi, l'utilisation de bergeries froides (non isolées), moins coûteuses à la construction, pour l'élevage des agneaux lourds est une option intéressante pour les éleveurs. Toutefois, dans une perspective de production durable, il est primordial de s'assurer que cette pratique ne nuit ni à la quantité de viande produite, ni à la qualité si essentielle de cette dernière.

C'est donc dans ce contexte et en relation avec les différentes hypothèses qui suivent que le projet réalisé prend tout son sens. Tout d'abord, il semble logique de penser que le froid puisse avoir un impact sur les performances de croissance des agneaux, puisque des dépenses énergétiques sont reliées au maintien de l'homéothermie. Les animaux élevés sous des conditions plus froides pourraient devoir consommer plus d'aliments ou réduire d'autres dépenses, telles que leur croissance, de manière à combler une augmentation potentielle des besoins. De plus, certaines études effectuées chez d'autres espèces, comme

le porc, laissent croire que le froid pourrait avoir un impact sur la qualité de la viande. Ainsi, certains auteurs ont démontré qu'une exposition chronique au froid favoriserait la nature oxydative du métabolisme musculaire. La teneur en lipides de ces muscles serait aussi augmentée tandis que le potentiel glycolytique diminuerait chez certains muscles et augmenterait chez d'autres. De tels changements pourraient avoir un impact sur la qualité de la viande des agneaux canadiens en influençant, par exemple, la proportion des différents types de fibres, la composition et la quantité des acides gras présents ou le pH. Des variations de ces paramètres pourraient avoir des répercussions tant au niveau de la couleur, de la jutosité, de la tendreté que de la flaveur. De ce point de vue, il devient pertinent d'évaluer l'impact de l'élevage d'agneaux lourds en bergerie froide durant la période hivernale sur la qualité de la viande.

CHAPITRE 2.

REVUE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

2.1. LE MUSCLE

2.1.1. Tissu musculaire

Lorsqu'il est question de production animale, les muscles squelettiques sont d'une importance majeure. En plus de permettre le maintien, la locomotion, de contribuer à la thermogénèse et de représenter entre 35 et 60 % de la masse corporelle de nos animaux de ferme, les muscles squelettiques sont une source très importante de protéines pour l'homme. En effet, le muscle squelettique est constitué d'environ 75 % d'eau (70-78%), 19-25 % de protéines, 1-6 % de lipides, 1-2 % de sucres et 1-2 % de sels minéraux (Pearson et Young, 1989; Geay *et al.*, 2001).

2.1.1.1. Structure générale

Le muscle squelettique proprement dit est en fait constitué de milliers de fibres musculaires, unité structurale du muscle, de vaisseaux sanguins qui permettent l'apport et l'élimination des substrats nécessaires au bon fonctionnement des cellules, de cellules nerveuses responsables de la transmission de l'influx nerveux et de tissus conjonctifs (Bailey et Light, 1989). Ce dernier joue un rôle de tissu de soutien et de protection. En effet, chacune des fibres est entourée de tissu conjonctif appelé endomysium. Une enveloppe plus épaisse de tissu conjonctif regroupe plusieurs fibres afin de former les faisceaux; il s'agit du périmysium (Lawrie, 1998). C'est d'ailleurs dans ce tissu que l'on retrouve la majorité des vaisseaux sanguins irriguant le muscle. Les différents faisceaux sont finalement regroupés en muscle par une gaine encore plus épaisse appelée épimysium. Le muscle est donc constitué d'un agencement de faisceaux qui lui confèrent forme et fonction, tandis que ces derniers sont constitués d'un agencement de fibres (Figure 2.1).

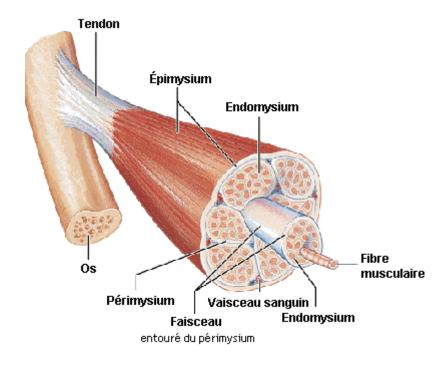


Figure 2.1. Structure d'un muscle strié

Tirée de Marieb et Laurendeau (1993)

2.1.1.2. La fibre musculaire

La fibre musculaire est l'unité structurale du muscle. Il s'agit d'une cellule très allongée pouvant mesurer plusieurs centimètres. Autre particularité, elle possède non pas un noyau comme l'ensemble des cellules, mais bien plusieurs : elle est dite plurinucléée. Ces particularités lui viennent de son origine. En effet, la fibre musculaire est formée par la fusion de plusieurs cellules lors du développement embryonnaire (Picard *et al.*, 2002). Autres caractéristiques, il n'est pas question de cytoplasme et d'hémoglobine dans le cas des myofibres, mais de sarcoplasme et de myoglobine, jouant essentiellement les mêmes rôles. Les fibres musculaires sont constituées à l'image des faisceaux d'une certaine façon, c'est-à-dire qu'elles regroupent un ensemble de myofibrilles parallèles (Figure 2.2).

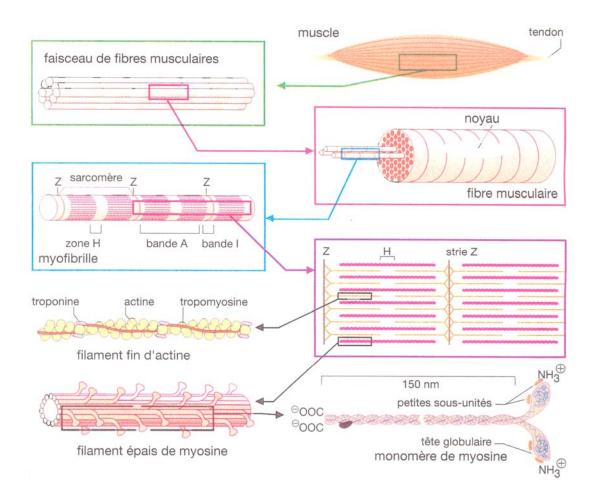


Figure 2.2. Structure musculaire

La myofibrille est l'élément qui confère aux cellules musculaires leur principale fonction, la capacité de contraction. À la surface des myofibrilles, on observe une alternance de bandes sombres et claires. Les premières sont appelées *bandes A* tandis que les secondes se nomment *bandes I* (Figure 2.2). Au centre des bandes claires, on retrouve une région plus foncée appelée *strie Z*, tandis que les bandes foncées sont traversées par une zone plus claire, la *zone H* (Lawrie, 1998). D'une myofibrille à l'autre, les bandes I et A sont juxtaposées de manière à ce qu'on retrouve à la surface des fibres ces stries qui confèrent une caractéristique morphologique typique à la fibre musculaire. Afin de comprendre la provenance de ces bandes ou stries au niveau des myofibrilles, il faut décomposer leur structure.

Les myofibrilles sont en fait constituées de deux types de myofilaments, soit un dit épais et principalement composé de myosine et un dit mince ou fin et composé d'actine (figure 2.2). La myosine et l'actine sont des protéines contractiles dont l'interaction produit la contraction. La zone H est constituée de filaments de myosine, la bande A (s'étirant de chaque côté de la zone H) de filaments de myosine et d'actine et finalement la bande I de filaments d'actine (Lawrie, 1998). Pour sa part, la ligne Z joint au centre d'une bande I les filaments d'actine. On appelle sarcomère l'unité de la myofibrille comprise entre deux stries Z. Le sarcomère est formé par la moitié d'une bande I, une bande A et une seconde moitié de bande I. Lorsqu'il y a contraction, les filaments d'actine « glissent » vers le centre des filaments de myosine engendrant un raccourcissement des sarcomères qui se manifeste par des bandes I plus courtes et des bandes A constantes. Finalement, outre ces protéines contractiles, on retrouve des protéines de régulation (ex : protéines formant le complexe troponine, la tropomyosine et l'actinine) et du cytosquelette (ex : la desmine, la titine, la nébuline et la vinculine) (Pearson et Young, 1989).

2.1.1.3. Types de fibres musculaires

Lorsqu'il est question de fibres musculaires, il est clair aujourd'hui qu'il n'existe pas un seul type de fibres, mais bien une population hétérogène. Dès 1873, Ranvier (cité par Peter *et al.*, 1972) observait chez le lapin que certains muscles étaient plus rouges et se contractaient lentement, tandis que d'autres apparaissaient plus blancs et semblaient se contracter rapidement. Il semblait donc exister au moins deux types de fibres. En comparant la nature du métabolisme de certains muscles, Dubowitz et Pearse (1960) ont identifié et présenté certaines propriétés de deux types de fibres distincts. Les fibres désignées comme étant de type I ont un métabolisme oxydatif, une couleur rouge et une vitesse de contraction lente, tandis que les fibres de type II présentent un métabolisme glycolytique, une couleur blanche et une vitesse de contraction rapide (Dubowitz et Pearse, 1960; Engel, 1962).

Au fil des ans, des études ont mis en relation la vitesse de contraction des différentes fibres et l'activité ATPasique de la myosine, apportant ainsi l'idée de fibres à contraction lente ayant une faible activité ATPasique (I ou β) et de fibres à contraction rapide ayant une forte

activité ATPasique (II ou α) (Dubowitz et Pearse, 1960; Barany, 1967; Guth et Samaha, 1969; Samaha *et al.*, 1970). Basée sur la variation de l'inhibition de l'activité ATPasique selon différents pH, une méthode de coloration histochimique a permis d'identifier trois types de fibres, séparant ainsi les fibres ayant une forte activité (II) en deux groupes (A et B) (Brooke et Kaiser, 1970; Samaha *et al.*, 1970). Les résultats de Brooke et Kaiser (1970) ont mené à une nomenclature déterminant les types I, IIA et IIB (Tableau 2.1). La présence de trois types de fibres avait déjà été rapportée par certaines études (Ogata et Mori, 1964; Guth et Samaha, 1969), dont une qui avait même déterminé sa propre nomenclature (A, B et C) (Stein et Padykula, 1962).

Une série d'études au début des années 70 a mené à l'élaboration d'une autre nomenclature faisant intervenir l'activité ATPasique ainsi que l'activité de la succinate déshydrogénase (SDH), une enzyme du métabolisme oxydatif (Ashmore et Doerr, 1971a; Ashmore et Doerr, 1971b; Ashmore *et al.*, 1972a). Selon l'activité ATPasique, deux types de fibres ont été trouvés, soit une ayant une faible activité nommée β et une ayant une forte activité désignée α. En jumelant ce résultat avec celui de l'activité de la SDH (forte activité = R pour « red » et faible activité = W pour « white »), trois types de fibres ont été identifiés soit βR, αR et αW (Ashmore et Doerr, 1971a; Ashmore et Doerr, 1971b; Ashmore *et al.*, 1972a). De leur côté, Peter et *al.* (1972) ont aussi caractérisé les fibres selon leur vitesse de contraction ou l'activité ATPasique et leur type de métabolisme, mais ils ont utilisé une nomenclature plus descriptive en caractérisant les fibres comme « slow-twitch-oxydative » (SO), « fast-twitch-oxydative-glycolytique » (FOG) et « fast-twitch-glycolytique » (FG) (Peter *et al.*, 1972). Depuis des décennies, des méthodes histochimiques, histoenzymatiques ou biochimiques sont utilisées afin de caractériser les fibres musculaires selon leur vitesse de contraction ou via l'activité ATPasique et leur type de métabolisme.

Maintenant, la biologie moléculaire et l'immunohistochimie permettent de différencier les types de fibres par le biais des différentes isoformes des chaînes lourdes de myosine (MHC) (Picard *et al.*, 2002). L'utilisation d'anticorps monoclonaux contre les isoformes des MHC permet de mieux différencier les types de fibres. On sait aujourd'hui que plus d'un isomère des chaînes lourdes de myosine peuvent être présents à la fois dans une fibre musculaire.

Tableau 2.1. Caractéristiques des types de fibres musculaires chez les mammifères

Nomenclature		TYPE DE FIBRES	
Brooke et Kaiser (1970)	I	IIA	IIB
Ashmore et Doerr (1971)	βR	αR	αW
Peter et al. (1972)	SO	FOG	FG
CARACTERISTIQUES			
Chaîne lourde de myosine	I	lla	IIb
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 myofibrilaire	+	+++	+++
Hexokinase	+++	++	+
Phosphorylase	+	++	+++
Enzymes oxydatives	+++	++	+
Enzymes glycolytiques	+	++	+++
Acidification post-mortem	Lente	Lente	Rapide

Adapté de Lefaucheur (1989)

Ainsi, on peut retrouver des fibres dites *pures* ne contenant qu'un seul isomère, c'est-à-dire I (MHC I), IIA (MHCIIa), IIB (MHCIIb) et IID ou IIX (MHCIId/x), mais aussi des fibres dites *hybrides* où deux isoformes sont retrouvées (Hämäläinen et Pette, 1995). Finalement, mentionnons qu'il existe un processus dynamique et réversible qui permet aux fibres de changer de type sous certaines conditions selon une certaine séquence de transition : I↔IIA↔IIIX (pour revue voir Pette et Staron, 1997).

2.1.1.4. Métabolisme et activité enzymatique

Il sera ici question de quelques notions de base concernant le métabolisme et les activités enzymatiques que l'on retrouve dans la cellule musculaire. Du point de vue métabolique, la cellule musculaire peut produire les ATP nécessaires à son fonctionnement par voie aérobique ou anaérobique. Pour ce qui est des voies anaérobiques, il s'agit principalement de la glycolyse, mais aussi d'une réaction catalysée par la myokinase ainsi que la réaction de Lohman. En ce qui a trait à ces réactions, disons que la myokinase permet de convertir deux ADP en ATP et AMP, tandis que la réaction de Lohman implique la production d'un ATP suite au transfert d'un groupement phosphate de la créatine phosphate vers un ADP (Pearson et Young, 1989). Pour sa part, la glycolyse est une suite de réaction permettant de convertir une molécule de glucose en deux molécules de pyruvate et deux ATP:

Cette réaction est commune aux voies anaérobique et aérobique. Ce qui différencie ces voies, c'est l'ensemble des réactions permettant de régénérer les NAD⁺ nécessaires en présence ou en absence d'oxygène. En effet, lorsque la voie anaérobique est empruntée, le pyruvate est réduit en lactate via la lactate déshydrogénase (LDH) (Figure 2.3), ce qui permet de régénérer le NAD⁺. L'activité de la LDH est d'ailleurs souvent mesurée afin de déterminer l'activité métabolique des muscles, puisqu'elle est rattachée au métabolisme glycolytique (Dubowitz et Pearse, 1960; Engel, 1962; Bass *et al.*, 1969; Peter *et al.*, 1972).

Figure 2.3. Régénération du NAD+ en anaérobie.

Lorsque la voie aérobique est empruntée, le pyruvate doit d'abord être converti en acétyl-CoA, réaction catalysée par le complexe pyruvate déshydrogénase en utilisant une fois de plus un NAD⁺. L'acétyl-CoA est ensuite oxydé par le biais du cycle de Krebs, ce qui engendre une grande quantité de NADH + H⁺. Ces derniers seront oxydés en NAD⁺ lors de la phosphorylation oxydative engendrant une production de 38 ATP par mole de glucose (Pearson et Young, 1989). Le cycle de Krebs ou de l'acide citrique implique une grande quantité d'enzymes telles la citrate synthase (CS), l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) et la succinate déshydrogénase (SDH). L'activité de ces enzymes peut être mesurée afin de déterminer l'activité du métabolisme oxydatif des muscles. D'ailleurs, la coloration selon l'activité de la SDH a souvent été utilisée en histochimie afin de différencier les fibres (et muscles) selon leurs propriétés oxydatives (Nachlas et al., 1957; Dubowitz et Pearse, 1960; Engel, 1962; Stein et Padykula, 1962; Bass et al., 1969; Brooke et Kaiser, 1970; Ashmore et Doerr, 1971a; Ashmore et Doerr, 1971b; Ashmore et al., 1972a). Finalement, puisque le métabolisme oxydatif n'utilise pas seulement du glycogène et du glucose, mais aussi des acides aminés et des lipides, d'autres activités enzymatiques peuvent être mesurées, telle l'activité de la β-Hydroxyacyl-CoA déshydrogénase (HAD), enzyme impliquée dans l'oxydation des lipides (Bass et al., 1969).

2.1.1.5. Muscle chez l'ovin

Il est maintenant reconnu que les muscles sont composés d'une proportion variable des différentes fibres musculaires et qu'en fonction de ces proportions, les muscles auront des caractéristiques différentes. En ce qui a trait au *longissimus dorsi* (LD) et au *semi-membranosus* (SM), deux muscles d'intérêt chez l'agneau, ils semblent tous les deux présenter des caractéristiques métaboliques et contractiles les classant comme muscle αR

ou FOG c'est-à-dire des muscles rouges à contraction rapide présentant un métabolisme à la fois glycolytique et oxydatif. En effet, une forte activité ATPasique et des activités oxydative et glycolytique importantes ont été rapportées pour ces muscles (Briand et al., 1981a, b). Ces études indiquent que les muscles FOG tels que le LD et le SM ont généralement une activité oxydative supérieure aux muscles purement oxydatifs SO, de même qu'une activité et un bagage enzymatique du métabolisme glycolytique dépassant ceux des muscles FG. Ces observations ont aussi été faites chez d'autres espèces comme le lapin et le cochon d'inde (Peter et al., 1972). Pour sa part, Suzuki (1971) a obtenu 49 % de FOG, 40 % de FG et 10 % de SO dans le LD ovin¹ alors que Ouali et al. (1988) ont déterminé que ce dernier était composé de 66,7 % de FOG, 20,6 % de FG et 10,0 % de SO. Lors d'une autre étude, où les fibres du *longissimus* n'ont été séparés qu'en fonction de leur activité ATPasique, 91-92,5 % des fibres ont été classées de type II (FG et FOG) et 7,5-9 % de type I (SO) (Sazili et al., 2005). Dans une étude récemment menée au Québec, la proportion des fibres retrouvées au niveau du LD d'agneaux Dorset était de 58-65 % FOG, 28-35 % FG et 6-8 % SO (Dragomir, 2005). Malgré une certaine variation qui au-delà des techniques utilisées peut s'expliquer par la variations des agneaux eux-même, l'ensemble de ces résultats démontrent bien la prépondérance des fibres rouges et plus particulièrement des FOG dans ce muscle chez l'ovin. Toutefois, le longissimus, n'a pas les mêmes caractéristiques chez le porc et le bœuf où l'on retrouve une plus grande proportion de fibre FG (Larzul et al., 1997; Ozawa et al., 2000).

2.1.2. Tissu adipeux

2.1.2.1. Généralités

Le tissu adipeux est constitué principalement d'adipocytes, cellules ayant la capacité de synthétiser et d'emmagasiner les lipides (Lawrence et Fowler, 2002). Les acides gras utilisés peuvent provenir de la circulation sanguine ou être synthétisés *de novo* par les cellules du tissu adipeux. Chez les ruminants, la présence de micro-organismes dans le rumen favorise la biohydrogénation des acides gras provenant de l'alimentation, modifiant ainsi les acides gras ingérés (Wood et Enser, 1997). De ce fait, la viande de bœuf et celle

_

 $^{^1}$ La nomenclature utilisée par l'auteur était αR , αW et βR qui a ici été remplacée par FOG, FG et SO afin de faciliter la compréhension du lecteur.

d'agneau ont un ratio acides gras polyinsaturés : saturés inférieur à celui du porc (Enser *et al.*, 1996). Toutefois, il est possible de modifier le profil en acides gras via l'alimentation. En effet, des différences ont été rapportées dans la composition en acides gras de la viande d'agneau et de bovin nourris à base d'herbe ou de concentrés, de même qu'avec l'ajout de lipides dans la ration (Rowe *et al.*, 1999; Fisher *et al.*, 2000; Wachira *et al.*, 2002).

2.1.2.2. Types de gras

Il existe deux types de tissus adipeux, soit le tissu adipeux brun (BAT pour « brown adipose tissue ») et le tissu adipeux blanc (WAT pour « white adipose tissue »), que l'on peut distinguer selon la couleur, la fonction, le niveau de vascularisation et l'activité métabolique (Lawrence et Fowler, 2002). Le tissu adipeux blanc est le tissu adipeux que l'on retrouve principalement chez les animaux. Il agit comme une réserve d'énergie à long terme retrouvée essentiellement sous forme de triglycérides. De son côté, le BAT est beaucoup moins abondant et on le retrouve principalement chez les nouveaux nés, bien qu'il puisse perdurer chez certaines espèces telles que le rat, l'humain (Huttunen et al., 1981) ainsi que certains animaux hibernants (Trayhurn, 1989). Chez l'agneau, il se développe durant la vie fœtale et il est impliqué dans la thermogénèse sans frisson lors des premiers jours de vie (Alexander et Williams, 1968). Toutefois, il disparaît durant les premières semaines de vie ou, plutôt, il est converti en WAT (Thompson et Jenkinson, 1969; Symonds et al., 1992). Le tissu adipeux brun a la particularité de posséder une voie lui permettant d'oxyder les acides gras in situ sans qu'il y ait production d'ATP. La présence de protéines « découplantes » au niveau mitochondrial permet cette production d'énergie sous forme de chaleur (voir section 2.3.2.2).

2.1.2.3. Lieu de déposition

Les lieux de déposition et la quantité de lipides s'y retrouvant changent durant la vie de l'animal. À la naissance, le gras périrénal et mésentérique peut représenter près de 50 % du tissu adipeux corporel chez l'agneau (Leat et Cox, 1980). Durant la croissance, les tissus adipeux sous-cutané et intermusculaire augmentent pour devenir les deux principaux sites de déposition (Leat et Cox, 1980). Vers la fin de la croissance, il se dépose des gras à l'intérieur des muscles, ce qui aura différents impacts sur la qualité de la viande. Ce dépôt

de gras intramusculaire est appelé *persillage*. Dans une étude comparant des longes de bœufs (steaks), d'agneaux et de porcs (côtelettes) retrouvées sur le marché britannique, la proportion de lipides intramusculaires chez l'agneau était supérieure et pouvait représenter jusqu'à 4,9 % du poids du muscle (Enser *et al.*, 1996). Toutefois, l'âge, l'alimentation, le muscle et la race peuvent influencer la synthèse des tissus adipeux. Des valeurs de 1,7 à 2,5 % ont été rapportées pour le *semimenbranosus* de différentes races (Fisher *et al.*, 2000), tandis que des valeurs de plus de 6 % et de moins de 4 % ont été respectivement rapportées au niveau du *longissimus* chez l'agneau (Rowe *et al.*, 1999; Wachira *et al.*, 2002).

2.1.2.4. Triglycérides et phospholipides

On retrouve les lipides sous différentes formes dans les tissus adipeux : il y a les triglycérides (90 à 98 %), les diglycérides (1 à 2 %), les phospholipides (0,25 %) et le cholestérol (0,25 %) (Lawrence et Fowler, 2002). Les phospholipides et le cholestérol sont particulièrement importants au niveau des membranes cellulaires, tandis que les triglycérides sont présents sous forme de globules lipidiques chez les adipocytes intramusculaires. Ces adipocytes prolifèrent et grossissent au sein du tissu adipeux blanc que l'on retrouve entre les fibres musculaires et au niveau du périmysium et de l'endomysium (Lawrence et Fowler, 2002). Lorsque l'accumulation est suffisante pour être visible à l'œil nu, ce tissu adipeux constitue le persillage. Les triglycérides se retrouvent également sous forme de goutelettes microscopiques à l'intérieur même des fibres musculaires oxydatives (Gondret et Hocquette, 2006). En comparaison avec le tissu adipeux proprement dit, la proportion de triglycérides (TG) et de phospholipides (PL) est bien différente au niveau du muscle, puisqu'on y retrouve une grande proportion de phospholipides (membranes) et une quantité variable de triglycérides selon la quantité de gras intramusculaire (Lebret et al., 1996) (Tableau 2.2). De plus, la composition en acides gras de ces deux fractions lipidiques semble différer. En effet, il a été démontré, chez le bœuf et l'agneau, qu'une plus grande proportion d'acides gras polyinsaturés (PUFA) se retrouve au niveau des phospholipides comparativement aux triglycérides (O'Keeffe et al., 1968; Larick et Turner, 1989; Aurousseau et al., 2004).

Tableau 2.2. Teneur en lipides totaux, triglycérides (TG) et phospholipides (PL) dans différents muscles chez plusieurs espèces

Muscle	Lipides (g/100g)	TG (g/100g)	PL (g/100g)
Longissimus dorsi (porc) ^a	1,5	1	0,48
Psoas major (porc) ^a	1,3	0,7	0,72
Longissimus lumborum (porc) ^b	1,6	1	0,54
Semispinalis capitis (porc) ^b	5,9	5	0,67
Longissimus lumborum (lapin) ^c	1,24	0,55	0,71
Psoas major (lapin) ^c	1,24	0,53	0,69
Longissimus thoracis (agneau) ^d	2,39	1,7	0,59

⁽a) Lesuigneur-Meynier et Gandemer, 1991; (b) Fernandez et al., 1995;

2.1.2.5. Types de muscles ou de fibres

Lorsqu'on examine la littérature en ce qui a trait aux types de muscles et leur composition en lipides, plusieurs auteurs soutiennent que les muscles « rouges » contiennent plus de lipides que les « blancs » (Cassens et Cooper, 1971; Pomeranz, 1985; Lebret et al., 1996). Cette constatation semble s'expliquer par un contenu en lipides supérieur pour les fibres rouges (Dubowitz et Pearse, 1960; Lefaucheur, 1989; Essen-Gustavsson et al., 1994). Tandis que certains ont démontré un contenu en phospholipides supérieur chez des muscles de porc ayant un métabolisme oxydatif, mais pas de relation pour le contenu en lipides totaux et en triglycérides (Leseigneur-Meynier et Gandemer, 1991), d'autres ont observé que les muscles oxydatifs contiennent en effet plus de PL, mais aussi plus de lipides totaux et de TG (chez le lapin) (Alasnier et al., 1996). Alasnier et al. (1996) attribuent la différence de résultats à une hétérogénéité des fibres présentes, plus importante chez les muscles utilisés par Leseigneur-Meynier (1991). En s'attardant sur certaines sections de muscles de rats composées d'un type de fibres en particulier, Budohoski et al. (1996) ont démontré une synthèse de TG plus importante pour les sections contenant des fibres I et IIa (SO et FOG), ce qui est en accord avec le constat de Essen-Gustavsson (1994) proposant une accumulation plus importante des lipides neutres (tels les TG) dans ces fibres chez le porc. Toutefois, bien que l'idée d'un contenu en lipides plus important pour les muscles oxydatifs ou « rouges » soit relativement acceptée, la relation entre le type métabolique et

⁽c) Alasnier et al., 1996; (d) Aurousseau et al., 2004

le contenu en lipides n'est pas parfaite, puisque certains résultats ne concordent pas (Leseigneur-Meynier et Gandemer, 1991; Gondret et Hocquette, 2006).

2.1.3. Transformation post-mortem du muscle en viande

Après l'abattage, la transformation du muscle en viande est une étape particulièrement importante dans la détermination de la qualité finale de la viande. Suite à l'arrêt de la circulation sanguine, différents changements au niveau métabolique surviennent et auront pour effet d'influencer le développement de plusieurs paramètres caractéristiques des viandes. Étant donné le grand nombre d'articles, de livres et de revues de littérature traitant de ce phénomène, voici quelques sources de références utilisées pour les paragraphes qui suivent : Pearson et Young, 1989; Faustman, 1994; Lawrie, 1998.

2.1.3.1. Rigor mortis

Suite à la mort de l'animal, les apports en oxygène aux différents muscles et organes sont compromis. Bien qu'un certain métabolisme aérobique puisse perdurer pour les muscles en contact avec l'air à la surface des carcasses, c'est plutôt le métabolisme anaérobique qui permet la production d'énergie. Tel que présenté précédemment, l'ATP nécessaire est produit grâce aux réactions faisant intervenir la créatinephosphate (CP), la myokinase ainsi que la glycolyse anaérobie. Cette dernière a un rôle de premier plan en matière de qualité de la viande. En effet, après une période pendant laquelle la CP fournit l'ATP nécessaire, la glycolyse anaérobie prend la relève et engendre la production d'acide lactique lors de la régénération du NAD⁺, ce qui a pour effet d'abaisser le pH de la viande (pH normal de 5,5-5,7 après environ 16 heures chez l'agneau). Lorsque le pH atteint des valeurs d'environ 5,5, certaines enzymes nécessaires à la glycolyse anaérobie sont affectées, voire inactivées. Le pH final (ou pH ultime) dépend donc des réserves de glycogène disponibles et de l'inactivation des enzymes. Lorsque la glycolyse anaérobie cesse ou ne permet plus le maintien d'une quantité suffisante d'ATP, le rigor mortis est atteint. À ce stade, la concentration en ATP est trop faible pour permettre la séparation du complexe actomyosine. Les filaments minces et épais sont donc liés et le muscle est passé d'un état pantelant à un état ferme (rigidité cadavérique). La vitesse et l'étendue de cette chute du pH, tout comme l'atteinte du rigor mortis, ont des impacts importants sur l'ensemble des paramètres de qualité de la viande et peuvent être influencées par divers facteurs tels les réserves en glycogène, le type de muscle, l'espèce, le stress et la température.

2.1.3.2. *Maturation*

Suite au développement du *rigor mortis*, d'autres changements surviennent au sein du muscle ou plutôt de la viande. Ces changements sont reliés à l'action de différentes enzymes et influenceront les caractéristiques de la viande. La période pendant laquelle ces changements surviennent est désignée comme la période de maturation de la viande. Bien que la maturation semble influencer plusieurs paramètres de qualité sensorielle (couleur, jutosité et flaveur), l'attendrissement de la viande est, sans aucun doute, l'effet le plus bénéfique de ce processus (Devine, 2004). L'activité protéolytique, c'est-à-dire la dégradation des structures musculaires par les différentes enzymes, explique une grande partie des changements qui surviennent durant cette période et qui mènent à l'attendrissement de la viande (Dransfield, 1992b, c; Koohmaraie, 1996). Tout au cours de cette revue, différents concepts reliés à la maturation et à la qualité de la viande seront présentés, principalement dans la section sur la tendreté.

2.2. LA QUALITE DE LA VIANDE

La qualité de la viande est un concept relativement large regroupant différents thèmes. En effet, lorsqu'il est question de qualité du produit carné, la salubrité, la qualité nutritive, l'aptitude à la transformation ainsi que la qualité organoleptique peuvent être prises en compte. Dans le cadre de cette revue, seule la qualité organoleptique sera étudiée. La qualité organoleptique ou sensorielle regroupe principalement quatre paramètres perceptibles par un ou plusieurs des sens. Il s'agit de la couleur, de la jutosité, de la tendreté et de la flaveur de la viande. Ces différents paramètres sont particulièrement importants puisqu'ils influenceront les habitudes des consommateurs. Il importe donc de comprendre quels facteurs sont impliqués dans la caractérisation de ces paramètres et de quelles manières ils les influenceront.

2.2.1. Couleur

La couleur est le paramètre le plus déterminant lors de l'achat de la viande puisqu'il est, parmi ceux reliés à la qualité organoleptique, le seul perceptible à ce moment. Le système le plus utilisé en colorimétrie pour caractériser objectivement la couleur est le système CIELab adopté en 1976 par la commission internationale de l'éclairage. Ce système utilise deux modes de représentation, soit un mode en coordonnées rectangulaires L*, a* et b* ainsi qu'un mode en coordonnées cylindriques L*, C* et h° (Figure 2.4). Les coordonnées L*, a* et b* représentent respectivement l'axe de clarté, l'axe vert/rouge et l'axe bleu/jaune. La coordonnée L* est donc une indication de la luminosité et elle se situe entre les valeurs 0 et 100 où zéro représente le noir et 100 le blanc. De leurs côtés, les coordonnées a* et b* se situent entre -60 et 60 où a* passe du vert au rouge et b* du bleu au jaune. Les coordonnées cylindriques C* et h° représentent respectivement la saturation ou chroma et l'angle de teinte. Elles se calculent de la manière suivante :

- $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$
- $h^o = \arctan(b^*/a^*)$

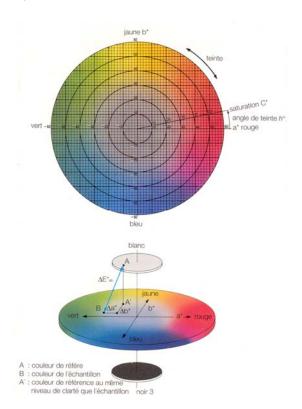


Figure 2.4. Représentation des composantes de la couleur L*, a* et b*

Tirée de CIE (1976)

2.2.1.1. La myoglobine

La myoglobine est le pigment le plus important lorsqu'il est question de la couleur de la viande (Livingston et Brown, 1981). Cette chromoprotéine est formée d'un groupement protéique globulaire, soit la globine et d'un groupement non protéique, l'anneau *hème* (Figure 2.5). L'hème est une structure plane ayant en son centre un atome de fer. En plus d'être lié à l'anneau porphyrine et à la globine, le fer effectue une dernière liaison avec divers composés, liaison qui est reliée au transport de l'oxygène et à la couleur de la viande. La myoglobine a comme fonction d'emmagasiner au sein des muscles l'oxygène apporté par l'hémoglobine. Puisque la majeure partie de l'hémoglobine est éliminée lors de l'exsanguination et que son rôle dans la couleur de la viande est très similaire à celui de la myoglobine, il ne sera question que de la myoglobine dans cette revue.

Figure 2.5. Molécule de myoglobine

Tirée de Pearson et Young (1989)

La concentration. La concentration en myoglobine dans la viande diffère selon les espèces (Lawrie, 1953; Cross *et al.*, 1986) (Tableau 2.3), le type de muscle (O'Keeffe et Hood, 1982; Talmant *et al.*, 1986; Guignot *et al.*, 1992), l'âge (Lawrie, 1953; Clydesdale et Francis, 1971; Ledward et Shorthose, 1971) (Tableau 2.4) et certains autres facteurs reliés à l'alimentation ou à l'environnement. Cette différence de concentration explique en partie la différence de couleur ou d'intensité retrouvée entre les différentes viandes. Les fibres

musculaires qui utilisent préférentiellement le métabolisme oxydatif « red » ont une concentration supérieure du pigment et une coloration plus foncée comparativement aux fibres glycolytiques à contraction rapide « white » (Dubowitz et Pearse, 1960; Giddings, 1974). Outre sa concentration, la forme sous laquelle la myoglobine est retrouvée influence aussi la couleur de la viande.

Tableau 2.3. Variation de la concentration de la myoglobine selon les espèces

Espèce	Couleur	Myoglobine (mg/g muscle frais)
Porc	Rose grisâtre	1-3
Agneau	Rouge clair	4-8
Bœuf	Rouge vif	4-10

Adapté de Cross et al. (1986)

Tableau 2.4. Influence de l'âge sur la concentration en myoglobine

Âge	Myoglobine (mg/g muscle frais)
Veau	1-3
Bouvillon	4-10
Bœuf	16-20
	A 1 4/ 1 C . 7 (100C)

Adapté de Cross et al. (1986)

Les formes de la myoglobine. En présence de certaines bactéries ou suite à l'ajout de certains composés, la myoglobine peut prendre différentes formes et engendrer une coloration de la viande inhabituelle. Toutefois, dans des conditions normales, trois formes sont retrouvées : la déoxymyoglobine (déoxyMb), l'oxymyoglobine (oxyMb) et la metmyoglobine (metMb) (Bekhit et Faustman, 2005). La déoxymyoglobine confère une couleur rouge pourpre à la viande, l'oxymyoglobine une couleur rouge éclatante (désirable) tandis que la metmyoglobine produit une couleur brunâtre (indésirable) (Renerre et Labas, 1987; Pearson et Young, 1989). La couleur de chaque pigment est causée par un spectre d'absorption de la lumière qui lui est propre (Pearson et Young, 1989). Les différents types

de myoglobine et la couleur qui s'y rattache sont le résultat de la nature de la molécule formant le sixième lien avec le fer, ainsi que l'état d'oxydation de l'atome de fer en question. Dans le cas de la déoxymyoglobine et l'oxymyoglobine, l'atome de fer de l'hème est à l'état réduit c'est-à-dire Fe²⁺ tandis que la metmyoglobine est caractérisée par la présence de Fe³⁺, résultat de l'oxydation de l'atome de fer. Pour ce qui est de la déoxymyoglobine et de l'oxymyoglobine, c'est la présence d'une molécule d'O₂ au niveau de la sixième liaison qui différencie ces deux molécules, l'oxymyoglobine étant la forme oxygénée comme l'indique son nom. Les principales réactions impliquées dans la conversion d'une forme de myoglobine à une autre sont les suivantes :

- L'oxygénation de la déoxyMb qui produit l'oxyMb;
- L'oxydation des formes réduites oxyMb et déoxyMb en metMb;
- La réduction de la metMb en myoglobine réduite.

La couleur de la viande dépend en partie de la proportion des trois différents pigments présents (Cross *et al.*, 1986). La coloration de la viande est donc déterminée par le niveau d'oxygénation et l'état d'oxydation des molécules de myoglobine. Les premiers millimètres à la surface de la viande en présence d'oxygène sont d'un rouge éclatant causé par l'oxymyoglobine, tandis que le cœur de la viande est d'un rouge pourpre caractéristique de la déoxymyoglobine en absence d'oxygène (Livingston et Brown, 1981). Entre les deux, selon différents facteurs, une couche variable de metmyoglobine peut se former et c'est cette accumulation de metmyoglobine qui semble être en grande partie la cause de la décoloration de la viande (Ledward, 1985). Voyons maintenant de quelle manière se déroule l'accumulation de metmyoglobine ainsi que différents facteurs susceptibles d'influencer « l'étendue » de ce phénomène.

2.2.1.2. Oxydation et capacité de réduction

L'accumulation de la metMb semble résulter de la formation de ce pigment via l'oxydation des formes ferreuses de myoglobine (Giddings, 1974, 1977; Livingston et Brown, 1981), mais elle pourrait aussi être influencée par la capacité du muscle à réduire ce pigment vers les formes ferreuses (Giddings, 1974; Ledward, 1985). En effet, d'un côté, certaines études tendent à démontrer que l'oxydation de la myoglobine et le taux de consommation d'O₂ (TCO) sont les facteurs les plus importants en ce qui a trait à la décoloration de la viande

(Atkinson et Follett, 1973; O'Keeffe et Hood, 1982; Renerre et Labas, 1987), tandis que de l'autre, la capacité de réduction a été proposée comme principal facteur (Ledward, 1985). Les différentes études menées sur la réduction de la metMb et la stabilité de la couleur arrivent à des conclusions très divergentes. Tandis que certains suggèrent que l'activité réductrice régule la stabilité de la couleur (Ledward, 1985; Zhu et Brewer, 1998), d'autres ont démontré une corrélation négative entre l'activité de réduction de la metMb et la stabilité de la couleur (Renerre et Labas, 1987; Echevarne et al., 1990) aussi bien qu'une absence de corrélation (Bekhit et al., 2001). Il existe certes plusieurs systèmes enzymatiques ayant une activité réductrice sur la metmyoglobine (Giddings, 1974; Hagler et al., 1979; Bekhit et Faustman, 2005) et il est également possible que cette réduction soit de nature non enzymatique (Brown et Snyder, 1969; Bekhit et al., 2001; Bekhit et Faustman, 2005), mais l'importance de l'activité de réduction sur la stabilité de la couleur durant la conservation demeure toujours divergente selon les études et incomprise (Bekhit et Faustman, 2005). Or, certaines hypothèses et certains résultats semblent indiquer que la stabilité de la couleur pourrait bien être régulée par la combinaison, ou plutôt l'importance relative, de la capacité de réduction et du taux de consommation d'oxygène (Atkinson et Follett, 1973; McKenna et al., 2005). Par exemple, pour un même TCO, le muscle ayant la capacité de réduction la plus importante serait plus stable, tandis que pour une même capacité de réduction, le muscle ayant le plus faible TCO serait le plus stable.

2.2.1.3. L'oxygène : consommation, pression et pénétration

Étant donné les réactions impliquées dans la détermination de l'état de la myoglobine et le rôle possible de le TCO dans la stabilité, il est clair que l'oxygène a une importance particulière. La tension d'oxygène peut avoir différents impacts sur la nature du pigment. En effet, en absence d'O₂, la myoglobine se présente sous la forme déoxymyoglobine, tandis que sous de fortes concentrations d'O₂ on retrouve principalement l'oxymyoglobine dont la couleur rouge est désirable (Renerre, 1990). De plus, la décoloration de la viande ne survient que dans la zone pénétrée par l'oxygène (Brooks, 1929), mais à une profondeur où la tension en O₂ est faible. En effet, la formation de metmyoglobine semble être grandement favorisée lorsque la concentration en O₂ engendre un ratio oxyMb-déoxyMb de 1:1 (soit sous une pression d'O₂ faible) puisque ce ratio permet un taux d'oxydation maximal

(Brooks, 1929; George et Stratmann, 1952). Vu l'importance de la tension en O2, la profondeur de pénétration de l'oxygène pourrait bien avoir un impact sur la couleur. La metMb, qui semble se former entre la couche superficielle d'oxymyoglobine et la couche intérieure de déoxyMb, pourrait être plus près de la surface et plus perceptible lorsque la profondeur de pénétration de l'oxygène est moindre (O'Keeffe et Hood, 1982). Cette profondeur est déterminée par le taux de consommation ainsi que le taux de diffusion d'O₂ (Brooks, 1929). Une consommation élevée d'oxygène engendrerait une pression d'O₂ plus faible ainsi qu'une pénétration d'oxygène moindre ce qui favoriserait l'oxydation et, par le fait même, la formation de metMb, réduisant ainsi la stabilité de la couleur (Atkinson et Follett, 1973; O'Keeffe et Hood, 1982; Sammel et al., 2002). Il a d'ailleurs été démontré que la viande d'agneau a un TCO supérieur au bœuf et au porc et que cette viande est la moins stable des trois (Atkinson et Follett, 1973). Toutefois, ce paramètre n'explique pas tout puisque certains muscles ayant un même TCO peuvent avoir une stabilité bien différente (McKenna et al., 2005). Tout de même, l'importance de l'O2 explique une partie de l'influence que peuvent exercer les emballages à atmosphère contrôlée sur la couleur de la viande (Mancini et Hunt, 2005).

2.2.1.4. Le type de muscle

Des différences au niveau de la stabilité de la couleur ont été rapportées entre les différents muscles (O'Keeffe et Hood, 1982; Renerre et Labas, 1987; Reddy et Carpenter, 1991; McKenna *et al.*, 2005). Ces différences au sein des différents muscles semblent dues à certains facteurs expliqués précédemment tels le TCO, la profondeur de pénétration d'O₂, l'activité de réduction et l'autoxydation qui influenceraient la stabilité de la couleur selon leurs variations. Les muscles ayant un métabolisme plus oxydatif et une consommation en oxygène supérieure semblent en général moins stables selon les études, bien que ce constat ne soit pas généralisé.

2.2.1.5. Le pH

Le pH ultime (pHu²) a une influence importante sur la couleur de la viande. En effet, des valeurs anormales de pHu sont à l'origine de différents défauts des viandes rencontrés en

 2 pHu : Le pH ultime est en fait le pH qu'atteint la viande lorsque ses réserves sont épuisées.

production animale tels que le bœuf à coupe sombre (ou dark-cutting beef) ou bœuf DFD, le porc DFD (Dark, firm and dry) et le porc PSE (Pale, soft and exudative). Un pHu anormalement élevé semble engendrer une viande d'apparence foncée chez l'espèce bovine, ce qui se reflète, entre autres, par une luminosité inférieure (L*) (MacDougall et Rhodes, 1972; Guignot et al., 1994; Purchas et al., 1999; Abril et al., 2001) ou par un pourcentage de la lumière réfléchie inférieur (Purchas, 1990; Guignot et al., 1994; Abril et al., 2001). Ce phénomène semble résulter d'une transmittance supérieure des fibres musculaires qui laissent pénétrer plus profondément la lumière, ce qui cause une dispersion inférieure de la lumière vers la surface de la viande et l'observateur (Swatland, 1990). En d'autres mots, la lumière est moins réfléchie laissant un aspect foncé à la viande. L'abaissement du pH semble permettre aux myofilaments de se rapprocher puisqu'ils ont moins de charges répulsives, ce qui augmenterait la dispersion de la lumière via une augmentation de la biréfringence³ (Swatland, 1989). Le tout se traduirait par une augmentation de la luminosité de la viande suite à un abaissement du pHu. Le pH aurait aussi un effet sur le niveau d'oxydation du pigment. En effet, il a été démontré que le niveau d'oxydation augmente lorsque le pH passe de 7,0 à 5,0 (Brown et Mebine, 1969), ce qui se reflète dans d'autres études par une plus grande proportion de metMb chez des viandes avant un pH inférieur (Ledward, 1985; Zhu et Brewer, 1998). Il a été proposé qu'un pH inférieur favorise une dénaturation de la partie protéique de la myoglobine, soit la globine, rendant ainsi l'hème plus accessible pour l'oxydation (Cross et al., 1986). Ce phénomène serait accentué par une chute rapide du pH alors que la température est encore élevée. Il semble aussi que sous des pH supérieurs les mitochondries puissent rester actives plus longtemps, ce qui permettrait une plus grande consommation d'oxygène chez les viandes DFD et expliquerait en partie la différence de couleur (Ashmore et al., 1972b; Livingston et Brown, 1981; Zhu et Brewer, 1998). De plus, d'autres études semblent indiquer que la capacité de réduire la metmyoglobine est supérieure lorsque le pH est plus élevé (Echevarne et al., 1990; Reddy et Carpenter, 1991; Zhu et Brewer, 1998; Bekhit et Faustman, 2005). Le pH semble donc pouvoir avoir un impact sur la couleur de différentes façons.

_

³ Biréfringence : Susceptibilité à diviser un rayon lumineux en deux

Mentionnons aussi que les valeurs des coordonnées a* et b* diminuent avec une augmentation du pH (Guignot *et al.*, 1994; Purchas *et al.*, 1999; Abril *et al.*, 2001) ou augmentent lorsque le pH diminue (Young *et al.*, 1999) et que plusieurs autres paramètres servant à décrire et quantifier la couleur, telle que la teinte et la saturation, sont également corrélés avec le pH (MacDougall et Rhodes, 1972; Young *et al.*, 1999; Abril *et al.*, 2001).

2.2.1.6. Les lipides et l'oxydation

Tel que mentionné précédemment, l'oxydation de la myoglobine est un processus déterminant pour la coloration de la viande. Or, il semblerait que l'on puisse réduire cette oxydation et ainsi diminuer le brunissement de la viande, qui est indésirable, via l'utilisation d'antioxydants. Un enrichissement en vitamine E par l'alimentation diminue l'oxydation de la myoglobine tout comme celle des lipides chez le porc et le bœuf (Faustman *et al.*, 1989; Monahan *et al.*, 1994). De plus, il semble y avoir une relation entre l'oxydation des lipides et celle de la myoglobine. En effet, des études indiquent que l'oxydation des lipides et/ou de ses produits secondaires pourrait favoriser l'oxydation de la myoglobine (Greene, 1969; Chan *et al.*, 1997a), tandis que d'autres indiquent plutôt que l'oxydation de la myoglobine catalyserait l'oxydation des lipides (Rhee *et al.*, 1987; Chan *et al.*, 1997b; Richards *et al.*, 2002).

2.2.2. Jutosité

La jutosité est un paramètre de qualité sensorielle qui se perçoit lors de la mastication de la viande. La sensation alors perçue semble déterminée selon deux paramètres, soit la première impression reliée à la quantité de fluides relâchés lors de la mastication ainsi qu'une impression plus durable résultant de la salivation engendrée par la présence de lipides (Weir, 1960; Bratzler, 1971; Touraille, 1994). Il semble effectivement que la présence de lipides intramusculaires soit positivement corrélée avec la jutosité perçue par un panel de dégustation (Pearson, 1966; Smith et Carpenter, 1970, 1976). Pour certains, cet effet serait direct et indirect (Miller, 1994). La présence de lipides intramusculaires favoriserait la salivation (directe) en plus d'avoir possiblement un effet « isolant » lors de la cuisson (indirecte). De plus, une quantité suffisante de gras intramusculaire pourrait avoir un effet de lubrification des fibres, participant ainsi à la sensation de jutosité (Briskey et

Kauffman, 1971). Différentes théories sur l'impact des lipides intramusculaires sont d'ailleurs rapportées (Savell et Cross, 1988; Miller, 1994). Toutefois, les informations propres à la jutosité sont peu nombreuses, puisque peu de travaux ont eu comme objectif principal d'étudier ce concept (Winger et Hagyard, 1994).

Vu l'importance de la perception, la jutosité ne peut réellement se mesurer que par le biais d'un panel de dégustation. Toutefois, il est possible de quantifier le pouvoir de rétention d'eau (PRE) d'une viande par différentes mesures (Hamm, 1986). Bien que le PRE ne mesure pas la jutosité perçue, il donne une très bonne indication de ce paramètre en plus d'avoir un certain impact sur les autres aspects de la qualité sensorielle (Hamm, 1960). En fait, on peut définir le pouvoir de rétention d'eau comme étant la capacité qu'aura une viande à retenir son eau qu'elle soit ou non soumise à différents traitements. Hamm (1986) a proposé une terminologie de manière à distinguer les différentes pertes en eau que l'on peut mesurer :

- Pertes par exsudation (« Drip loss ») : Formation d'un exsudat par une viande crue sans qu'aucune force soit appliquée;
- Pertes à la décongélation (« Thawing loss »): Formation d'un exsudat par une viande crue suite à la congélation-décongélation sans qu'aucune force soit appliquée;
- Pertes à la cuisson (« Cooking loss ») : Relâchement de fluides lors de la cuisson sans qu'aucune force soit appliquée;
- Jus extractible (« Expressible juice ») : Relâchement de fluides par une viande crue ou cuite après application d'une force.

Dans cette revue, seuls les termes *perte en eau* (perte pour une viande crue) ainsi que *perte* à la cuisson seront abordés. La présente section traitera donc de la capacité de rétention en eau, des facteurs la déterminant et l'influençant ainsi que de la jutosité.

2.2.2.1. L'eau et le muscle

Tel que mentionné précédemment, le muscle est constitué d'environ 75 % d'eau. De ce pourcentage, environ 85 % se situe à l'intérieur des myofibrilles (Dufour et Renou, 2002;

Huff-Lonergan et Lonergan, 2005). Une faible proportion (<10 %) de cette eau peut se trouver liée aux protéines et par conséquent n'être que très peu mobile, tandis que la majeure partie de l'eau contenue dans le muscle semble être retenue à l'intérieur de manière physique, par simple capillarité (Van Laack *et al.*, 1994). C'est cette fraction de l'eau qui sera la plus influencée et susceptible d'engendrer des pertes (Huff-Lonergan et Lonergan, 2005). L'eau peut se retrouver à l'intérieur des myofibrilles, entre les myofibrilles, entre les myofibrilles et le sarcolemme, entre les cellules ou entre les faisceaux (Offer et Cousins, 1992). Lorsqu'on coupe un muscle perpendiculairement aux fibres, il se produit une formation plus ou moins grande d'exsudat (Briskey et Kauffman, 1971). L'importance de cette perte en eau ou en fluide, puisqu'il s'y retrouve une bonne quantité de protéines (Offer et Knight, 1988; Savage *et al.*, 1990), résultera de plusieurs facteurs survenant durant la période post-mortem.

2.2.2.2. Le pH et le pouvoir de rétention d'eau de la viande

Le pH est un facteur important dans la détermination du pouvoir de rétention d'eau d'une viande. En effet, déjà en 1960, une revue sur les facteurs biochimiques influençant l'hydratation de la viande en faisait état (Hamm, 1960). Des études menées chez l'espèce ovine ont rapporté une diminution du pouvoir de rétention d'eau avec une diminution du pH ultime (pH entre 5,5 et 7,0), et ce, aussi bien pour la viande crue que celle cuite (Bouton et al., 1971, 1972b). Il est aujourd'hui bien reconnu que le pouvoir de rétention d'eau de la viande est minimal lorsque le pH de celle-ci se situe aux environs de 5,0 (Figure 2.6). Ce pH est très près du point isoélectrique des protéines myofibrillaires, c'est-à-dire le pH auquel les charges au niveau des protéines sont minimales (Hamm, 1986). La quantité d'eau liée à la surface des protéines étant trop faible pour expliquer les variations de rétentions en eau (Hamm, 1960), il semble que ce soit l'eau immobilisée physiquement par les structures cellulaires qui soit influencée par le pH. Une théorie classique sur le PRE a proposé que la diminution des répulsions électrostatiques au point isoélectrique favorise le rapprochement des filaments et que ce rapprochement engendre le déplacement de l'eau (Wismer-Pedersen, 1971). Or, il a été démontré que la diminution du pH engendre effectivement un rapprochement des myofilaments, ce qui favoriserait un certain déplacement de l'eau (Rome, 1967; April et al., 1972; Diesbourg et al., 1988; Irving et al.,

1990). D'ailleurs, une étude de 1983 sur le gonflement et le rétrécissement latéral des myofibrilles a bien démontré l'importance de cette structure ainsi que celle des filaments pour le pouvoir de rétention d'eau (Offer et Trinick, 1983). En plus de l'effet possible du pH ultime au niveau des forces de répulsion, une chute rapide du pH alors que la température est encore élevée semble engendrer une dénaturation de certaines protéines, incluant la myosine, ce qui favoriserait la perte en eau (Penny, 1977; Offer *et al.*, 1989; Offer, 1991). Les viandes PSE, caractérisées par une perte en eau importante, sont soumises à ce phénomène. La chute du pH, qu'elle soit normale ou trop rapide, semble donc avoir un impact sur le pouvoir de rétention d'eau de la viande selon différents mécanismes. Dans une étude de 2002, Schäfer *et al.* ont démontré que le pH et la température durant la période post-mortem expliquent en grande partie (85 % et 87 %) la variation de perte en eau (Schäfer *et al.*, 2002).

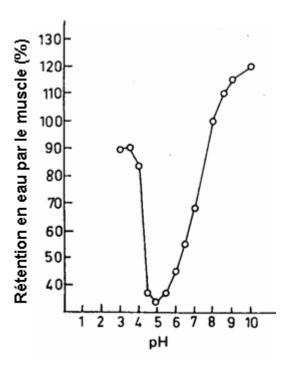


Figure 2.6. Relation entre le pH et le pouvoir de rétention d'eau de la viande

Tirée de Hamm (1986)

Afin de mieux comprendre le pouvoir de rétention d'eau, voyons de quelle manière les évènements post-mortem auront une influence sur la structure du muscle et la perte en eau.

2.2.2.3. Développement du rigor mortis et perte de fluides

Selon certains auteurs, suite à la mort de l'animal l'espace entre les filaments ne diminuerait que légèrement au départ, mais cet espace serait de 4,4 % plus petit au rigor, ce qui se traduirait par une diminution du volume d'une myofibrille de 9 % et donc par une perte des fluides (Offer et al., 1989). Tel que mentionné précédemment, cette diminution d'espace entre les filaments résulterait en partie de la baisse du pH, mais aussi en partie de l'attachement des têtes de myosine aux molécules d'actine à ce stade (Matsubara et al., 1984; Offer et Knight, 1988). En effet, l'épuisement des réserves d'ATP engendre la formation du complexe actomyosine lors du rigor mortis, complexe qui a un moins bon PRE que l'actine et la myosine elles-mêmes (Millman, 1981). À partir des recherches disponibles, certains auteurs ont émis l'hypothèse d'une augmentation du volume extramyofibrillaire de 1,6 fois par rapport au volume pré-rigor (Bendall, 1972) causée par la sortie des fluides vers le sarcoplasme suite à ce rétrécissement latéral (Penny, 1977). Dans le même ordre d'idées, il a été démontré que durant la période post-mortem, le diamètre des fibres diminue et l'espace extracellulaire augmente jusqu'à l'atteinte du rigor mortis (Heffron et Hegarty, 1974; Offer et Cousins, 1992). D'autres études ont aussi démontré une augmentation de l'espace extracellulaire durant le développement du rigor mortis (Currie et Wolfe, 1980, 1983). De leur côté, Offer et al. (1992) ont rapporté la formation de deux compartiments durant cette période. En effet, ils ont remarqué la formation d'un premier compartiment entre les faisceaux de fibres et le périmysium 4-6 heures post-mortem, tandis qu'à 24 heures post-mortem un second espace se formait entre les fibres et l'endomysium. Selon eux, ces compartiments résulteraient du rétrécissement des fibres musculaires et ils formeraient en quelque sorte des canaux. La gravité permettrait une lente sortie de l'eau par ces « canaux » vers la surface de la viande (Offer et Cousins, 1992). Selon ces constats, il semble donc y avoir un rapprochement des myofilaments favorisant le passage de l'eau vers le sarcoplasme ainsi qu'une diminution du diamètre des fibres et une augmentation des espaces extracellulaires durant la période post-mortem qui permettent l'exsudation vers la surface. Or, la présence de filaments intermédiaires liant les

myofibrilles ensemble ainsi que de costamères⁴ liant les myofibrilles au sarcolemme (Pardo *et al.*, 1983; Wang et Ramirez-Mitchell, 1983; Stromer, 1998) permet de croire que ces évènements soient un phénomène de cause à effet, c'est-à-dire que le rétrécissement latéral des myofibrilles suite au rapprochement des filaments cause le rétrécissement des fibres et l'augmentation de l'espace extracellulaire. La nécessité du cytosquelette a d'ailleurs été reconnue afin de transmettre le rétrécissement myofibrillaire à l'ensemble de la fibre musculaire (Offer et Knight, 1988; Morisson *et al.*, 1998). Finalement, des phénomènes de pression osmotique favoriseraient aussi l'augmentation de l'espace extracellulaire (Offer et Trinick, 1983).

2.2.2.4. La maturation

Les recherches menées sur la maturation de la viande, la dégradation de certaines protéines du cytosquelette et la perte en eau soutiennent la théorie du pouvoir de rétention d'eau impliquant principalement le rétrécissement du diamètre des myofibrilles. En effet, une augmentation du PRE suite à une période de maturation a plusieurs fois été rapportée (Hamm, 1986) et certaines études suggèrent que la vitesse et l'étendue de la dégradation du cytosquelette durant la maturation influencent cette capacité (Morisson et al., 1998; Kristensen et Purslow, 2001; Melody et al., 2004). La dégradation des protéines du cytosquelette, telles la desmine et la vinculine, permettrait à la fibre musculaire de retenir plus d'eau en minimisant sa sortie vers les canaux (Huff-Lonergan et Lonergan, 2005). En fait, l'idée apportée par certains chercheurs est qu'une dégradation rapide du cytosquelette permettrait à la cellule de moins rétrécir latéralement (malgré un rétrécissement des myofibrilles), expulsant ainsi moins d'eau vers l'espace extracellulaire (Melody et al., 2004; Huff-Lonergan et Lonergan, 2005) (Figure 2.7). Cette idée est en accord avec les résultats de Currie et Wolfe (1983) qui indiquent une augmentation de l'espace extracellulaire suivit d'une diminution durant la période post-mortem. Par contre, une étude de Schäfer (2002) a révélé que la dégradation de la desmine et de la vinculine ne comptait que pour 13 % et 2 % de la variation de la perte en eau. De plus, certains chercheurs ont émis l'hypothèse que l'augmentation du PRE durant la maturation serait due au fait que l'eau déjà perdue ne peut plus être perdue, ce qui expliquerait par conséquent la diminution

_

⁴ Costamère : Structure protéique permettant l'attachement de la strie Z des myofibrilles au sarcolemme

des pertes avec le temps, lorsque celles-ci sont exprimées en pourcentage (Kim *et al.*, 1993).

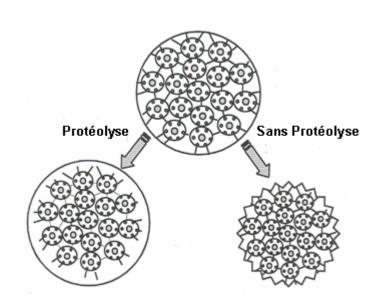


Figure 2.7.Impact potentiel de la protéolyse sur le diamètre de la fibre musculaire

Tirée de Huff-Lonergan et Lonergan (2005)

Dans un autre ordre d'idées, il a aussi été démontré qu'un raccourcissement des sarcomères durant la période post-mortem peut diminuer le pouvoir de rétention d'eau (Honikel *et al.*, 1986; Bertram *et al.*, 2002). De plus, certains ont souligné l'importance de l'intégrité des membranes (Currie et Wolfe, 1983; Bertram *et al.*, 2002; Bertram *et al.*, 2004), tandis que d'autres traitent de l'importance de la dénaturation des protéines sarcoplasmiques (Penny, 1977; Lopez-Bote *et al.*, 1989; Van Laack, 1999). Effectivement, il est très probable que d'autres facteurs soient impliqués, mais jusqu'à maintenant les diverses recherches sur le sujet permettent de croire que les phénomènes décrits précédemment (espace interfilamentaire et rétrécissement) participent et expliquent en majeure partie le concept de capacité de rétention en eau.

2.2.2.5. Pertes à la cuisson

Jusqu'à maintenant, il a été principalement question de pouvoir de rétention d'eau et de perte en eau pour une viande crue. Or, les facteurs influençant les pertes de fluides pour les viandes cuites sont sensiblement les mêmes que ceux rapportés pour les viandes crues, quoique les pertes dues au rétrécissement soient supérieures (Lawrie, 1998). Ainsi, les viandes ayant un pH plus élevé semblent avoir moins de pertes à la cuisson, ce qui est en accord avec l'impact du pH sur le PRE (Bouton et al., 1971, 1972b; Bendall et Restall, 1983; Lawrie, 1998). De plus, en ce qui a trait au rétrécissement lors de la cuisson, un certain patron de réponse de la viande semble ressortir. Il a été démontré que la cuisson d'une myofibre jusqu'à une température de 60 °C engendre une diminution de près de 50 % de son volume due à un rétrécissement latéral (Bendall et Restall, 1983; Offer et al., 1984). Lorsqu'un faisceau de fibres musculaires était utilisé, le constat était similaire pour des températures allant jusqu'à 60 °C, mais au-dessus de 64 °C un rétrécissement longitudinal survenait également (Bendall et Restall, 1983; Offer et al., 1984). Les chercheurs ont proposé le scénario suivant : en premier lieu (40-53 °C), la dénaturation des protéines myofibrillaires et sarcoplamiques engendre une perte de fluides vers l'espace extramyofibrillaire qui est suivie par une perte de fluides vers l'espace extracellulaire dû au rétrécissement latéral causé par la membrane basale (53-60 °C). À partir de 64 °C, le rétrécissement n'est plus simplement latéral, il devient aussi longitudinal à cause de la force exercée par le rétrécissement du collagène à ces températures (Mohr et Bendall, 1969), ce qui se traduit par d'importantes pertes à la cuisson (Bendall et Restall, 1983; Offer et al., 1984). De plus, certaines pertes non aqueuses dues à la fusion des lipides et à la destruction de différentes structures peuvent survenir (Lawrie, 1998). Finalement, ces changements seront influencés, en fonction de la pièce de viande, par la durée, l'intensité et le mode de cuisson.

2.2.3. Tendreté

Lorsqu'on traite de la tendreté de la viande, il faut prendre conscience de la multitude de concepts qui s'y rattachent. Ce paramètre, défini comme étant la facilité avec laquelle une viande se laisse mastiquer (Geay *et al.*, 2002), est des plus important lorsqu'il est question de qualité de la viande. En effet, bien que cet aspect ne soit pas perceptible lors de l'achat de la viande au marché, contrairement à la couleur, il reste, pour le consommateur de bœuf tout au moins, l'aspect le plus important quant à l'acceptation de la pièce en question (Touraille, 1994). Un peu paradoxal lorsqu'on constate qu'il s'agit d'un critère de qualité

très peu maîtrisé par les industries animales (Geay *et al.*, 2001). Toutefois, plusieurs chercheurs se sont questionnés afin de savoir quels facteurs ont un impact sur ce critère et de quelles manières ils agissent et interagissent. L'ensemble des tissus impliqués et les diverses réactions et transformations qu'il doit subir suite à l'abattage rend ce système dynamique fort complexe. Essayons de décortiquer ce paramètre très important lorsqu'il est question de qualité des produits carnés.

2.2.3.1. Tissu conjonctif et collagène

Le collagène est en fait le principal élément structural du tissu conjonctif. Cette protéine fibreuse représente environ 80 % du poids du tissu conjonctif ou 25-30 % de la teneur totale des protéines chez les mammifères (Bailey et Light, 1989). La fibre de collagène, droite et inextensible, est composée d'un agencement de fibrilles, elles-mêmes composées de l'agglomération de tropocollagène. Cette molécule a la forme d'une triple hélice et elle est principalement constituée de glycine, proline et hydroxyproline. Les fibrilles ainsi que les fibres elles-mêmes s'agencent, se lient de façon plus ou moins importante, ce qui se traduit de manière physique par la dureté de la viande ou, du moins, par un impact sur la texture de la viande. Plus le niveau de réticulation est important, plus la viande est dure. Il est donc question de synthèse et de polymérisation du collagène lorsqu'on traite de dureté ou de tendreté de la viande.

Le collagène est reconnu pour être le responsable de ce que l'on appelle le « background toughness », qui peut se traduire par l'expression *dureté de fond (ou dureté de base)*, c'est-à-dire une dureté retrouvée immédiatement suite à l'abattage, qui n'est pas influencée par les conditions pré et post-abattage (Bailey, 1972). De quelle manière le collagène influence-t-il la texture de la viande? La concentration et la solubilité du collagène semblent tous deux jouer un rôle important.

La concentration. Puisque le collagène est la principale protéine du tissu conjonctif, il est facile d'imaginer que la tendreté évolue inversement à la concentration de ce dernier. Plus un tissu contient de collagène moins il est tendre. Or, la littérature nous apprend que le concept n'est pas aussi simple. Il a effectivement été démontré que la dureté de la viande

augmente en fonction d'une augmentation de la concentration en collagène (Dransfield, 1977; Light et al., 1985; Harris et al., 1992). Selon Dransfield (1977), la quantité de collagène totale peut, dans certains cas, expliquer jusqu'à 45 % de la variation de la dureté. Pour d'autres par contre, la relation entre la quantité totale de collagène et la force de cisaillement n'est que très faible (Okeudo et Moss, 2005). Certaines études en sont même arrivées à la conclusion que la teneur en collagène n'est pas corrélée avec la tendreté ou la dureté de la viande (Crouse et al., 1985; Maher et al., 2005). Dans ces cas, la teneur en collagène n'était ni corrélée avec la force de cisaillement mesurée par la méthode de Warner Bratzler (WB), ni avec la tendreté perçue par un panel de dégustation. Young et Braggins (1993) ont obtenu, quant à eux, une augmentation de l'appréciation de la tendreté et de la texture par le panel de dégustation suivant une diminution de la concentration en collagène de la viande, bien que dans ce cas, le test de force de cisaillement WB semblait mieux relié à la solubilité du collagène. Seideman (1986) arrive d'ailleurs à la même conclusion, à l'effet que la concentration en collagène est fortement corrélée négativement avec la tendreté exprimée par un panel de dégustation tandis que la solubilité est fortement et négativement corrélée avec la force de cisaillement. Ce constat pourrait donc expliquer une partie de la divergence en ce qui a trait à la concentration en collagène et la tendreté. Dans leur étude de 1993, Young et Braggins concluent que pour un muscle dont la concentration en collagène est faible et l'insolubilité très élevée tout au cours de la vie de l'animal, la concentration est le meilleur indicateur. Qu'elle soit valable ou non, cette conclusion amène un questionnement : qu'en est-il des muscles où le collagène subit d'importants changements au cours de la vie de l'animal?

La thermosolubilité. Fait bien reconnu et accepté, le collagène mature, établit des liaisons, ce qui lui confère une plus grande stabilité, le rend plus solide (Bailey et Light, 1989). Puisque le but de cette revue n'est pas de décrire l'ensemble des liaisons identifiées et celles de nature hypothétique, il n'en sera que très sommairement sujet. Disons que les fibres de collagène peuvent établir des liaisons intramoléculaires ou intermoléculaires. Une bonne partie de ces liaisons sont bivalentes et réductibles, c'est-à-dire que sous des conditions favorables de température ou de pH, les liaisons se brisent et le collagène se solubilise. Une augmentation de la réticulation du collagène engendre une diminution de la

tendreté (Kruggel *et al.*, 1970). À mesure que l'animal vieillit, le collagène mature et forme des liaisons plus stables, plus fortes et de moins en moins solubles (Cross *et al.*, 1984; Young et Dobbie, 1994). Cette force et cette stabilité passent par la formation de liaisons multivalentes en remplacement d'une partie des liaisons bivalentes. Le collagène perd alors de sa solubilité. La température de transition du tissu conjonctif augmente avec l'âge des animaux chez plusieurs muscles tout comme la force de cisaillement (King, 1987). Un phénomène connu, le « shrinkage » ou rétrécissement du collagène, illustre bien la présence de ces liaisons. Lorsque le collagène est chauffé jusqu'à 60-70 °C il se solubilise et prend l'aspect d'une gelée. Toutefois, la présence de liaisons stables permet de maintenir une partie du collagène dans un état d'insolubilité. Lorsqu'il est chauffé à ces températures, le collagène insoluble va plutôt rétrécir jusqu'au quart de sa longueur initiale, ce qui génère une certaine tension (Bailey et Light, 1989). Avec l'âge, la tension générée par le rétrécissement augmente, appuyant l'idée d'un collagène formant plus de liaisons stables (Bailey et Light, 1989).

On retrouve donc différentes proportions de liaisons dites stables à la chaleur ou matures et de liaisons labiles. Ce ratio de liaisons stables/instables est plus élevé, de deux à quatre fois, chez certains muscles reconnus comme étant durs en comparaison avec d'autres dits tendres (Light et al., 1985). En ce qui a trait au pourcentage de collagène soluble, une corrélation positive avec la tendreté déterminée par un panel de dégustation a été démontrée (Renand et al., 2001). Dans l'étude de Young et Braggins (1993), la corrélation entre la solubilité du collagène et la tendreté évaluée par un panel était positive et significative, tandis qu'elle était négative avec la force de cisaillement. Dans leur livre sur le collagène, Allen J. Bailey et Nicolas Light (1989) en viennent à identifier la proportion de liaisons stables comme étant le facteur majeur en ce qui a trait à la dureté de la viande. Les liaisons stables à la chaleur sont retrouvées chez les jeunes animaux abattus pour leur viande, mais augmentent en pourcentage du collagène total chez les animaux plus âgés. En effet, la concentration d'hydroxylysylpyridinoline, molécule effectuant des liaisons trivalentes non réductibles à partir de deux liaisons réductibles, augmente avec l'âge bien que la molécule soit déjà présente chez des animaux de moins d'un an (McCormick, 1994). Chez le poulet, une augmentation de la teneur en fonction de l'âge de l'animal d'une autre molécule suspectée d'effectuer des liaisons multivalentes, la pyridinoline, a été démontrée, en plus d'être négativement corrélée avec la solubilité du collagène et positivement corrélée avec la force de cisaillement (Coro *et al.*, 2003). Peu importe la nature de ces liaisons, un fait demeure : le collagène change et devient moins soluble. L'ensemble des constats précédemment énumérés trace un survol simplifié, mais relativement fidèle, du rôle joué par la solubilité du collagène en ce qui concerne la tendreté de la viande.

La hiérarchisation des tissus. Lorsque l'on traite du collagène et de tissu conjonctif, il faut garder à l'esprit qu'il ne s'agit pas d'un tissu unique, mais bien de plusieurs variantes caractérisées anatomiquement par leur localisation. En effet, tel que mentionné précédemment, trois tissus sont présents au sein du muscle, soient l'épimysium, le périmysium et l'endomysium. Mais est-ce que, en plus de leur rôle anatomique, ces tissus conjonctifs n'interviendraient pas différemment au niveau de la texture de la viande? Certaines études vont dans ce sens. Chez six muscles bovins classés selon leur tendreté, une quantité d'endomysium constante a été retrouvée, tandis que les muscles les plus durs semblent constitués d'une plus grande proportion d'épimysium et de périmysium (Light et al., 1985). L'épimysium des muscles les plus durs de l'étude contenait plus de collagène, en plus d'avoir un ratio stable/instable de trois à quatre fois plus élevé que les muscles tendres. Au niveau du périmysium, ce ratio était deux fois plus élevé chez les muscles les plus durs. De plus, il semblerait que le déchirement du muscle suite à l'application d'une force débute avec la séparation des faisceaux de fibres, ce qui indique qu'il prendrait naissance au niveau du périmysium (Purslow, 1985). Dans le même ordre d'idées, la jonction entre le périmysium et l'endomysium a été suggérée comme site primaire de déchirement (Bailey et Light, 1989). De nombreuses questions subsistent, mais retenons au moins que certaines fractions du tissu conjonctif musculaire semblent avoir une plus grande importance dans la détermination de la tendreté.

La maturation. De multiples changements surviennent au niveau des fibres musculaires durant la période de maturation suivant le *rigor mortis*. Qu'en est-il des fibres de collagène? Subissent-elles des changements suite à la mort de l'animal et durant la période de maturation? Y a-t-il de la protéolyse?

Lorsqu'on regarde la littérature sur le sujet, un fait plutôt intéressant ressort. Le phénomène a été quelque peu étudié jusqu'à la fin des années 80, après quoi, très peu de résultats de recherches ont été publiés. La lecture de livres traitant du collagène nous fournit une première réponse pour expliquer cette constatation : le tissu conjonctif subit peu de changement pendant la période post-mortem (Greaser, 1986; Bailey et Light, 1989). Par contre, il a tout de même été démontré que certains changements surviennent (Kruggel et Field, 1971), que certaines enzymes des lysosomes peuvent agir sur le collagène et que cette action affecte la stabilité et la force de ce dernier (Koop et Valin, 1980-81). La solubilité du collagène du périmysium de huit muscles de bœuf s'est avérée être supérieure lorsque ces derniers étaient maturés durant 14 jours (Stanton et Light, 1987). De plus, des observations sur gel 2D des différents peptides retrouvés à partir d'échantillons de muscles maturés, non maturés ou incubés en présence de cathepsines (enzymes retrouvées dans les lysosomes, voir section 2.4.2.9.) indiquent l'action possible, au cours de la maturation, d'enzymes des lysosomes au niveau du collagène insoluble (Stanton et Light, 1988). Dans le même ordre d'idées, une force réduite semble nécessaire afin de briser le périmysium lorsqu'une maturation est permise (Lewis et al., 1991). Toutefois, cette différence n'était plus significative lorsque la cuisson atteignait les 60 °C. Une étude plus récente a indiqué une réduction du niveau d'insolubilité du collagène durant la maturation, ainsi qu'une augmentation du niveau d'hydroxyproline libre (indication d'une protéolyse) chez des agneaux ayant une croissance plus rapide et une activité plus intense à l'abattage d'un système dégradant le collagène, le MMP2 (Sylvestre et al., 2002). Le collagène semblerait donc subir une forme de maturation. La présence de liaisons aldimines solubles sous pH acide au sein du collagène et la production d'acide lactique suite à la mort de l'animal laissent aussi sous-entendre la possibilité d'une maturation du collagène. Toutefois, le manque d'intérêt de l'industrie en ce qui concerne le collagène durant la maturation vient potentiellement de l'importance d'une autre structure durant cette période, le tissu musculaire.

2.2.3.2. Structure myofibrillaire

Le second tissu dont il sera ici question est probablement le plus important en ce qui a trait à la texture de la viande. Il s'agit en fait du tissu menant, suite à certaines transformations

post-mortem, à la viande elle-même; le tissu musculaire. Les myofibres, myofibrilles, myofilaments ou protéines, tout dépendamment du niveau anatomique étudié, conféreront ultérieurement les caractéristiques texturales à la viande. Il est donc pertinent de regarder de quelle manière ces structures, et les facteurs les affectant, agissent sur cette propriété cruciale quant à l'acceptation et l'appréciation des produits carnés.

Action physico-chimique : pH et tendreté. Suite à la mort de l'animal, les cellules se retrouvent dans des conditions anaérobiques, mais tentent tout de même de produire l'énergie nécessaire au maintien de leurs fonctions. Tel que mentionné dans la section 2.1.3.1, la glycolyse anaérobique entraîne une accumulation d'acide lactique induisant ainsi une baisse du pH de la viande. Lorsque les réserves sont épuisées, le pH cesse de chuter, il a atteint un niveau que l'on appelle le pH ultime. Ce paramètre physico-chimique joue un rôle important au niveau de la tendreté de la viande puisqu'il a des impacts sur la structure des protéines musculaires et l'action de différentes enzymes, deux phénomènes susceptibles d'influencer la tendreté. D'ailleurs, plusieurs études ont rapporté une relation linéaire et positive entre le pH et la tendreté de la viande. Dans une étude effectuée chez le bovin, Silva et son équipe (1999) ont démontré que la force maximale nécessaire au cisaillement diminuait linéairement en fonction de l'augmentation du pH ultime et que la tendreté perçue par le panel de dégustation augmentait également de manière linéaire. Pour certains, la même relation linéaire a été observée, mais seulement par un test de dégustation, car aucun test mécanique n'avait été utilisé (Guignot et al., 1994) tandis que d'autres n'ont choisi que le test de force de cisaillement où, une fois de plus, l'effet linéaire était présent que ce soit chez le bovin (Bouton et al., 1973) ou chez l'ovin (Bouton et al., 1982). Par contre, certaines études n'ont pu démontrer de différence significative en ce qui a trait à la tendreté perçue par un panel de dégustation en fonction du pH (Viljoen et al., 2002).

Une seconde école de pensée ou du moins, une seconde série de constats mérite de s'y attarder. En effet, pour plusieurs chercheurs, il y a effectivement une relation entre le pH ultime de la viande et la tendreté, mais cette relation est plutôt de nature quadratique. Des recherches menées chez le bovin ont démontré une relation curvilinéaire entre le pH et la force de cisaillement de la viande (test de WB) (Purchas, 1990; Jeremiah *et al.*, 1991;

Purchas et Aungsupakorn, 1993; Purchas *et al.*, 1999). Dans le même ordre d'idées, une relation quadratique entre le pH et la tendreté a été démontrée chez l'ovin (Bouton *et al.*, 1972a; Watanabe *et al.*, 1996; Watanabe et Devine, 1996). De plus, une relation curvilinéaire entre le pH et la tendreté a été trouvée aussi bien par des mesures de la force de cisaillement que par l'utilisation d'un panel de dégustation (Devine *et al.*, 1993). Dans l'ensemble des études citées précédemment sur la relation quadratique entre le pH et la tendreté, la force de cisaillement ou la dureté de la viande (test avec panel) était maximale entre les pH 5,8 et 6,2, et ce, tant chez le bovin que chez l'ovin.

Ce qui est aussi très particulier, c'est que des chercheurs ont, au fil des ans, démontré chez la même espèce la nature curvilinéaire (Bouton *et al.*, 1972a) et la nature linéaire (Bouton *et al.*, 1982) de la relation. Une étude a même observé une relation linéaire lorsque la température de cuisson était de 90 °C, mais curvilinéaire lorsque celle-ci n'était que de 65 °C pour le muscle *semimembranosus* tandis que le contraire ce produisait pour le *biceps femoris* (Bouton *et al.*, 1971). Toutes ces variations laissent présager l'implication de plusieurs phénomènes en ce qui concerne la relation entre le pH et la tendreté. De plus, outre le pH ultime, la vitesse de chute du pH, ou vitesse de glycolyse, semble agir sur la tendreté, bien que des impacts contradictoires sont rapportés (Marsh *et al.*, 1980-81; Smulders *et al.*, 1990; O'Halloran *et al.*, 1997a; O'Halloran *et al.*, 1997b). Cela nous amène à réfléchir sur l'impact réel que peut avoir le pH au sein du muscle de manière à expliquer les changements de tendreté, car, malgré leurs divergences, les études démontrent qu'un lien existe bel et bien entre les deux concepts.

Pouvoir de rétention d'eau. Une partie de l'impact possible du pH sur la tendreté semble reliée au pouvoir de rétention d'eau. Il a été observé chez le bovin et l'ovin que des pH plus élevés améliorent la tendreté ainsi que le pouvoir de rétention d'eau, ce qui laisse entrevoir un lien possible entre les deux paramètres (Bouton *et al.*, 1971, 1972a; Bouton *et al.*, 1973; Silva *et al.*, 1999). Il a effectivement été démontré qu'une augmentation du PRE influence la tendreté de la viande (Gault, 1985; Silva *et al.*, 1999). Suite à certains résultats, il a même été proposé de considérer l'impact de l'eau intracellulaire sur la tendreté en addition aux autres facteurs (Currie et Wolfe, 1980). Tel qu'expliqué précédemment (voir section

2.2.2.2), l'abaissement du pH favorise le rapprochement des myofilaments ainsi qu'un rétrécissement de la fibre musculaire et une perte en eau. Ces phénomènes pourraient logiquement influencer la tendreté, puisqu'en diminuant la quantité d'eau présente au sein de la fibre, la quantité de « matériel » par unité de volume augmente, ce qui devrait augmenter la force nécessaire pour briser la structure.

Longueur des sarcomères. On ne peut parler de l'implication des structures myofibrillaires sans traiter de la longueur des sarcomères. Les sarcomères ont la capacité de raccourcir, ce qui se traduit de manière macroscopique par la contraction du muscle. Plusieurs études ont démontré qu'une diminution de la longueur des sarcomères favorise une augmentation de la dureté (Marsh et Leet, 1966; Bouton et al., 1973; Locker et Daines, 1975; Davis et al., 1979; Geesink et al., 1995). Pourtant, bien d'autres études n'ont pas montré cet effet (Culler et al., 1978; Seideman et al., 1987; Shackelford et al., 1994a). Le manque de concordance entre les études peut résulter de différences dans les traitements, telles les conditions *pré-rigor*, puisque plusieurs évidences supportent l'idée d'un impact de En effet, le « cold-shortening » la longueur des sarcomères sur la tendreté. (raccourcissement dû au froid), un phénomène bien connu pour influencer la tendreté, a été démontré chez le boeuf (Locker et Hagyard, 1963) et l'agneau (Marsh et Leet, 1966) depuis bien longtemps. Ce phénomène est dû à une baisse trop rapide de la température, ce qui engendre une augmentation des niveaux sarcoplasmiques de calcium alors que les niveaux d'ATP permettent encore la contraction. Il en résulte un raccourcissement important des sarcomères et une viande plus dure. De plus, le « rigor shortening » (raccourcissement au rigor) et le «thaw shortening» (raccourcissement à la décongélation) sont d'autres phénomènes favorisant l'idée d'un impact de la longueur des sarcomères sur la tendreté en impliquant toujours une différence durant la période pré-rigor (Lawrie, 1998). Le raccourcissement au rigor survient lorsque la température demeure élevée (37 °C) (Honikel et al., 1983; Hertzman et al., 1993) tandis que celui à la décongélation semble survenir lorsque le muscle est congelé en pré-rigor puis décongelé. Encore une fois, ces phénomènes causent une diminution de la longueur des sarcomères et une augmentation de la dureté. De plus, certaines études ont rapporté que la longueur des sarcomères et le pH influencent effectivement la tendreté de la viande, mais qu'une partie de l'effet pH passe par la longueur des sarcomères (Bouton *et al.*, 1972a; Bouton *et al.*, 1973). En effet, il a été démontré que la longueur des sarcomères diminue lorsque le pH augmente et ce, jusqu'à environ 6,3 (Purchas, 1990; Purchas et Aungsupakorn, 1993).

pH et enzymes. Lorsqu'on cherche à comprendre la nature curvilinéaire de la relation entre le pH et la tendreté d'une manière scientifique et plausible, il faut nécessairement discuter de l'activité des différentes enzymes impliquées dans la protéolyse. Une étude de Yu et Lee (1986) a démontré une activité accrue des protéases calcium-dépendantes et une dégradation très importante de la bande Z à des pH se rapprochant de la neutralité (pH > 6,3). D'un autre côté, une dégradation de la ligne M et une plus grande activité des protéases dites acides ont été observées à pH inférieur (pH < 5,8). Finalement, moins de dégradation a eu lieu entre ces deux zones de pH (5,8-6,3) et la viande s'est avérée être plus dure (Yu et Lee, 1986). Plus récemment, une différence de dégradation de la titine et la nébuline (protéine du cytosquelette) a été démontrée en fonction du pH durant les deux premiers jours post-mortem (Watanabe et Devine, 1996). Ces protéines ont été dégradées plus rapidement à pH 7,0 qu'à pH 5,4 et une dégradation minimale est survenue pour une zone de pH intermédiaire de 6,0-6,3. Ces résultats semblent bien correspondre avec la nature curvilinéaire proposée pour la relation pH-tendreté.

Maturation. La chute du pH et le développement du *rigor mortis* surviennent dans les heures post-mortem. Cette période est aussi le moment où débute la maturation. La maturation a été reconnue et reliée à l'attendrissement de la viande il y a bien longtemps (Bate-Smith, 1948; Whitaker, 1959; Davey et Gilbert, 1968). Toutefois, les raisons expliquant le phénomène n'étaient pas totalement comprises à cette époque. Au fil des ans, différentes études ont démontré que la vitesse de maturation (vitesse d'attendrissement) et l'ordre de grandeur de l'attendrissement ne sont pas les mêmes entre les espèces et qu'ils contribuent aux différences de tendreté retrouvées (Dransfield *et al.*, 1981a; Koohmaraie *et al.*, 1991). En effet, l'agneau semble avoir une période d'attendrissement intermédiaire entre le porc (plus rapide) et le bœuf (plus lent), mais l'écart entre les forces nécessaires au cisaillement de la viande au début et à la fin de la maturation est plus grand chez l'ovin et le bovin (Dransfield *et al.*, 1981a; Koohmaraie *et al.*, 1991; Koohmaraie, 1996). Cet écart

peut représenter jusqu'à trois points sur une échelle de huit pour des dégustateurs (Dransfield *et al.*, 1981a). Finalement, après maturation, l'agneau semble plus tendre que le porc et le bœuf (Dransfield *et al.*, 1981a; Koohmaraie *et al.*, 1991). Il existe donc une relation entre la tendreté et la période de maturation de la viande (Koohmaraie, 1996), période durant laquelle la viande s'attendrit (Wheeler et Koohmaraie, 1994). De nombreuses études pointent du doigt la protéolyse comme étant la grande responsable de l'amélioration de la tendreté en fonction du temps (Goll *et al.*, 1983; Asghar et Bhatti, 1987; Koohmaraie *et al.*, 1991; Koohmaraie, 1994; Wheeler et Koohmaraie, 1994). Selon certains auteurs, la maturation commencerait lorsque les niveaux cellulaires d'ATP sont bas (Jeacocke, 1993) ou que le pH a atteint la barre des 6,2, ce qui permet une libération effective du calcium pour l'activation des enzymes (Dransfield, 1992a, b, c).

Puisque nous abordons le concept de maturation et de l'impact de la protéolyse sur la tendreté, une question semble inévitable : est-ce que l'importance de l'effet du pH sur la tendreté perdure suite à une période de maturation? Certaines études ont observé un effet pH persistant malgré une période de maturation (Bouton et al., 1972a; Jeremiah et al., 1991; Purchas et al., 1999), tandis que d'autres en sont venues à la conclusion que le pH affectait la vitesse d'attendrissement de la viande, mais qu'il n'avait plus d'effet sur la force de cisaillement lorsque la période de maturation était suffisamment longue (Watanabe et al., 1996). Autre aspect intéressant, pour un pH ultime normal, une vitesse de chute du pH ou une vitesse de glycolyse plus grande semble favoriser une protéolyse plus rapide et une tendreté accrue tout au long de la maturation (O'Halloran et al., 1997a; O'Halloran et al., 1997b). Ce constat pourrait s'expliquer par la température plus élevée à pH égal lorsque la vitesse de chute du pH est supérieure. En effet, il a été suggéré que l'activité protéolytique est favorisée par des températures plus élevées (Dransfield et al., 1981b; Dransfield, 1992c). Des niveaux différents d'activités enzymatiques entre les types de fibres pourraient également expliquer ce constat (O'Halloran et al., 1997b; Sazili et al., 2005).

Fragmentation myofibrillaire et protéolyse. Puisque l'action des protéases et la dégradation des protéines myofibrillaires semblent importantes, il sera question de l'indice

de fragmentation myofibrillaire (IFM) et de son impact en ce qui a trait à la tendreté de la viande. Comme son nom l'indique, cet indice est une mesure du niveau de fragmentation ou de dégradation des myofibrilles. Une augmentation de la tendreté durant la maturation est associée à une augmentation de l'IFM (Silva et al., 1999). Le niveau de fragmentation augmente en fonction du nombre de jours post-mortem (Olson et al., 1976) et il est supérieur chez les viandes tendres par rapport à celles considérées dures (Culler et al., 1978). De plus, il semblerait que la fragmentation soit plus importante suite à une longue maturation pour les viandes ayant un pH ultime plus élevé (Purchas et al., 1999). Par contre, Watanabe et al. (1996) ont montré une diminution du pourcentage de IFM après une période de maturation de six jours en fonction d'une augmentation du pH ultime. La fragmentation minimale fût observée à pH 6,4 (Watanabe et al., 1996). Dans une étude comparative menée entre le porc, le bœuf et l'agneau, une plus grande dégradation de la desmine et globalement un plus grand indice de fragmentation ont été observés au jour un chez le porc, qui est alors plus tendre à ce moment (Koohmaraie et al., 1991). Or, cette constatation n'est pas inattendue puisque la desmine est une protéine retrouvée au niveau du disque Z et que cette structure subit d'importants changements au cours de la maturation (Davey et Dickson, 1970). Il a été démontré que certaines protéines structurales étaient effectivement dégradées au cours de la maturation (Koohmaraie et al., 1996). Une dégradation plus importante de la troponin-T, de la desmine, de la nébuline et de la titine a d'ailleurs été observée chez des longes de bœuf plus tendres (O'Halloran et al., 1997a). La dégradation de différentes protéines importantes au niveau du cytosquelette des myofibrilles ou de la régulation de la contraction, soit la desmine, la nébuline, la titine et la troponine-T, semble plus rapide pour des longissimus thoracis présentant une tendreté supérieure au jour un (Huff-Lonergan et al., 1996). Selon certains chercheurs, le niveau de dégradation de la troponine T augmenterait au cours de la maturation (Pommier et al., 1987) et pourrait expliquer jusqu'à 60 % de la variation de la dureté (Penny et Dransfield, 1979). L'importance de la protéolyse des protéines myofibrillaires sur la tendreté est d'ailleurs supportée et a fait l'objet de revues (Goll et al., 1983; Koohmaraie, 1994).

Activités enzymatiques. Il semble maintenant pertinent, après avoir présenté l'effet du pH, de la maturation, de la fragmentation myofibrillaire et de la protéolyse de présenter les

différents acteurs pouvant être impliqués dans les processus protéolytiques menant à l'obtention de la texture finale de la viande. Bien que d'autres catégories de protéases existent et semblent impliquées dans l'attendrissement de la viande, telles les protéasomes (Robert *et al.*, 1999), et dues à leur importance mineure démontrée jusqu'à maintenant (Koohmaraie, 1996), seuls les cathepsines et le système des calpaïnes seront discutés.

Les cathepsines sont en fait des protéases actives sous pH acide, que l'on retrouve au niveau des lysosomes (Goll et al., 1983). Il existe plusieurs formes de cathepsines (A, B, C, D et L) (Pearson et Young, 1989). Il semble que la diminution rapide du pH suite à l'abattage (glycolyse rapide) favorise une plus grande activité des cathepsines B et L, ce qui pourrait expliquer en partie la plus grande tendreté observée chez ces pièces de viande (O'Halloran et al., 1997b). De plus, lorsque l'activité est mesurée communément (c'est-àdire B+L), une plus grande activité globale des cathepsines B et L a été retrouvée chez le porc, une espèce dont la viande s'attendrit plus rapidement que le bœuf et l'agneau (Koohmaraie et al., 1991). Toutefois, lors de cette étude, la plus grande activité de la cystatine, l'inhibiteur des cathepsines, était aussi mesurée chez le porc. De plus, les principaux substrats de ces enzymes, l'actine et la myosine, n'étaient pas dégradés substantiellement, ce qui laisse croire que leur action n'est pas responsable de la différence de tendreté. Dans une revue de littérature, Koohmaraie (1996) en arrive à la conclusion que bien qu'ayant le potentiel de dégrader la myosine et l'actine, les cathepsines ne peuvent être impliquées de manière importante dans la maturation, puisque ces protéines ne sont pas dégradées durant cette période. D'ailleurs, on retrouve un taux d'attendrissement différent entre le bœuf et l'agneau, malgré des niveaux de cathepsines similaires, ce qui laisse présager une importance mineure de ces enzymes lors de l'attendrissement (Koohmaraie et al., 1991). De plus, elles ne peuvent être très efficaces au début de la maturation étant donné leur localisation au niveau des lysosomes (Robert et al., 1999). À ce sujet, certaines études ont démontré une libération plus rapide des cathepsines D et une rupture des lysosomes suite à la baisse de pH (Pommier et al., 1987) sans toutefois obtenir d'amélioration de la tendreté, alors que d'autres n'observent aucune rupture des lysosomes (Whipple et al., 1990). L'injection in situ d'inhibiteur des cathepsines jette un sérieux doute quant à un rôle de première importance de ces protéases dans l'attendrissement de la viande, puisque les muscles ainsi traités n'ont démontré aucune différence de tendreté ou de fragmentation des protéines structurales (Uytterhaegen *et al.*, 1994; Hopkins et Thompson, 2001). Il semble donc que les cathepsines ne jouent qu'un rôle mineur dans l'attendrissement de la viande.

Le système des calpaïnes, jadis appelées protéases calcium-dépendantes, semble le candidat le plus important en ce qui a trait à la protéolyse post-mortem (Goll et al., 1983 Koohmaraie, 1996). Deux calpaïnes ont été investiguées afin de connaître leur rôle respectif. Il s'agit de la calpaïne I ou μ-calpaïne et de la calpaïne II ou m-calpaïne. Or, bien que les deux enzymes soient omniprésentes, les études tendent à démontrer que la ucalpaïne serait la plus impliquée lors de la maturation (Koohmaraie et al., 1987; Koohmaraie, 1996). L'action protéolytique de la µ-calpaïne a aussi été démontrée in vitro via l'incubation de myofibrilles (Geesink et Koohmaraie, 1999). La μ-calpaïne nécessite une faible concentration de calcium pour être activée et perd de son activité au cours de la maturation, contrairement à la m-calpaïne dont le niveau demeure relativement constant et inchangé, ce qui démontre la très faible contribution de cette dernière (Koohmaraie et al., 1987; Ilian et al., 2001; Veiseth et al., 2001). Un niveau de calcium insuffisant pour activer la m-calpaïne pourrait expliquer sa stabilité dans le temps (Whipple et Koohmaraie, 1991). Lors d'une glycolyse rapide engendrant une viande plus tendre, O'Halloran et al. (1997b) ont noté une activité accrue de la µ-calpaïne trois heures post-mortem. L'utilisation de µcalpaïne pour la digestion de myofibrilles in vitro a donné le même patron de dégradation des protéines structurales que celui retrouvé pour une viande maturée normalement (Huff-Lonergan et al., 1996). L'utilisation de produits inhibant les calpaïnes a permis de voir des différences de tendreté et de dégradation protéique comparativement à un témoin (Uytterhaegen et al., 1994; Hopkins et Thompson, 2001). Outre l'implication de plus en plus évidente et reconnue des calpaïnes, particulièrement la μ-calpaïne, l'analyse des ARNs messagers a permis de trouver une corrélation entre le taux d'attendrissement et le niveau d'expression d'une calpaïne spécifique aux muscles, la calpaïne 3 (Ilian et al., 2001).

Comme dans bien des systèmes, le système des calpaïnes et son action sont modulés, en partie, via le niveau d'activité de son inhibiteur, la calpastatine. En effet, lors d'une étude

cherchant à comparer la protéolyse et l'implication des différentes enzymes chez le porc l'agneau et le bœuf, Koohmaraie et al. (1991) ont démontré une différence entre les niveaux de l'inhibiteur selon l'espèce ainsi qu'une différence dans le taux d'attendrissement. Une autre étude a aussi permis d'observer une différence de la concentration en calpastatine pour ces mêmes espèces (Ouali et Talmant, 1990). La calpastatine semble influencer le taux d'attendrissement en s'inactivant au cours de la maturation à des niveaux différents selon la vitesse d'attendrissement. Ce niveau d'inactivation est corrélé avec le niveau de fragmentation de la troponine T (Dransfield, 1993, 1994; Lonergan et al., 2001), protéine myofibrillaire fortement dégradée lors de la maturation et qui explique une partie de la différence de tendreté (Penny et Dransfield, 1979). Dans le même ordre d'idées, l'activité de la calpastatine est corrélée positivement avec la force de cisaillement (Koohmaraie, 1994; Lonergan et al., 2001) et négativement corrélée avec l'indice de fragmentation myofibrillaire (McDonagh et al., 1999). Une diminution d'attendrissement, tant au niveau de la vitesse que de l'intensité, a aussi été démontrée in vitro via l'incubation de myofibres, avec de la calpaïne et de la calpastatine (Geesink et Koohmaraie, 1999). De plus, il a été démontré qu'une activité de la calpastatine inférieure trois heures post-mortem, lors d'une glycolyse plus rapide, engendre une viande plus tendre (O'Halloran et al., 1997b). Finalement, il a été montré plus récemment que l'activité de la calpastatine est corrélée positivement (r = 0,725) avec l'isoforme lent des chaînes lourdes de myosine (fibre à contraction lente) chez différents muscles ovins (Sazili et al., 2005).

2.2.3.3. Le gras intramusculaire

Le contenu en gras de différents muscles chez le porc semble relié à la tendreté, cette dernière augmentant chez les pièces dont le contenu en gras est supérieur (Henning *et al.*, 1973; Cromwell *et al.*, 1978; Wood *et al.*, 2004). Lors d'une étude où une corrélation positive entre le gras intramusculaire et la tendreté a été retrouvée, la différence de tendreté entre deux races de porc a disparu lorsque le gras intramusculaire a été introduit comme covariable (Enfält *et al.*, 1997). Un constat similaire ressort aussi pour la viande bovine, où à l'intérieur des différentes catégories de carcasses (classement USDA), les steaks les plus tendres contenaient significativement plus de gras intramusculaires (Davis *et al.*, 1979). D'autres recherches ont également démontré un impact positif du gras intramusculaire sur

la tendreté chez cette espèce (McBee et Wiles, 1967; Savell *et al.*, 1987) et chez l'agneau (Smith et Carpenter, 1970; Okeudo et Moss, 2005). Par contre, la relation n'est pas toujours perçue (Jones *et al.*, 1991) ou n'est que très faible dans certaines recherches qui suggèrent que le gras intramusculaire serait plus relié à la jutosité qu'à la tendreté (Pearson, 1966; Kim *et al.*, 2003). Différentes théories ont été émises afin de comprendre de quelles manières le gras pourrait agir sur la tendreté. Smith et Carpenter (1976) présentent quatre théories différentes selon lesquelles le gras pourrait agir soit via :

- Une réduction de la masse par unité de volume et de la résistance au cisaillement;
- Une réduction de l'épaisseur de tissu conjonctif de part et d'autre du dépôt;
- Un effet « lubrifiant » au niveau des fibres qui semblent alors plus juteuses et tendres;
- Un effet isolant qui diminue l'intensité de la chaleur transmise lors de la cuisson.

2.2.4. Flaveur

La flaveur de la viande est le terme utilisé de manière à décrire la combinaison des sensations perçues au niveau des papilles gustatives (saveur) ainsi que de la tache olfactive (odeur). Les papilles permettent de distinguer le sucré, le salé, l'amer et le sur, tandis que la tache olfactive permet la perception d'une panoplie de composés libérés lors de la cuisson ou de la mastication. Il s'agit d'un aspect très important quant à l'appréciation sensorielle d'une pièce de viande et particulièrement dans le cas de la viande d'agneaux. En effet, la faible consommation de ce produit carnée *per capita* en comparaison avec celles du bœuf, du porc et du poulet s'explique par un certain dédain de l'odeur et du goût caractéristiques de cette viande (Smith et Carpenter, 1976; Young et Braggins, 1999). On lui reproche parfois d'avoir une odeur et/ou un « goût de laine », alors que d'autres consommateurs apprécient particulièrement cette saveur d'agneau. L'étude des composés responsables de la flaveur de cette viande devient alors très intéressante afin de comprendre les facteurs pouvant conduire à une viande plus ou moins appréciable.

Toutefois, la nature hédoniste et culturelle rattachée à l'appréciation ou non de cette viande vient compliquer les recherches. Par exemple, lors d'une étude comparant une race d'agneau britannique à une race d'agneau espagnole par le biais d'un panel de dégustation

de chacune des nationalités, les résultats obtenus indiquent que chacune des cultures préférait son agneau, bien que chacun des panels obtenait les mêmes différences entre la flaveur des deux types d'agneaux en question (Sanudo *et al.*, 1998). Afin d'étudier ce concept de la qualité de la viande de manière scientifique, il devient très important de déterminer et d'identifier les composés impliqués dans la flaveur, tout en décrivant de manière objective les odeurs et saveurs perçues s'y rattachant. Ensuite, il est intéressant de déterminer quelles sont les préférences des consommateurs visés.

2.2.4.1. *Les tissus*

Dans une série d'articles datant du début des années 60, Hornstein et Crowe (1960; 1963) ont proposé une implication différentielle des tissus au niveau de la flaveur. En effet, leurs travaux suggèrent que le tissu maigre serait responsable de la flaveur commune à l'ensemble des viandes tandis que la partie lipidique conférerait la flaveur spécifique de chacune des espèces. L'importance du tissu lipidique en ce qui concerne la flaveur propre aux espèces ressort également d'une autre étude effectuée en 1968 par Wasserman et Talley. Les résultats de cette recherche montrent que la capacité des dégustateurs à identifier la viande d'agneau a diminué lorsque l'échantillon ne contenait pas de gras, mais l'ajout de gras d'agneau à la viande de veau a favorisé l'identification du veau comme de l'agneau chez les juges (Wasserman et Talley, 1968). Lors d'une autre étude, les juges n'ont pu différencier l'arôme de bœuf et d'agneau provenant des extraits protéiques, mais ils y sont arrivés lorsque les extraits contenaient leur gras respectif (Pearson et al., 1973). Ces résultats démontrent la présence d'un ou de plusieurs composés dans le tissu lipidique qui confèrent une flaveur spécifique à l'espèce, de même que la présence dans le tissu maigre de composés impliqués dans la flaveur commune aux différentes viandes. Il s'agit ici d'une simplification de la situation, traçant un portrait général fort intéressant, mais laissant place à plusieurs questions. Quels sont donc ces différents composés responsables de la flaveur? De quelles réactions proviennent-ils? Et quelles molécules sont leurs précurseurs? Voilà des questions qui seront approfondies au cours de la section qui suit.

2.2.4.2. Les composés volatils

Un concept important en ce qui a trait à la flaveur de la viande, c'est qu'elle est induite principalement lors de la cuisson (Mottram, 1998). La chaleur favorise ainsi la formation, la réaction et la libération d'une pléiade de composés volatils. Les principales réactions permettant la formation de ces composés sont la réaction de Maillard (réaction d'un acide aminé avec un sucre réducteur) ainsi que la dégradation des lipides sous l'influence de la chaleur. De plus, les produits formés lors de l'une ou l'autre de ces réactions peuvent réagir ensemble afin de former d'autres composés volatils. Toutes ces réactions conduisent à la formation d'un bon nombre de produits volatils et bien que des centaines d'entre eux soient impliqués dans la détermination de la flaveur (Mottram, 1998), seuls les principaux, ceux identifiés ou soupçonnés d'avoir une importance particulière au niveau de la flaveur de la viande ovine, seront discutés dans cette revue. Les premières familles de composés qui seront discutés sont de type aliphatique, c'est-à-dire des composés organiques dont la chaîne carbonée n'est pas fermée : les carbonyles, les acides gras à chaîne ramifiée et le 4heptanal. Les secondes familles dont il sera question sont plutôt de type hétérocyclique, c'est-à-dire des composés organiques dont la chaîne carbonée est fermée : les phénols, les composés soufrés, les composés azotés et le 3-méthylindole.

Les carbonyles. Une des premières familles proposées comme responsables, ne serait-ce qu'en partie, de l'arôme spécifique de la viande ovine est la famille des carbonyles (Hornstein et Crowe, 1963). Lors de leur étude, Hornstein et Crowe (1963) ont chauffé du gras d'agneau, puis condensé l'ensemble des composés volatils produits. La solution obtenue dégageait une forte odeur de mouton, odeur qui n'était plus retrouvée une fois les carbonyles enlevés de la solution. De plus, en étudiant la fraction neutre des substances volatiles provenant du gras d'agneau, Caporaso et son équipe (1977) ont identifié 51 composés, dont plusieurs aldéhydes et cétones. Du nombre, ils ont identifié 10 aldéhydes et 3 cétones (ainsi qu'une lactone) semblant contribuer à l'odeur spécifique de la viande d'agneau. Différents carbonyles ont aussi été retrouvés lors d'études portant soit sur les composés volatils non acides produits suite à la cuisson de viande d'agneau, soit sur les composés volatils provenant du gras et reliés à la flaveur d'agneau (Nixon *et al.*, 1979; Young *et al.*, 1997). Toutefois, bien qu'elle semble avoir un impact, cette famille de

composés n'est pas unique à l'agneau. En effet, les aldéhydes (saturés ou insaturés) constituent la majeure partie des composés volatils produits lors de la cuisson de la viande bovine (Larick *et al.*, 1987).

Les acides gras à chaîne ramifiée (BCFA). Bien que la majeure partie des acides gras constituant la fraction lipidique chez les animaux soit des acides gras à longue chaîne, certains acides gras possédant une chaîne courte et ramifiée sont retrouvés dans le tissu lipidique des ovins et des caprins contrairement aux autres ruminants (Duncan et Garton, 1978; Ha et Lindsay, 1990). Étant donné leur structure, ils sont identifiés comme étant des acides gras à chaîne ramifiée ou BCFA (« Branched-Chain Fatty Acid »). Dès 1975, Wong et son équipe ont démontré que la présence de ces acides gras ramifiés chez l'espèce ovine semblait corrélée avec l'apparition de l'odeur caractéristique de cette viande (Wong et al., 1975a). La contribution de ces acides gras ramifiés à l'odeur de mouton retrouvée lors de la cuisson de cette viande a depuis été démontrée et ces deux paramètres sont bien corrélés (Young et al., 1997). Trois principaux BCFA seraient impliqués dans le développement de l'odeur et la flaveur spécifiques, et pour certains indésirables, de mouton. Il s'agit des acides 4-méthyloctonoïque, 4-méthylnonanoïque (Wong et al., 1975a) et 4-éthyloctanoïque (Ha et Lindsay, 1990). Une étude sur les acides gras volatils conclut que les acides gras à huit carbones ramifiés à la position 4 ont une odeur caractéristique de mouton et de chèvre (Brennand et al., 1989). De plus, une ramification éthyle ou méthyle chez les acides gras à huit carbones abaisse leur seuil de détection, confirmant d'une certaine façon leur implication dans la flaveur de la viande malgré leur faible concentration (Brennand et al., 1989). Le seuil de détection le plus bas semble être celui de l'acide 4-éthyloctanoïque, molécule caractérisée par une forte odeur de chèvre (Brennand et al., 1989). L'ajout de 4méthyloctanoïque synthétique à de la viande d'agneau démontre l'importance de cet acide gras dans la flaveur de la viande en augmentant significativement le goût de mouton de la viande dégustée par un panel de dégustation (Wong et al., 1975b). Une étude portant sur la variation de la concentration de BCFA dans différents tissus lipidiques chez l'ovin a démontré une présence particulièrement importante des BCFA au niveau du gras souscutané, conférant ainsi une grande importance à ce tissu en ce qui a trait à l'odeur et la flaveur de cette viande (Brennand et Lindsay, 1992a). Finalement, il a été démontré que bien que la concentration du 4-méthylnonanoïque ne varie que d'un niveau non détectable à cinq fois le seuil de détection, les concentrations de 4-méthyloctanoïque et 4-éthyloctanoïque retrouvées chez la viande ovine correspondent à des centaines de fois leur seuil de détection, ramenant encore une fois l'idée de l'importance de ces composés pour l'odeur et aussi la flaveur caractéristique de cette viande (Brennand et Lindsay, 1992b).

L'acide linolénique et 4-heptanal. Une étude portant sur l'influence de l'alimentation sur les composés volatils produits lors de la cuisson nous apprend qu'un produit de l'oxydation de l'acide linolénique, le 4-heptanal, a été identifié en quantité dépassant largement son seuil de détection et qu'il pourrait avoir une certaine importance pour la flaveur de la viande ovine (Elmore *et al.*, 2000). Dans une autre étude où les résultats n'étaient pas concluants, les auteurs proposent tout de même une implication possible du 4-heptanal dans la flaveur reliée à une alimentation au pâturage, en ramenant toujours l'idée de sa formation via l'oxydation de l'acide linolénique présent en plus grande quantité sous ce régime (Young et Baumeister, 1999).

Les phénols et thiophénol. Les phénols ont été observés dans la viande ovine pour la première fois dans une étude de 1979 où le phénol et certains crésols ont été retrouvés dans la fraction non acide des composés volatils produits (Nixon *et al.*, 1979). Ils ont aussi été identifiés parmi les composés volatils du foie de mouton (Lorenz *et al.*, 1983). Toutefois, c'est une étude de Ha et Lindsay (1991) qui confère une certaine importance aux phénols quant à la flaveur de la viande ovine. Lors de cette étude, où les différents alkylphénols présents au niveau des tissus lipidiques de différentes espèces animales étaient quantifiés (ovin, caprin, bovin, cervidé, équin et porcin), un plus grand nombre de phénols ont été retrouvés chez les ovins, et ce, à des concentrations supérieures aux autres espèces (Ha et Lindsay, 1991). Un autre aspect intéressant est que certaines études démontrent que le gras de bélier a une très forte concentration de phénols (Brennand et Lindsay, 1992b), tandis que le gras d'agneau a une concentration tout juste au-dessus des seuils de détection (Ha et Lindsay, 1991). Un mélange à partir de différents alkylphénols en concentration respectant celle du gras de bélier produit une flaveur de mouton (Ha et Lindsay, 1991), ce qui leur confère une certaine importance dans l'arôme spécifique de la viande ovine. Les mêmes

alkylphénols se retrouvent au niveau du gras de la laine qui a une odeur très caractéristique, mais en concentration différente (Ha et Lindsay, 1991). Plus intéressant encore, la présence de thiophénol dans le gras des ovins et caprins, dont la concentration est particulièrement élevée chez le bélier (Ha et Lindsay, 1991; Brennand et Lindsay, 1992b). En forte concentration, ce composé peut produire un arôme déplaisant, soufré et carbonisé (Ha et Lindsay, 1991). Toutefois, lorsqu'ils sont retrouvés en plus faible quantité, les thiols aromatiques produisent un arôme rappelant celui de la viande (Baines et Mlotkiewicz, 1984).

Les composés soufrés. L'implication du thiophénol dans la flaveur caractéristique de la viande ovine suggère que des composés soufrés ont également un rôle à jouer dans le profil final. Il a été démontré que plusieurs composés soufrés cycliques ou acycliques sont présents dans les composés volatils de viande ovine cuite (Nixon et al., 1979; Madruga et Mottram, 1995). Les seuils de détection de ces composés sont très bas, ce qui les rend détectables à de faibles concentrations d'un point de vue aromatique (Buttery et al., 1984). Ils sont reconnus pour avoir un arôme semblable à la viande lorsqu'ils sont en faible concentration, mais ce dernier devient rapidement sulfureux avec une augmentation de leur concentration. Bien que l'arôme correspondant ne rappelle pas directement celle du mouton, ces produits semblent tout de même importants pour l'appréciation de la viande ovine. De plus, lors de la cuisson, le gras d'agneau dégage une plus grande quantité de sulfure d'hydrogène (bien connu pour son odeur désagréable) que le tissu maigre, mais aussi que le gras de bœuf (Kunsman et Riley, 1975). Il a été suggéré que les besoins accrus en acides aminés soufrés pour la production de laine ainsi qu'une méthode de stockage du soufre unique au niveau lipidique expliqueraient cette différence (Cramer, 1983). Ces acides aminés soufrés et le sulfure d'hydrogène pourraient réagir avec certains sucres ou carbonyles et ainsi former une panoplie de composés soufrés impliqués dans l'arôme de la viande ovine.

Les composés azotés. Tel que mentionné précédemment, la réaction de Maillard est l'une des principales réactions engendrant la production de composés volatils lors de la cuisson. Cette réaction engendre entre autres la formation de composés azotés tels que les pyrazines

et les pyridines (Whitfield et al., 1988). Lors d'une étude en 1995, l'analyse des arômes produits en mélangeant et en chauffant certains acides aminés en présence de ribose a révélé des odeurs allant de « semblable au caramel » à « très sulfureux » en passant par une odeur « semblable à la viande rôtie » (Meynier et Mottram, 1995). Plusieurs des composés retrouvés étaient azotés, d'autres contenaient un atome de soufre et certains contenaient les deux atomes. Puisque les viandes disposent des groupements aminés et des sucres réducteurs nécessaires à la formation des composés azotés, ces derniers semblent bien participer à la flaveur des viandes, mais de manière non spécifique à la flaveur ovine. La présence de ces composés semble commune à plusieurs viandes tels le bœuf, l'agneau et le porc. L'analyse des composés volatils produits après avoir grillé la partie basique du gras d'agneau a démontré la présence de différents composés azotés tels que les alkylpyrazine et les pyridines (Buttery et al., 1977). De la même manière, plusieurs de ces composés basiques ont aussi été isolés parmi les composés volatils de bœuf et de porc grillés; les alkylpyrazines étant présents en plus grande proportion (Watanabe et Sato, 1971; Mottram, 1985). Ces composés semblent contribuer aux flaveurs de type grillé et/ou rôti chez les viandes (MacLeod et Coppock, 1977; Mottram, 1985), mais aussi (pyrazine seulement) chez les noix (Mason et Johnson, 1966), le cacao (Van Praagg et al., 1968) et le café (Bondarovich et al., 1967). Dans un article de 1977, Buttery et al. rapportent une grande quantité d'alkylpyridine que d'alkylpyrazine dans les volatiles de gras d'agneau grillé et proposent que ce facteur puisse contribuer au dédain de certains consommateurs en attribuant une odeur moins désirable aux pyridines (Buttery et al., 1977).

Le 3-méthylindole. Dans une étude de 1997, Young et son équipe ont identifié le 3-méthylindole dans les volatiles de gras ovin fondu (Young *et al.*, 1997). La présence de ce composé était corrélée avec les termes « animal » et « rance » pour ce qui est des arômes produits. Ils ont proposé une implication de ce composé dans la flaveur indésirable de la viande ovine. Toutefois, son implication semble surtout fonction de l'alimentation, puisque sa présence est corrélée avec une alimentation aux pâturages (Young *et al.*, 1997; Young *et al.*, 2003). Cette molécule, aussi appelée *scatole*, est reconnue pour causer une flaveur indésirable chez le porc (Annor-Frempong *et al.*, 1997) et semble être plus présente chez les mâles entiers de cette espèce (Bonneau *et al.*, 1992). Cette molécule proviendrait

possiblement de la dégradation du tryptophane (Claus *et al.*, 1994), ce qui expliquerait sa plus grande concentration chez les ruminants nourris aux pâturages. Chez les moutons nourris aux pâturages, elle pourrait accentuer la perception des BCFA (Priolo *et al.*, 2001).

2.2.4.3. Les acide gras

Tel que mentionné précédemment, l'oxydation des acides gras produit un bon nombre de composés volatils impliqués dans la flaveur des viandes. Or, le niveau d'insaturation du tissu lipidique semble influencer la quantité de composés volatils produits. En effet, il a été démontré chez le bœuf qu'un bon nombre de composés volatils provenant de l'oxydation des lipides et impliqués dans l'arôme augmentent suite à une augmentation du contenu en acide gras polyinsaturés (PUFA) de la viande (Elmore et al., 1999). Bien que le mécanisme ne soit pas encore parfaitement démontré, les auteurs proposent une augmentation de l'oxydation des acides gras insaturés 18:1 et 18:2 produite ou catalysée par l'auto-oxydation plus rapide des acides gras polyinsaturés. Cette augmentation de produits volatils a aussi été démontrée chez des agneaux supplémentés avec de l'huile de poisson et/ou de l'huile de lin, mais de manière moins importante que chez le bœuf (Elmore et al., 2000). De plus, cette augmentation de produits de la dégradation des lipides pourrait agir sur la formation d'autres produits via une interaction avec certains composés provenant de la réaction de Maillard (Elmore et al., 1997).

Ce qui est intéressant, c'est que les PUFA se retrouvent principalement au niveau des phospholipides chez les ruminants et que les phospholipides ont été identifiés comme une source importante de produits volatils impliqués dans l'arôme lors de la cuisson des steaks de bœuf (Mottram et Edwards, 1983). Il y a donc possibilité que le niveau d'insaturation ait un impact sur la flaveur. En effet, des changements au niveau de la composition en acide gras des phospholipides (Larick et Turner, 1989) ainsi que des changements de la flaveur ont été observés chez le bœuf passant d'un régime à base de fourrages à un régime à base de grains (Larick et Turner, 1990). Les articles traitant d'une différence de flaveur entre les ruminants nourris aux pâturages et ceux nourris à base de concentrés sont nombreux (Melton *et al.*, 1982b; Melton *et al.*, 1982a; Larick *et al.*, 1987; Young *et al.*, 2003), tout comme ceux indiquant une différence dans le niveau des PUFA n-6 et n-3 des tissus

adipeux d'animaux nourris selon ces régimes (les régimes à base de concentrés favorisant les PUFA n-6 dont le 18:2 et les régimes sous pâturages favorisant les PUFA n-3 dont le 18:3) (Melton *et al.*, 1982b; Marmer *et al.*, 1984; Steen et Porter, 1997; Enser *et al.*, 1998). Tous ces facteurs mis en place démontrent un rôle probable du niveau d'insaturation des acides gras sur la flaveur de la viande d'agneau.

2.2.4.4. *Le pH ultime*

Il sera ici question d'un paramètre récurant en qualité de la viande, le pH. Ce dernier a un impact sur la flaveur des viandes. En effet, un pH anormalement élevé rend la flaveur de steaks de bœuf inacceptable pour un panel de dégustation (Dutson et al., 1982). Une seconde étude effectuée à la même époque et sur la même espèce arrive à des conclusions similaires (Fjelkner-Modig et Rudérus, 1983). Lors de cette étude, trois catégories de viande de bœuf ont été présentées aux juges et la viande DFD (pH \geq 6,20) avait une flaveur de faible intensité comparativement à la viande dont le pH était normal (pH \leq 5,80) ou bien même moyennement DFD (pH = 5,81-6,19). Durant la période de maturation de 14 jours, la flaveur de la viande à pH normal s'améliorait tandis que celle de la viande DFD ne changeait pas ou se détériorait. Certains échantillons DFD présentaient même une flaveur légèrement sulfureuse (Fjelkner-Modig et Rudérus, 1983). Chez le porc, une étude a présenté une relation quadratique de l'intensité de la flaveur en fonction du pH (Dransfield et al., 1985). Cette dernière était maximale à pH 5,9 et diminuait de chaque côté de cette valeur. Une tendance inverse semblait se dessiner pour l'intensité des flaveurs étrangères. Du côté ovin, une étude a démontré une différence de flaveur entre les races Merino et Coopworth (Young et al., 1993). Interrogé sur la flaveur perçue au niveau de la viande, le panel a utilisé une plus grande proportion de termes négatifs tels que « fade », « odeur de poisson», « pas frais » et « rance » lorsque la viande provenait d'agneaux de la race Merino et plus de termes positifs tels que « flaveur de bœuf » lorsqu'il s'agissait d'agneaux Coopworth (Young et al., 1993). Or, il y avait un effet pH significatif entre les deux races, la viande de Merino ayant un pH ultime supérieur. De plus, tout comme dans le cas du bœuf, le panel a constaté une flaveur de viande ovine de plus faible intensité pour les animaux Merino. Les graphiques effectués en fonction du pH indiquaient une diminution de la saveur de viande ovine et une augmentation des flaveurs étrangères avec une

augmentation du pH, la seconde relation étant plus forte (Young *et al.*, 1993). En se basant sur la littérature, les auteurs émettent l'hypothèse qu'un pH plus élevé pourrait favoriser la formation de produits très odorants comme le thiophénol chez cette race.

Une étude, évaluant la formation de certains produits de la réaction de Maillard sous différents pH en utilisant un modèle aqueux plutôt que la viande elle-même, a aussi démontré l'impact de ce paramètre sur le développement de la flaveur (Meynier et Mottram, 1995). Les concentrations des différents composés volatils formés variaient selon le pH du milieu : la concentration de certains composés augmentait avec une augmentation du pH, tandis que pour d'autres elle diminuait et que pour certains elle ne variait pas. Tout comme dans le cas précédent, une autre étude a démontré que les différents composés augmentent, diminuent ou restent constants selon le pH (Madruga et Mottram, 1995). Toutefois, une plus grande quantité de composés volatils sont formés au total lorsque le pH devient plus acide (Madruga et Mottram, 1995). Lors de cette expérience conduite sur de la viande de bœuf, les composés hétérocycliques subissaient un effet pH important, tandis que les composés aliphatiques n'étaient pratiquement pas influencés. Or, une autre étude rapporte une diminution des composés aliphatiques avec l'augmentation du pH chez l'agneau (Braggins, 1996). Toutefois, les pH étudiés n'étaient pas les mêmes dans les deux études, allant de 4,0 à 5,6 dans le cas de Madruga et Mottram (1995) et de 5,66 à 6,81 dans le cas de Braggins (1996). Malgré tout, le constat concernant la quantité totale de composés volatils va dans le même sens, puisqu'ils ont remarqué une diminution de ces composés en fonction d'une augmentation du pH (Madruga et Mottram, 1995; Braggins, 1996). De plus, l'intensité moyenne de la flaveur et de l'odeur de la viande a diminué avec une augmentation du pH et une diminution des composés volatiles (Braggins, 1996). Pour ce qui est des termes utilisés par le panel pour décrire les odeurs et les flaveurs perçues, ils avaient une connotation moins désirable avec une augmentation du pH, ce qui n'est pas sans rappeler l'étude de Young et al. (1993). Finalement, les auteurs émettent l'hypothèse que la concentration moins importante des composés produisant une flaveur désirable sous pH plus élevé permettrait la perception de composés moins désirables, leur flaveur n'étant plus masquée (Braggins, 1996). En résumé, une variation du pH ultime peut amener un changement au niveau des composés volatils produits, ce qui se reflèterait sur l'intensité de la flaveur de la viande et des flaveurs étrangères.

2.3. IMPACT DE L'EXPOSITION AU FROID

2.3.1. Les besoins énergétiques

Lorsqu'on expose des animaux à différents stress, certaines réponses physiologiques se produisent. Une température sous la zone de confort des animaux représente un stress qui a des répercussions au niveau du métabolisme (NRC, 1981; Young, 1981). Dans une revue de littérature sur le sujet, Slee (1971) expose deux types de réponses, soit un premier favorisant la réduction des pertes de chaleur (piloérection, vasoconstriction, diminution de la respiration) et un second engendrant une demande accrue d'énergie (frisson, battements de cœur plus rapides, métabolisme plus élevé). Ces différentes réponses influencent les vitesses de transfert de la chaleur entre l'intérieur et la surface de l'animal ainsi qu'entre la surface et l'environnement (Christopherson et Young, 1981). Il a été démontré chez certains ruminants (ovins et bovins) que l'exposition au froid engendre une augmentation de la production de chaleur (Blaxter et Wainman, 1961) et une augmentation du métabolisme (Graham et al., 1959; Webster et al., 1970; Young, 1975a, b). De plus, une acclimatation peut se produire suite à une exposition chronique au froid, permettant à l'animal de maintenir sa température corporelle. Chez des bovins acclimatés au froid, une augmentation du métabolisme au repos ainsi qu'une diminution de la température inférieure critique⁵ ont été rapportées (Webster et al., 1970; Young, 1975a). Delfino et Mathison (1991) rapportent des besoins à l'entretien plus importants pour des bouvillons élevés au froid dus en partie à une augmentation de la production de chaleur (41 % d'augmentation des besoins en énergie métabolisable à l'entretien). Une expérience menée chez des ovins non tondus a démontré que ces derniers peuvent s'acclimater au froid qu'il soit naturel ou artificiel et que cette acclimatation engendre une augmentation des taux métaboliques (Webster et al., 1969). Une acclimatation au froid ainsi qu'une augmentation du métabolisme au repos et du taux métabolique maximal dû au froid (taux maximal sans qu'il

⁵ Température inférieure critique : température minimale en deçà de laquelle l'animal doit augmenter son taux métabolique de production de chaleur afin de maintenir son homéothermie

y ait de chute de la température corporelle) ont aussi été rapportées pour des ovins tondus (Slee, 1972) (pour revue voir Slee, 1971). Une étude a démontré une augmentation de la production de chaleur lorsque les ovins étaient soumis à une période de froid comparativement à une période de neutralité thermique, soit 5,7 kcal/kg poids métabolique à 20 °C vs 7,1 kcal/kg poids métabolique à 1 °C (Sano *et al.*, 1995). L'acclimatation engendre donc certaines réponses physiologiques permettant à l'animal de maintenir son homéothermie.

En ce qui a trait aux valeurs de température inférieure critique, elles varient en fonction du niveau d'isolation procuré par la laine chez les ovins, ainsi qu'avec l'humidité, le vent et l'âge (NRC, 1981). Ceci rend complexe la détermination de valeur précise pour l'agneau en croissance. Le NRC (1981) fait tout de même mention de température de l'ordre de 25 °C pour des agneaux en croissance recevant une alimentation comblant les besoins d'entretien lorsqu'ils sont tondus et soumis à un vent de 5,5 m/s, tandis que cette température s'abaisse à -20 °C lorsque les animaux disposent d'une toison. Le tableau 2.5 présente d'ailleurs différentes températures inférieures critiques pour l'ovin (NRC, 1981). La température permettant une croissance maximale des agneaux serait de 13 °C s'ils sont tondus et elle diminuerait lorsque les agneaux conservent leur toison (NRC, 1981).

Tableau 2.5. Estimation de la température inférieure critique chez l'ovin

Toison, alimentation	Température inférieure critique (°C)	Source
Tondu, à l'entretien	25	Ames, 1969
Tondu, <i>ad libidum</i>	13	Brink et Ames, 1975
5 mm, à l'entretien	25	Blaxter, 1967
5 mm, à jeun	31	Blaxter, 1967
5 mm, ad libidum	18	Blaxter, 1967
1 mm, à l'entretien	28	Blaxter, 1967
10 mm, à l'entretien	22	Blaxter, 1967
50 mm, à l'entretien	9	Blaxter, 1967
100 mm, à l'entretien	-3	Blaxter, 1967

Adapté de NRC (1981)

De plus, une exposition quotidienne intermittente au froid cause une certaine adaptation des mécanismes régulant la température corporelle chez les bovins (Bergen *et al.*, 2001; Kennedy *et al.*, 2005) et les ovins tondus (Slee, 1972; Graham *et al.*, 1981). Toutefois, cette adaptation diffère de l'acclimatation retrouvée chez les animaux exposés à un froid chronique et elle a été attribuée par Slee à l'habituation (Slee, 1971, 1972).

Ces différentes réponses au froid suggèrent une augmentation des besoins énergétiques. D'ailleurs, le NRC (1981) rapporte une augmentation des besoins en énergie à l'entretien qui proviendrait de l'effet d'acclimatation lors de longues périodes d'exposition, mais aussi des réponses directes afin de maintenir l'homéothermie lors d'exposition à un froid aigu.

2.3.2. La thermogénèse

Le contrôle de la température corporelle, ou thermorégulation, se fait principalement selon deux mécanismes : la thermogénèse avec frisson et la thermogénèse sans frisson.

2.3.2.1. Avec frisson

Un des signes les plus visibles de la production de chaleur est le frisson (Blaxter, 1989). Il est le résultat de contractions musculaires rythmiques et involontaires (Hocquette *et al.*, 1998). Les différents substrats énergétiques peuvent être utilisés lors du frisson, mais l'importance de l'utilisation de chacun dépendra de l'intensité du froid, de la durée d'exposition ainsi que de l'état physiologique de l'animal (Hocquette *et al.*, 2000). Chez le porcelet, il est le principal moyen de thermorégulation et certains changements métaboliques surviennent afin de permettre une production d'ATP suffisante pour ne pas limiter le frissonnement (Berthon *et al.*, 1994; Berthon *et al.*, 1996).

2.3.2.2. Sans frisson

De son côté, la thermogénèse sans frisson est un mécanisme permettant la production de chaleur sans qu'il y ait contraction musculaire (Jansky, 1973; Himms-Hagen, 1976). Ce mode de régulation est retrouvé chez les petits mammifères, chez les nouveaux nés de différentes espèces ainsi que chez les animaux hibernants et ceux acclimatés au froid (Jansky, 1973). Le tissu adipeux brun (BAT) est un site de thermogénèse sans frisson

important et il a été identifié par certains chercheurs comme étant le site principal (Foster et Frydman, 1978a, b). Contrairement au porcelet, où ce tissu n'est pas retrouvé ou seulement en quantité négligeable (Trayhurn et al., 1989), ce tissu est présent chez plusieurs espèces animales (Trayhurn, 1989). Chez l'agneau, ce tissu se développe durant la vie fœtale, mais il est converti en tissu adipeux blanc (WAT) au cours des premières semaines de vie (Alexander et Williams, 1968; Thompson et Jenkinson, 1969; Symonds et al., 1992). Il est tout de même impliqué dans la thermogénèse sans frisson chez l'agneau nouvellement né. Chez d'autres espèces comme le rat, l'humain et certaines espèces hibernantes, le BAT peut-être présent durant la vie de l'animal (Huttunen et al., 1981; Trayhurn, 1989). Toutefois, le tissu adipeux brun ne serait pas le seul tissu capable de thermogénèse sans frisson (Jansky, 1973). Plusieurs études tendent à démontrer que le tissu musculaire pourrait aussi être impliqué dans ce phénomène. En effet, différents constats appuient l'idée d'une thermogénèse sans frisson au sein des muscles de canards, comme l'observation d'une augmentation du métabolisme oxydatif et un certain découplage au niveau mitochondrial (Barre et al., 1985; Barre et al., 1986b; Barre et al., 1986a; Barre et al., 1987; Duchamp et al., 1992). Une diminution du couplage entre l'oxydation et la phosphorvlation a aussi été rapportée au sein des mitochondries subsarcollemales⁶ chez le porc acclimaté au froid, de même qu'une augmentation des mitochondries et particulièrement des mitochondries situées sous le sarcolemme (Herpin et Barre, 1989; Herpin et Lefaucheur, 1992). Ces changements au niveau des mitochondries subsarcollemales ont aussi été rapportés chez le rat (Buser et al., 1982). Le découplage ou une diminution du couplage de l'oxydation et de la phosphorylation permet le retour des protons à l'intérieur de la mitochondrie sans utiliser l'ATP synthase, ce qui résulte en une production de chaleur (Horton et al., 1994; Hocquette et al., 2000). Cette fuite de protons semble participer au métabolisme basal chez le rat et une participation possible à la thermogénèse a été proposée (Rolfe et Brand, 1996, 1997). Une protéine de la membrane mitochondriale permettant le rétablissement du gradient de protons en produisant de la chaleur plutôt que de l'ATP a d'abord été identifiée dans le tissu adipeux brun (où elle est impliquée dans la thermogénèse sans frisson) et nommée « uncoupling protein » (UCP)

⁶ Mitochondries subsarcolemmales : Mitochondries situés à la périphérie des cellules musculaires. Elles produisent l'ATP nécessaire au transport actif des nutriments et ions à travers la membrane cellulaire ainsi qu'à la phosphorylation des métabolites.

(Boss *et al.*, 1998). L'identification de membres de cette famille au sein des muscles squelettiques chez le rat et l'humain (Boss *et al.*, 1997) ainsi que chez le porc (Damon *et al.*, 2000) amène une nouvelle voie pour la compréhension de la régulation métabolique. Toutefois, jusqu'à maintenant l'expression de ces nouveaux membres au niveau des muscles ne semble pas influencée par le froid (Boss *et al.*, 1997; Boss *et al.*, 1998).

2.3.3. Impact sur les paramètres de croissance

2.3.3.1. La consommation alimentaire

L'exposition au froid a un effet au niveau de la consommation des animaux. En effet, les animaux nourris à volonté et élevés dans un environnement froid consomment plus d'aliments que les témoins gardés à des températures situées dans la zone de confort, et ce, chez différentes espèces tels le porc (Herpin et al., 1987; Lefaucheur et al., 1991; Herpin et Lefaucheur, 1992), l'ovin (Webster et al., 1969; Slee, 1971; Brink et Ames, 1975; Ekpe et Christopherson, 2000; Moibi et al., 2000) et le bovin (Webster et al., 1970; NRC, 1981; Berthiaume et Roy, 1994). Chez le porc, certaines études ont démontré qu'une exposition à des températures plus froides (8 °C ou 12 °C vs 23 °C) résulte en une augmentation de la prise alimentaire de 20 % (Herpin et al., 1987; Herpin et Lefaucheur, 1992), ce qui est en accord avec les résultats de Lefaucheur et al.(1991). Chez le bovin, le NRC (1981) suggère une augmentation de la prise alimentaire de 2 à 25 % selon l'importance du froid, tandis que Berthiaume et Roy (1994) ont obtenu des valeurs de 10-15 %. Chez l'agneau, la revue de littérature de Slee (1971) suggère aussi une augmentation de la prise alimentaire de l'ordre de 20 % pour des ovins élevés à l'extérieur durant l'hiver. Le tableau 2.6 présente d'ailleurs des résultats ayant le même ordre de grandeur pour cette espèce (environ 20-25 % jusqu'à 20 °C). Toutefois, des essais effectués récemment au centre d'expertise en production ovine du Québec n'ont pas révélé de différences significatives pour la consommation de moulée entre les agneaux élevés dans un environnement tempéré (6,3 °C en 2003 et 10,5 °C en 2004) ou un environnement froid (-7,5 °C en 2003 et -4,7 °C en 2004) (Vachon et al., 2007). De plus, il est important de mentionner qu'un froid extrême peut causer un stress sévère résultant en une diminution de la consommation (Slee, 1971; NRC, 1981).

Tableau 2.6. Effet de la température sur l'azote ingérée par des agneaux de 4 mois d'âge

Température (°C)	Azote ingérée (g/j)
-5	40,5
0	34,3
5	33,3
10	28,0
15	30,2
20	29,1
30	27,6
35	19,6

Adapté de Ames et Brink (1977)

2.3.3.2. Le gain moyen quotidien

Au niveau de la croissance, Delfino et Mathison (1991) ont observé un gain moyen quotidien (GMQ) supérieur (+0,22 kg/j) pour des bouvillons élevés à l'intérieur (16,9 °C) comparativement à ceux gardés à l'extérieur sous des températures plus froides (-7,6 °C), ce qui concorde avec les résultats de Milligan et Christison (1974) où les GMQ étaient inférieurs durant les mois les plus froids. Le même constat a été fait chez les veaux (Berthiaume et Roy, 1994). Chez le porc, une diminution du GMQ de 17,8 g (Fuller et Boyne, 1971) ou 15 g (Verstegen *et al.*, 1978) pour chaque degré Celcius en moins sous 20 °C a d'ailleurs été proposé lorsque la consommation alimentaire est constante. Par contre, un GMQ similaire a été obtenu pour des porcs élevés à 12 et 28 °C et alimentés *ad libitum* (Lefaucheur *et al.*, 1991). Les résultats obtenus par Holme et Coey (1967) ont démontré une augmentation du GMQ pour des porcs élevés sous une température plus froide lorsqu'ils étaient alimentés à volonté et une diminution lorsque l'alimentation était restreinte. Ce résultat suggère donc qu'il existe une relation importante entre la consommation et le GMQ et qu'elle est susceptible d'influencer la réponse au froid.

Chez l'ovin, différents résultats ont été rapportés en ce qui a trait à l'impact de la température d'élevage sur le GMQ d'agneaux tondus alimentés *ad libitum*. D'une part, certains auteurs ont démontré qu'une exposition au froid diminue le GMQ (Brink et Ames, 1975; Ames et Brink, 1977) (Tableau 2.8) De leur côté, Ekpe et Christopherson (2000) ont observé une diminution du GMQ lors de la première période d'exposition au froid (cinq

semaines à 0 vs 23 °C), mais une augmentation lors de la période suivante (encore cinq semaines). D'autres études ont observé une augmentation du GMQ lorsque les agneaux sont élevés sous une température plus froide, soit respectivement 5 vs 18 et 31 °C et 0 vs 23 °C (Schanbacher et al., 1982; Moibi et al., 2000). L'étude de Moibi (2000) propose d'ailleurs une augmentation du GMO d'environ 38 % pour des agneaux élevés à 0 °C comparativement à des agneaux gardés à 23 °C. Par contre, cette augmentation ne surviendrait que chez les ovins alimentés ad libitum (Moibi et al., 2000). Tout comme dans le cas de l'étude de Holme et Coey (1967), l'augmentation de la consommation alimentaire pourrait donc en partie expliquer la différence de GMQ. Lors d'une étude menée récemment au Québec, un GMQ ayant tendance à être légèrement supérieur (P = 0.06) a été observé durant la période hivernale chez des agneaux non tondus élevés dans un environnement froid (-7,5 °C en 2003 et -4,7 °C en 2004) comparativement à celui d'agneaux gardés dans un environnement tempéré (6,3 °C en 2003 et 10,5 °C en 2004) (Vachon et al., 2007), cette différence n'étant toutefois pas significative. Il semble donc y avoir une certaine variation entre les différentes études concernant l'impact de la température d'élevage sur le gain moyen quotidien de l'agneau.

Tableau 2.7. Effet de la température sur les performances de croissance d'agneaux

Température (°C)	GMQ (g/j)	Efficacité alimentaire (gain/aliment)
-5	72,6	0,038
0	129,9	0,080
5	169,8	0,108
10	192,1	0,145
15	197	0,138
20	184,3	0,134
30	106,5	0,081
35	41,4	0,044

Adapté de Ames et Brink (1977)

2.3.3.3. Conversion et efficacité alimentaire

Il ressort des différentes études portant sur des animaux élevés au froid que le ratio gain : aliment est inférieur comparativement aux animaux témoins, et ce, chez le porc (Herpin *et al.*, 1987; Lefaucheur *et al.*, 1991), le bovin (Webster *et al.*, 1970; Milligan et Christison, 1974; Delfino et Mathison, 1991) et l'ovin (Brink et Ames, 1975; Ames et Brink, 1977; Li *et al.*, 2000). Cette diminution de l'efficacité alimentaire pourrait bien s'expliquer par une digestibilité inférieure (Blaxter et Wainman, 1961), résultant en une diminution de l'énergie métabolisable (Graham *et al.*, 1959). Toutefois, certaines études menées chez l'agneau n'ont pas observé de différence significative entre l'efficacité alimentaire d'agneaux élevés au froid (0 °C) et au chaud (23 °C) (Ekpe et Christopherson, 2000; Moibi *et al.*, 2000). Une étude menée au Québec durant la période hivernale n'a d'ailleurs pu démontrer de différence au niveau de la conversion alimentaire d'agneaux élevés en bergerie froide et en bergerie chaude (Vachon *et al.*, 2007).

2.3.3.4. Digestibilité

Une étude a démontré une diminution de la digestibilité de la matière sèche et de l'azote pour des ovins, des veaux et des bouvillons de l'ordre de 0,31 %, 0,21 % et 0,08 % respectivement pour chaque degré Celsius de chute de la température d'élevage qui était de 18 °C et de -10 °C pour les ovins (Christopherson, 1976). Une diminution de la digestibilité a été rapportée pour les animaux de ferme soumis à des températures sous la zone de confort par le NRC (1981), ce qui est généralement bien appuyé et accepté (Blaxter, 1989). Plusieurs études menées chez le mouton ont démontré le même phénomène, soit une diminution de la digestibilité de la matière sèche, de la matière organique et de la fibre (Kennedy et al., 1976; Westra et Christopherson, 1976; Kennedy et Milligan, 1978). Ces études arrivent à la conclusion que cette diminution est causée par une motilité plus importante du réticulo-rumen et un temps de rétention plus cours dans le tractus gastrointestinal (Kennedy et al., 1976; Westra et Christopherson, 1976; Kennedy et Milligan, 1978). Les mêmes conclusions ont été émises pour le bovin (Miaron et Christopherson, 1992). Toutefois, aucune différence de digestibilité n'a été observée entre des ovins non tondus gardés à -15 °C et 20 °C (Christopherson et Kennedy, 1983). Selon les chercheurs, les animaux étaient suffisamment bien isolés grâce à leur toison, ce qui pourrait expliquer l'absence de différence au niveau de la digestibilité. En effet, il semblerait y avoir une plus grande variation de la digestibilité en fonction de la température lorsque les moutons sont tondus (Christopherson, 1976). De plus, l'impact de la température sur la digestibilité dépendrait de la nature de l'alimentation : la digestibilité des rations à base de fourrage serait affectée par le froid tandis que celle des rations à base de concentré ne le serait pas (Christopherson et Kennedy, 1983).

2.3.4. Impact sur le muscle

Outre les différents impacts dont il a été question jusqu'ici, le froid semble aussi engendrer des changements au niveau musculaire. Une étude rapporte une plus grande proportion de fibres SO dans le muscle semispinalis (SS; considéré comme rouge) chez des porcs élevés à 12 °C comparativement à ceux élevés à 28 °C (Lefaucheur et al., 1991). Ce résultat a aussi été obtenu pour le romboïdeus (rouge) de porc élevé à 8 °C comparativement à 23 °C (Herpin et Lefaucheur, 1992). Dans les deux études, aucun changement significatif au niveau de la proportion des fibres SO n'a été rapporté pour le longissimus dorsi (LD). Toutefois, dans l'étude de Herpin et Lefaucheur (1992), le pourcentage de fibres FOG a augmenté tandis que celui des FG a diminué dans le LD des porcs élevés à 8 °C. Des études subséquentes ont confirmé et infirmé ces changements au niveau de la proportion des fibres chez le porc (Lebret et al., 1998; Lebret et al., 2002). Une augmentation des fibres rouges a été observée au niveau du semitendinosus de rat acclimaté au froid (Behrens et Himms-Hagen, 1977), de même qu'une augmentation des fibres FOG au détriment des FG pour le gastrocnemius de cochons d'Inde aussi acclimaté au froid (Ratzin Jackson et al., 1987). Duchamp et al. (1992) ont rapporté une augmentation des fibres SO dans la partie rouge du muscle gastrocnemius chez les canards adaptés au froid. Bien que les changements ne soient pas les mêmes au sein de chaque muscle, il semble bien y avoir des conversions entre les types de fibres lors d'exposition prolongée au froid (Soni et Katoch, 1997). Une température d'élevage plus froide semble donc engendrer une augmentation du métabolisme oxydatif, des muscles rouges du moins.

Cette augmentation du métabolisme oxydatif a également été mesurée chez différents muscles du porc via les activités enzymatiques de la SDH, CS et/ou HAD (Dauncey et

Ingram, 1988; Dauncey et Ingram, 1990; Lefaucheur et al., 1991). Une augmentation de la capacité oxydative a aussi été rapportée pour des muscles de canards acclimatés au froid (Barre et al., 1987; Duchamp et al., 1992). Des changements mitochondriaux ont été observés chez le rat et le cochon d'Inde exposés au froid (Depocas, 1966; Behrens et Himms-Hagen, 1977; Buser et al., 1982; Kinnula et al., 1983). Certaines études rapportent aussi une augmentation de la quantité de capillaires suite à une acclimatation au froid (Sillau et al., 1980; Ratzin Jackson et al., 1987; Duchamp et al., 1992). L'ensemble de ces constats appuie l'idée d'une augmentation du métabolisme oxydatif chez les animaux soumis au froid. Or, dans le cas de l'étude de Lefaucheur et al. (1991), l'activité glycolytique du longissimus a aussi augmenté sous la température d'élevage plus froide, ce qui s'est traduit par un potentiel glycolytique supérieur, une chute post-mortem de pH plus rapide et un pH ultime inférieur.

Au niveau du gras intramusculaire, Lefaucheur *et al.* (1991) ont rapporté une augmentation de la teneur en lipides pour le *semispinalis* chez des porcs élevés au froid, tandis qu'aucune différence dans la teneur en lipides du *semimebranosus*, du *rhomboïdeus* et du *longissimus dorsi* n'a été remarquée (Lefaucheur *et al.*, 1991; Herpin et Lefaucheur, 1992; Lebret *et al.*, 2002). Une augmentation du volume des gouttelettes lipidiques a été constatée chez des rats acclimatés au froid pour différents muscles (Buser *et al.*, 1982) de même qu'une augmentation des lipides totaux chez les fibres rouges et intermédiaires (Soni et Katoch, 1997).

2.3.5. Impact sur la qualité de la viande

Les changements au niveau musculaire décrits précédemment laissent entrevoir des impacts potentiels sur la qualité de la viande. Or, peu d'études sont rapportées en ce qui a trait à l'impact du froid sur la qualité de la viande. Les quelques résultats portant directement sur l'impact du froid sont ici présentés de même que certains où le froid pourrait être indirectement impliqué.

Chez le porc, une perte en eau de la viande moins importante au niveau du *semispinalis* a été observée chez les porcs élevés à une température de 12 °C comparativement à 28 °C

(Lefaucheur *et al.*, 1991). D'autres expériences ont démontré une diminution de l'intensité et de l'homogénéité de la couleur perçue par un panel de dégustation pour des jambons salés à sec provenant d'animaux élevés sous des températures plus « froides », c'est-à-dire 17 °C vs 24 °C (Lebret *et al.*, 1998; Lebret *et al.*, 2002).

Une étude sud-coréenne a rapporté une diminution des paramètres de couleur L*, a*, b*, C* et h° donnant une viande plus sombre et moins rouge pour des bovins Hanwoo abattus durant la saison hivernale où la température était inférieure à 5 °C (Kim et al., 2003). Toutefois, les auteurs discutent de l'impact de cette température lors du transport et de l'abattage, mais ne traitent pas du mode d'élevage. Une étude irlandaise a révélé une plus grande incidence de bœufs à coupe sombre (pH plus élevé et viande plus foncée) durant les mois de septembre à janvier et les auteurs suggèrent plusieurs causes possibles tels un stress dû à la température (moins important sous leur climat), un stress dû à une diminution de la qualité nutritive des pâturages et un stress préabattage plus important causé par une augmentation de l'achalandage à l'abattoir (Tarrant et Sherington, 1980). Ces résultats concordent avec ceux d'une étude menée chez l'agneau qui a observé une augmentation du pH de 0,25 unité (pour le semimembranosus, semitendinosus et le longissimus dorsi) lorsque la température extérieure movenne durant la nuit passait de 13 °C à -1 °C (soit une augmentation de 0.018 ± 0.004 unité de pH par °C de diminution) (Furnival et al., 1977). De plus, lorsque la température passait de 13 °C à -1 °C la force nécessaire au cisaillement augmentait de 26 %. Dans cette étude, les auteurs expliquent ces effets par le stress causé par les températures froides la nuit précédant l'abattage. Toutefois, une question s'impose : ces effets sont-ils le résultat d'une exposition ponctuelle au froid ou bien les conséquences d'une acclimatation ? La demande énergétique supplémentaire pourrait réduire les réserves de glycogène et ainsi réduire l'acidification post-mortem du muscle résultant en une viande DFD.

2.4. CONCLUSION GENERALE, OBJECTIFS ET HYPOTHESES DE RECHERCHE

L'ensemble des informations contenues dans cette revue de littérature permet de mieux comprendre le grand nombre de paramètres susceptibles d'influencer la qualité de la

viande. D'une manière générale, le pH (vitesse de chute et pHu) est l'un des facteurs les plus déterminants pour l'ensemble des paramètres de qualité organoleptique. Le type de fibres musculaires, les différences d'activités oxydative et glycolytique et la teneur et la composition en lipides semblent aussi être des facteurs agissant à plusieurs niveaux sur la qualité des produits carnés. Or, le pH, les lipides, l'activité oxydative et glycolytique et donc le type de fibres pourraient bien être influencés par l'acclimatation à des températures froides. Tel que présenté dans cette revue, des changements au niveau de ces paramètres pourraient influencer la qualité de la viande. De plus, l'exposition à des températures plus froides pourrait avoir un impact au niveau de la croissance et/ou de la consommation de l'animal. Présentement, bien peu d'études ont étudié l'impact de la température d'élevage sur la qualité de la viande produite. Il apparaît donc plus que pertinent, dans le contexte climatique et économique de l'industrie ovine québécoise, d'investiguer l'impact de l'environnement d'élevage des agneaux lourds durant la période hivernale sur les performances de croissance et la qualité de la viande.

L'objectif de cette étude est de mesurer et d'expliquer l'impact de l'environnement d'élevage des agneaux lourds lors de la période hivernale, en utilisant une bergerie isolée (environnement tempéré) et une bergerie non isolée (environnement froid). Une telle étude permettra d'évaluer les conséquences de cette pratique sur : 1) les paramètres zootechniques (GMQ, consommation et conversion alimentaire, durée de croissance); 2) la qualité de la carcasse (mesures à ultrason pour les épaisseurs de gras dorsal et de l'œil de longe, conformation, rendement carcasse, rendements en viande vendable et en viande maigre); 3) le métabolisme, le type de fibres musculaires et le contenu en lipides et, principalement 4) les différents paramètres de la qualité organoleptique (couleur, jutosité, tendreté et flaveur) mesurés de manière objective et par un panel de dégustation.

Les différentes hypothèses de recherche sont que les agneaux élevés dans l'environnement froid :

consomment plus d'aliments ou réduisent d'autres dépenses énergétiques telle leur croissance de manière à combler l'augmentation des besoins, si augmentation il y a;

- ont un métabolisme musculaire oxydatif plus élevé et possèdent une plus forte proportion de fibres SO et/ou FOG;
- ont un potentiel glycolytique inférieur dû aux modifications métaboliques, ce qui peut engendrer un pH ultime plus élevé;
- ont une teneur en lipide intramusculaire supérieure;
- produisent une viande dont les caractéristiques organoleptiques diffèrent de celle provenant des agneaux élevés dans l'environnement tempéré en raison des changements au niveau musculaire.

2.5. BIBLIOGRAPHIE

- Abril, M., M.M. Campo, A. Önenç, C. Sanudo, P. Alberti et A.I. Negueruela. 2001. Beef colour evolution as a function of ultimate pH. Meat Sci. 58: 69-78.
- Alasnier, C., H. Rémington et G. Gandemer. 1996. Lipid characteristics associated with oxydative and glycolytic fibres in rabbit muscles. Meat Sci. 43: 213-224.
- Alexander, G. et D. Williams. 1968. Shivering and non-shivering thermogenesis during summit metabolism in young lambs. J. Physiol. 198: 251-276.
- Ames, D.R. et D.R. Brink. 1977. Effect of temperature on lamb performance and protein efficiency ratio. J. Anim. Sci. 44: 136-140.
- Annor-Frempong, I.E., G.R. Nute, F.M. Whittington et J.D. Wood. 1997. The problem of taint in pork 1. Detection thresholds and odour profiles of androstenone and skatole in a model system. Meat Sci. 1: 45-55.
- April, E.W., P.W. Brandt et G.F. Elliott. 1972. The myofilament lattice: studies on isolated fibers. J. Cell. Biol. 53: 53-65.
- Asghar, A. et A.R. Bhatti. 1987. Endogenous proteolytic enzymes in skeletal muscle: their significance in muscle physiology and during postmortem aging events in carcasses. Adv. Food Res. 31: 343.
- Ashmore, C.R. et L. Doerr. 1971a. Comparative aspects of muscle fiber types in different species. Exp. Neurol. 31: 408-418.
- Ashmore, C.R. et L. Doerr. 1971b. Postnatal development of fiber types in normal and dystrophic skeletal muscle of the chick. Exp. Neurol. 30: 431-446.
- Ashmore, C.R., G. Tompkins et L. Doerr. 1972a. Postnatal development of muscle fiber types in domestic animals. J. Anim. Sci. 34: 37-41.
- Ashmore, C.R., W. Parker et L. Doerr. 1972b. Respiration of mitochondria isolated from dark-cutting beef: post-mortem changes. J. Anim. Sci. 34: 46-48.

- Atkinson, J.J. et M.J. Follett. 1973. Biological studies on the discoloration of fresh meat. J. Food Tech. 8: 51-58.
- Aurousseau, B., D. Bauchart, E. Calichon, D. Micol et A. Priolo. 2004. Effect of grass or concentrate feeding systems and rate of growth on triglyceride and phospholipid and their fatty acids in the M. longissimus thoracis of lambs. Meat Sci. 66: 531-541.
- Bailey, A.J. 1972. The basis of meat texture. J. Sci. Food Agric. 23: 995-1007.
- Bailey, A.J. et N. Light. 1989. Connective tissue in meat and meat products. Elsevier science publisher, New york, États-Unis, 355 pp.
- Baines, D.A. et J.A. Mlotkiewicz. 1984. The chemistry of meat flavor. Dans: A.J. Bailey (éd.). In: Recent advances in the chemistry of meat. p. 119. Royal Society of Chemistry, Londres, Royaume-Unis.
- Barany, M. 1967. ATPase activity of myosine correlated with speed of muscle shortening. J. Gen. Physiol. 50: 197-218.
- Barre, H., A. Geloen, J. Chatonnet, A. Dittmar et J.L. Rouanet. 1985. Potentiated muscular thermogenesis in cold-acclimated muscovy duckling. Am. J. Physiol. 249: R533-538.
- Barre, H., J. Nedergaard et B. Cannon. 1986a. Increased respiration in skeletal muscle mitochondria from cold-acclimated ducklings: uncoupling effects of free fatty acids. Comp. Biochem. Physiol. B 85: 343-348.
- Barre, H., F. Cohen-Adad, C. Duchamp et J.L. Rouanet. 1986b. Multilocular adipocytes from muscovy ducklings differentiated in response to cold acclimation. J. Physiol. 375: 27-38.
- Barre, H., L. Bailly et J.L. Rouanet. 1987. Increased oxidative capacity in skeletal muscles from cold-acclimated ducklings: a comparison with rats. Comp. Biochem. Physiol. B. 88: 519-522.
- Bass, A., D. Brdiczka, P. Eyer, S. Hofer et D. Pette. 1969. Metabolic differentiation of distinct muscle types at the level of enzymatic organization. Eur. J. Biochem. 10: 198-206.
- Bate-Smith, E.C. 1948. The physiology and chemistry of rigor mortis, with special reference to the aging of beef. Adv. Food Res. 1: 1.
- Behrens, W.A. et J. Himms-Hagen. 1977. Alteration in skeletal muscle mitochondria of cold-acclimated rats: association with enhanced metabolic response to noradrenaline. J. Bioenerg. Biomembr. 9: 41-63.
- Bekhit, A.E.D., G.H. Geesink, J.D. Morton et R. Bickerstaffe. 2001. Metmyoglobin reducing activity and colour stability of ovine longissimus muscle. Meat Sci. 57: 427-435.
- Bekhit, A.E.D. et C. Faustman. 2005. Metmyoglobin reducing activity. Meat Sci. 71: 407-439.

- Berthiaume, R. et G.L. Roy. 1994. Feed consumption of fall calving beef cows kept either outside or inside. Ontario Beef Research Update, University of Guelph: 58-59.
- Bendall, J.R. 1972. Consumption of oxygen by the muscles of beef animals and related species, and its effects on the colour of meat I. Oxygen consumption in pre-rigor muscle. J. Sci. Food Agric. 23: 61-72.
- Bendall, J.R. et D.J. Restall. 1983. The cooking of single myofibres, small myofibre bundles and muscle strips from beef M. psoas and M. sternomandibulis muscles at varying heating rates and temperatures. Meat Sci. 8: 93-117.
- Bergen, R.D., A.D. Kennedy et R.J. Christopherson. 2001. Effects of intermittent cold exposure varying in intensity on core body temperature and resting heat production of cattle. Can. J. Anim. Sci. 81: 459-465.
- Berthon, D., P. Herpin et J. le Dividich. 1994. Shivering thermogenesis in the neonatal pig. J. Therm. Biol. 19: 413-418.
- Berthon, D., P. Herpin, R. Bertin, F. De Marco et J. le Dividich. 1996. Metabolic changes associated with sustained 48-hr shivering thermogenesis in the newborn pig. Comp. Biochem. Physiol. B. 114: 327-335.
- Bertram, H.C., P.P. Purslow et H.J. Andersen. 2002. Relationship between meat structure, water mobility, and distribution: A low-field nuclear magnetic resonance study. J. Agric. Food Chem. 50: 824-829.
- Bertram, H.C., A. Schäfer, K. Rosenvold et H.J. Andersen. 2004. Physical changes of significance for early post mortem water distribution in porcine M. longissimus. Meat Sci. 66: 915-924.
- Blaxter, K. 1989. Energy metabolism in animals and man. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Unis, 336 pp.
- Blaxter, K.L. et F.W. Wainman. 1961. Environmental temperature and the energy metabolism and heat emission of steers. J. Agric. Sci. (Camb.) 56: 81-87.
- Bondarovich, H.A., P. Friedel, V. Krampl, J.A. Renner, F.W. Shephard et M.A. Gianturco. 1967. Volatile constituents of coffee. Pyrazine and other compound. J. Agric. Food Chem. 15: 1093.
- Bonneau, M., M. Le Denmat, J.C. Vaudelet, J.R. Veloso Nunes, A.B. Mortensen et H.P. Mortensen. 1992. Contribution of fat androstenone and skatole to boar taint I. Sensory attributes of fat and pork meat. Livest. Prod. Sci. 32: 63-80.
- Boss, O., S. Samec, A. Paoloni-Giacobino, C. Rossier, A. Dulloo, J. Seydoux, P. Muzzin et J.P. Giacobino. 1997. Uncoupling protein-3: a new member of the mitochondrial carrier family with tissue-specific expression. FEBS Lett. 408: 39-42.
- Boss, O., P. Muzzin et J.-P. Giacobino. 1998. The uncoupling proteins, a review. Eur. J. Endocrinol. 139: 1-9.
- Bouton, P.E., P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1971. Effect of ultimate pH upon the water-holding capacity and tenderness of mutton. J. Food Sci. 36: 435-439.

- Bouton, P.E., P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1972a. The effect of ultimate pH on ovine muscle: mechanical properties. J. Food Sci. 37: 356-360.
- Bouton, P.E., P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1972b. The effect of ultimate pH on ovine muscle: water-holding capacity. J. Food Sci. 37.
- Bouton, P.E., F.D. Carroll, P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1973. Influence of pH and fiber contraction state upon factors affecting the tenderness of bovine muscle. J. Food Sci. 38: 404-407.
- Bouton, P.E., P.V. Harris, J.J. Macfarlane et W.R. Shorthose. 1982. Influence of pH on the Warner-Bratzler shear properties of mutton. Meat Sci. 5: 27-36.
- Braggins, T.J. 1996. Effect of stress-related changes in sheepmeat ultimate pH on cooked odor and flavor. J. Agric. Food Chem. 44: 2352-2360.
- Bratzler, L.J. 1971. Palatability factors and evaluations. Dans: J.F. Price and B.S. Schweigert (éds.). The science of meat and meat products. p. 328-348, San Francisco, États-Unis.
- Brennand, C.P., J.K. Ha et R.C. Lindsay. 1989. Aroma properties and thresholds of some branched-chain and other minor volatile fatty acids occuring in milkfat and meat lipids. J. Sens. Stud. 4: 105-120.
- Brennand, C.P. et R.C. Lindsay. 1992a. Distribution of volatile branched-chain fatty acids in various lamb tissues. Meat Sci. 31: 411-421.
- Brennand, C.P. et R.C. Lindsay. 1992b. Influence of cooking on concentration of species-related flavor compounds in mutton. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 25: 357-364.
- Briand, M., A. Talmant, Y. Briand, G. Monin et R. Durand. 1981a. Metabolic types of muscle in the sheep: I. Myosin ATPase, glycolytic, and mitochondrial enzyme activities. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 46: 347-358.
- Briand, M., A. Talmant, Y. Briand, G. Monin et R. Durand. 1981b. Metabolic types of muscle in the sheep: II. Lactate dehydrogenase activity and LDH isoenzyme distribution. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 46: 359-365.
- Brink, D.R. et D.R. Ames. 1975. Effect of ambient temperature on lamb performance. J. Anim. Sci. 41: 264 (Abstr.).
- Briskey, E.J. et R.G. Kauffman. 1971. Quality characteristics of muscle as a food. Dans: J.F. Price and B.S. Schweigert (éds.). The science of meat and meat products. p. 367-401, San Francisco, États-Unis.
- Brooke, M.H. et K.K. Kaiser. 1970. Muscle fiber types: How many and what kind. Arch. Neurol. 23: 369-379.
- Brooks, J. 1929. Post-mortem formation of methaemoglobin in red muscle. Biochem. J. 23: 1391.
- Brown, W.D. et H.E. Snyder. 1969. Nonenzymatic reduction and oxydation of myoglobin and hemoglobin by nicotinamide adenine dinucleotides and flavins. J. Biol. Chem. 244: 6702-6706.

- Brown, W.D. et L.B. Mebine. 1969. Autoxidation of oxymyoglobin. J. Biol. Chem. 244: 6696-6701.
- Budohoski, L., J. Gorski, K. Nazar, H. Kaciuba-Uscilko et R.L. Terjung. 1996. Triacylglycerol synthesis in the different skeletal muscle fiber sections of the rat. Am. J. Physiol. 271: E574-581.
- Buser, K.S., B. Kopp, P. Gehr, E.R. Weibel et H. Hoppeler. 1982. Effect of cold environment on skeletal muscle mitochondria in growing rats. Cell Tissue Res. 225: 427-436.
- Buttery, R.G., L.C. Ling, R. Teranishi et T.R. Mon. 1977. Roasted lamb fat: Basic volatile components. J. Agric. Food Chem. 25: 1227.
- Buttery, R.G., W.F. Haddon, R.M. Seifer et J.D. Turnbaugh. 1984. Thiamin odor and bis (2-methyl-3-furyl) disulphide. J. Agric. Food Chem. 32: 674-676.
- Caporaso, F., J.D. Sink, P.S. Dimick, C.J. Mussinan et A. Sanderson. 1977. Volatile flavor constituents of ovine adipose tissue. J. Agric. Food Chem. 25: 1230-1234.
- Cassens, R.G. et C.C. Cooper. 1971. Red and white muscle. Adv. Food Res. 19: 1.
- Chan, W.K.M., C. Faustman et E.A. Decker. 1997a. Oxymyoglobin oxidation as affected by oxidation products of phosphatidylcholine. J. Food Sci. 62: 709-712.
- Chan, W.K.M., C. Faustman, M. Yin et E.A. Decker. 1997b. Lipid oxidation induced by oxymyoglobin and metmyoglobin with involment of H2O2 and superoxide anion. Meat Sci. 46: 181-190.
- Christopherson, R.J. 1976. Effects of prolonged cold and the outdoor winter environment on apparent digestibility in sheep and cattle. Can. J. Anim. Sci. 56: 201-212.
- Christopherson, R.J. et B.A. Young. 1981. Heat flow between large terrestrial animals and the cold environment. Can. J. Chem. Eng. 59: 181-188.
- Christopherson, R.J. et P.M. Kennedy. 1983. Effect of the thermal environment on digestion in ruminants. Can. J. Anim. Sci. 63: 477-496.
- CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). 1976. 18th Session, CIE Publications, Londres, Royaume-Unis.
- Claus, R., U. Weiler et A. Herzog. 1994. Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar a review with experimental data. Meat Sci. 38: 289-305.
- Clydesdale, F.M. et F.J. Francis. 1971. The chemistry of meat color. Food Prod. Dev. 5: 81-89.
- Coro, F.A.G., E.Y. Youssef et M. Shimokomaki. 2003. Age related changed in poultry breast meat collagen pyridinoline and texture. J. Food Biochem. 26: 533-541.
- Cramer, D.A. 1983. Chemical compounds implicated in lamb flavor. Food Technol. 37: 249.
- Cromwell, G.L., V.W. Hays, V. Trujillo et J.D. Kemp. 1978. Effects of dietary protein and energy levels for growing-finishing swine on performance, muscle composition and eating quality of pork. J. Anim. Sci. 47: 505-513.

- Cross, H.R., B.D. Schanbacher et J.D. Crouse. 1984. Sex, age breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. Meat Sci. 10: 187-195.
- Cross, H.R., P.R. Durland et S.C. Seideman. 1986. Sensory qualities of meat. Dans: P.J. Bechtel (éd.). Muscle as food. p. 279-315. Academic press, Orlando, États-Unis.
- Crouse, J.D., H.R. Cross et S.C. Seideman. 1985. Effects of sex condition, genotype, diet and carcass electrical stimulation on the collagen content and palatability of two bovine muscles. J. Anim. Sci. 60: 1228-1234.
- Culler, R.D., F.C. Parrish, G.C. Smith et H.R. Cross. 1978. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. J. Food Sci. 43: 1177-1180.
- Currie, R.W. et F.H. Wolfe. 1980. Rigor related changes in mechanical properties (tensile and adhesive) and extracellular space in beef muscle. Meat Sci. 4: 123-143.
- Currie, R.W. et F.H. Wolfe. 1983. An assessment of extracellular space measurements in post-mortem muscle. Meat Sci. 8: 147-161.
- Damon, M., A. Vincent, A. Lombardi et P. Herpin. 2000. First evidence of uncoupling protein-2 (UCP-2) and -3 (UCP-3) gene expression in piglet skeletal muscle and adipose tissue. Gene 246: 133-141.
- Dauncey, M.J. et D.L. Ingram. 1988. Influence of environmental temperature and energy intake on skeletal muscle respiratory enzymes and morphology. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 58: 239-244.
- Dauncey, M.J. et D.L. Ingram. 1990. Respiratory enzymes in muscle: interaction between environmental temperature, nutrition and growth. J. Therm. Biol. 15: 325-328.
- Davey, C.L. et K.V. Gilbert. 1968. Studies in meat tenderness. 4. Changes in the extractability of myofibrillar proteins during meat aging. J. Food Sci. 33: 2-7.
- Davey, C.L. et M.R. Dickson. 1970. Studies in meat tenderness 8. Ultra-structural changes in meat during ageing. J. Food Sci. 35: 56-60.
- Davis, G.W., G.C. Smith, Z.L. Carpenter, T.R. Dutson et H.R. Cross. 1979. Tenderness variations among beef steaks from carcass of the same USDA quality grade. J. Anim. Sci. 49: 103-114.
- Delfino, J.G. et G.W. Mathison. 1991. Effects of cold environment and intake level on the energetic efficacy of feedlot steers. J. Anim. Sci. 69: 4577-4587.
- Depocas, F. 1966. Concentration and turnover of cytochrone c in skeletal muscles of warmand cold-acclimated rats. Can. J. Physiol. Pharmacol. 44: 875-880.
- Devine, C.E., A.E. Graafhuis, P.D. Muir et B.B. Chrystall. 1993. The effect of growth rate and ultimate pH on meat quality of lambs. Meat Sci. 35: 63-77.
- Devine, C.E. 2004. Conversion of muscle to meat: Ageing. Dans: W. Jensen, C. Devine and M. Dikeman (éds.). Encyclopedia of meat sciences No. 1. p. 330-338. Elsevier

- Diesbourg, L., H.J. Swatland et B.M. Millman. 1988. X-ray diffraction measurements of postmortem changes in the myofilament lattice of pork. J. Anim. Sci. 66: 1048-1054.
- Dragomir, L. 2005. Influence de la race, du sexe et du poids d'abattage sur la qualité de la viande d'agneau lourd. Mémoire de maîtrise (M.Sc.), Université Laval, Québec, 99 pp.
- Dransfield, E. 1977. Intramuscular composition and texture of beef muscles. J. Sci. Food Agric. 28: 833-842.
- Dransfield, E., R.C.D. Jones et H.J.H. MacFie. 1981a. Tenderising in M. longissimus dorsi of beef, veal, rabbit, lamb and pork. Meat Sci. 5: 139-147.
- Dransfield, E., R.C.D. Jones et H.J.H. MacFie. 1981b. Quantifying changes in tenderness during storage of beef. Meat Sci. 5: 131-137.
- Dransfield, E., G.R. Nute, D.S. Mottram, T.G. Rowan et T.L.J. Lawrence. 1985. Pork quality from pigs fed on low glucosinate rapeseed meal: Influence of level in diet, sex and ultimate pH. J. Sci. Food Agric. 36: 546-556.
- Dransfield, E. 1992a. Modelling post-mortem tenderisation-I: Texture of electrically stimulated and non-stimulated beef. Meat Sci. 31: 57-73.
- Dransfield, E. 1992b. Modelling post-mortem tenderisation-II: Enzyme changes during storage of electrically stimulated and non-stimulated beef. Meat Sci. 31: 75-84.
- Dransfield, E. 1992c. Modelling post-mortem tenderisation-III: Role of calpain I in conditioning. Meat Sci. 31: 85-94.
- Dransfield, E. 1993. Modelling post-mortem tenderisation-IV: Role of calpains and calpastatin in conditioning. Meat Sci. 34: 217-234.
- Dransfield, E. 1994. Modelling post-mortem tenderisation-V: Inactivation of calpains. Meat Sci. 37: 391-409.
- Dubowitz, V. et A.G.E. Pearse. 1960. A comparative histochemical study of oxydative enzyme and phosphorylase activity in skeletal muscle. Histochemie 2: 105-117.
- Duchamp, C., F. Cohen-Adad, J.L. Rouanet et H. Barre. 1992. Histochemical arguments for muscular non-shivering thermogenesis in muscovy ducklings. J. Physiol. 457: 27-45.
- Dufour, E. et J.P. Renou. 2002. Propriétés structurantes de l'eau dans les produits à structure cellulaire. Muscle, viande et produits carnés. Dans: M. Le Meste, D. Lorient and D. Simatos (éds.). L'eau dans les aliments. p. 159-188. Tec & Doc, Paris, France.
- Duncan, W.R.H. et G.A. Garton. 1978. Differences in the proportions of branched-chain fatty acids in subcutaneous triacylglycerols of barley-fed ruminants. Br. J. Nutr. 40: 29.
- Dutson, T.R., J.W. Savell et G.C. Smith. 1982. Electrical stimulation of ante-mortem stressed beef. Meat Sci. 6: 159-162.

- Echevarne, C., M. Renerre et R. Labas. 1990. Metmyoglobine reductase activity in bovine muscles. Meat Sci. 27: 161-172.
- Ekpe, E.D. et R.J. Christopherson. 2000. Metabolic and endocrine responses to cold and feed restriction in ruminants. Can. J. Anim. Sci. 80: 87-95.
- Elmore, J.S., D.S. Mottram, M. Enser et J.D. Wood. 1997. Novel thiazoles and 3-thiazolines in cooked beef aroma. J. Agric. Food Chem. 45: 3603-3607.
- Elmore, J.S., D.S. Mottram, M. Enser et J.D. Wood. 1999. Effects of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. J. Agric. Food Chem. 47: 1619-1625.
- Elmore, J.S., D.S. Mottram, M. Enser et J.D. Wood. 2000. The effects of diet and breed on the volatile compounds of cooked lamb. Meat Sci. 55: 149-159.
- Enfält, A.-C., K. Lundström, I. Hansson, M. Lundeheim et P.E. Nyström. 1997. Effects of outdoor rearing and sire breed (Duroc or Yorkshire) on carcass composition and sensory and technological meat quality. Meat Sci. 45: 1-15.
- Engel, W.K. 1962. The essentiality of histo- and cytochemical studies in the investigation of neuromuscular disease. Neurology 12: 778-784.
- Enser, M., K.G. Hallett, B. Hewitt, G.A.J. Fursey et J.D. Wood. 1996. Fatty acid content and composition of english beef, lamb and pork at retail. Meat Sci. 42: 443-456.
- Enser, M., K.G. Hallett, B. Hewett, G.A.J. Fursey, J.D. Wood et G. Harrington. 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implication for human nutrition. Meat Sci. 49: 329-341.
- Essen-Gustavsson, B., A. Karlsson, K. Lundström et A.-C. Enfält. 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: 269-277.
- Faustman, C., R.G. Cassens, D.M. Schaefer, D.R. Buege, S.N. Williams et K.K. Scheller. 1989. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer beef by dietary supplementation with vitamin E. J. Food Sci. 54: 858-862.
- Faustman, C. 1994. Postmortem changes in muscle foods. Dans: D.M. Kinsman, A.M. Kotula and B.C. Breidenstein (éds.). Muscle Foods: meat, poultry and seafood technology. p. 63-78. Chapman and Hall, New York, États-Unis.
- Fernandez, X., J. Mourot, A. Mounier et P. Ecolan. 1995. Effect of muscle type and food deprivation for 24 hours on the composition of the lipid fraction in muscles of Large White pigs. Meat Sci. 41: 335-343.
- Fisher, A.V., M. Enser, R.I. Richardson, J.D. Wood, G.R. Nute, E. Kurt, L.A. Sinclair et R.G. Wilkinson. 2000. Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed x production systems. Meat Sci. 55: 141-147.
- Fjelkner-Modig, S. et H. Rudérus. 1983. The influence of exhaustion and electrical stimulation on the meat quality of young bulls: Part 2-Physical and sensory properties. Meat Sci. 8: 203-220.

- Foster, D.O. et M.L. Frydman. 1978a. Nonshivering thermogenesis in the rat. II. Measurements of blood flow with microspheres point to brown adipose tissue as the dominant site of the calorigenesis induced by noradrenaline. Can. J. Physiol. Pharmacol. 56: 110-122.
- Foster, D.O. et M.L. Frydman. 1978b. Brown adipose tissue: the dominant site of nonshivering thermogenesis in the rat. Experientia Suppl. 32: 147-151.
- Fuller, M.F. et A.W. Boyne. 1971. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pis given different amounts of food. 1. Nitrogen metabolism, growth and body composition. Br. J. Nutr. 25: 259-272.
- Furnival, E.P., J.L. Corbett et W.R. Shorthose. 1977. Meat properties of lambs grown to 32 kg at various rates on phalaris or lucerne pastures and an apparent effect of preslaughter ambient temperature. J. Agric. Sci. 88: 207-216.
- Gault, N.F.S. 1985. The relationship between water holding capacity and cooked meat in some beef muscles as influenced by acidic conditions below the ultimate pH. Meat Sci. 15: 15-30.
- Geay, Y., D. Bauchart, J.F. Hocquette et J. Culioli. 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. Reprod. Nutr. Dev. 41: 1-26.
- Geay, Y., D. Bauchart, J.F. Hocquette et J. Culioli. 2002. Valeur diététique et qualité sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. INRA Prod. Anim. 15: 37-52.
- Geesink, G.H., P.A. Koolmees, R.L.J.M. Van Laack et F.J.M. Smulders. 1995. Determinants in tenderisation in beef longissimus dorsi and triceps brachii muscles. Meat Sci. 41: 7-17.
- Geesink, G.H. et M. Koohmaraie. 1999. Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by u-calpain under postmortem conditions. J. Anim. Sci. 77: 2685-2692.
- George, P. et C.J. Stratmann. 1952. The oxidation of myoglobin to metmyoglobin by oxygen. Biochem. J. 51: 418.
- Giddings, G.G. 1974. Reduction of ferrimyoglobin in meat. CRC Crit. Rev. Food Technol. 5: 143-173.
- Giddings, G.G. 1977. The basis of color in muscle foods. CRC Crit. Rev. Food Sci. 9: 81-114.
- Goll, D.E., Y. Otsuka, P.A. Nagainis, J.D. Shannon, S.K. Sathe et M. Muguruma. 1983. Role of muscle proteinase in maintenance of muscle integrity and mass. J. Food Biochem. 7: 137.
- Gondret, F. et J.F. Hocquette. 2006. La teneur en lipides de la viande : une balance métabolique complexe. INRA Prod. Anim. 19: 327-338.
- Graham, A.D., R.J. Christopherson et J.R. Thompson. 1981. Endocrine and metabolic changes in sheep associated with acclimation to constant or intermittent cold exposure. Can. J. Anim. Sci. 61: 81-90.

- Graham, N.M., F.W. Wainman, K.L. Blaxter et D.G. Armstrong. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep: I. Energy metabolism in closely clipped sheep. J. Agric. Sci. (Camb.) 52: 13-24.
- Greaser, M.L. 1986. Conversion of muscle to meat. Dans: P.J. Bechtel (éd.). Muscle as food. p. 37-87. Academic press, Orlando, États-Unis.
- Greene, B.E. 1969. Lipid oxidation and pigment changes in raw meat. J. Food Sci. 34: 110.
- Guignot, F., Y. Quilichini, M. Renerre, A. Lacourt et G. Monin. 1992. Relationships between muscle type and some traits influencing veal colour. J. Sci. Food Agric. 58: 523-529.
- Guignot, F., C. Touraille, A. Ouali et M. Renerre. 1994. Relationship between post-mortem changes and some traits of sensory quality in veal. Meat Sci. 37: 315-325.
- Guth, L. et F.J. Samaha. 1969. Qualitative differences between actomyosin ATPase of slow and fast mammalian muscle. Exp. Neurol. 25: 138-152.
- Ha, J.K. et R.C. Lindsay. 1990. Distribution of volatile branched-chain fatty acids in perirephric fats of various red meat species. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 23: 433-440.
- Ha, J.K. et R.C. Lindsay. 1991. Volatile alkylphenols and thiophenol in species-related characterizing flavors of red meats. J. Food Sci. 56: 1197.
- Hagler, L., R.I. Coppes et R.H. Herman. 1979. Metmyoglobin reductase: Indentification and purification of a reduced nicotinamide adenine dinucleotide-dependent enzyme from bovine heart which reduces metmyoglobin. J. Biol. Chem. 254: 6505-6514.
- Hämäläinen, N. et D. Pette. 1995. Patterns of myosin isoforms in mammalian skeletal muscle fibres. Microsc. Res. Tech. 30: 381-389.
- Hamm, R. 1960. Biochemistry of meat hydration. Adv. Food Res. 10: 355-463.
- Hamm, R. 1986. Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. Dans: P.J. Bechtel (éd.). Muscle as food. p. 135-199. Academic Press, Orlando, États-Unis.
- Harris, J.J., R.K. Miller, J.W. Savell, H.R. Cross et L.J. Ringer. 1992. Evaluation of the tenderness of beef top sirloin steaks. J. Food Sci. 57: 6-9.
- Heffron, J.J.A. et P.V.J. Hegarty. 1974. Evidence for a relationship between ATP hydrolysis and changes in extracellular space and fibre diameter during rigor development in skeletal muscle. Comp. Biochem. Physiol. A. 49: 43-56.
- Henning, W.R., W.G. Moody et J.D. Kemp. 1973. Characteristics of ham and loin form high and low cutability pork carcasses. J. Anim. Sci. 36: 1063-1068.
- Herpin, P., R. Bertin, J. Le Dividich et R. Portet. 1987. Some regulatory aspects of thermogenesis in cold-exposed piglets. Comp. Biochem. Physiol. A 87: 1073-1081.
- Herpin, P. et H. Barre. 1989. Loose-coupled subsarcolemmal mitochondria from muscle Rhomboideus in cold-acclimated piglets. Comp. Biochem. Physiol. B. 92: 59-65.

- Herpin, P. et L. Lefaucheur. 1992. Adaptative changes in oxydative metabolism in skeletal muscle of cold-acclimated piglets. J. Therm. Biol. 17: 277-285.
- Hertzman, C., U. Olsson et E. Tornberg. 1993. The influence of high temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor, ageing and tenderness of beef muscles. Meat Sci. 35: 119-141.
- Himms-Hagen, J. 1976. Cellular thermogenesis. Annu. Rev. Physiol. 38: 315-351.
- Hocquette, J.F., I. Ortigues-Marty, D. Pethick, P. Herpin et X. Fernandez. 1998. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. Livest. Prod. Sci. 56: 115-143.
- Hocquette, J.F., I. Ortigues-Marty, M. Damon, P. Herpin et Y. Geay. 2000. Métabolisme énergétique des muscles squelettiques chez les animaux producteurs de viande. INRA Prod. Anim. 13: 185-200.
- Holme, D.W. et W.E. Coey. 1967. The effects of environmental temperature and method of feeding on the performance and carcass composition of bacon pigs. Anim. Prod. 9: 209-219.
- Honikel, K.O., P. Roncales et R. Hamm. 1983. The influence of temperature on shortening and onset of rigor in beef muscle. Meat Sci. 8: 221-241.
- Honikel, K.O., C.J. Kim, R. Hamm et P. Roncales. 1986. Sarcomere shortening of prerigor muscles and its influence on drip loss. Meat Sci. 16: 267-282.
- Hopkins, D.L. et J.M. Thompson. 2001. Inhibition of protease activity. Part 1. The effect on tenderness and indicators of proteolysis in ovine muscle. Meat Sci. 59: 175-185.
- Hornstein, I. et P.F. Crowe. 1960. Flavor studies on beef and pork. Agric. Food Chem. 8: 494
- Hornstein, I. et P.F. Crowe. 1963. Meat flavor: lamb. Agric. Food Chem. 11: 147.
- Horton, H.R., L.A. Moran, R.S. Ochs, J.D. Rawn et K.G. Scrimgeour. 1994. Principes de biochimie, Bruxelles, 720 pp.
- Huff-Lonergan, E., T. Mitsuhashi, D.D. Beekman, F.C. Parrish, J. Dennis, G. Olson et R. Robson. 1996. Proteolysis of specific muscle structural proteins by u-calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. J. Anim. Sci. 74: 993-1008.
- Huff-Lonergan, E. et S.M. Lonergan. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. Meat Sci. 71: 194-204.
- Huttunen, P., J. Hirvonen et V. Kinnula. 1981. The occurence of brown adipose tissue in outdoor workers. Eur. J. Appl. Physiol 46: 339-345.
- Ilian, M.A., J.D. Morton, M.P. Kent, C.E. Le Couteur, J. Hickford, R. Cowley et R. Bickerstaffe. 2001. Intermuscular variation in tenderness: association with the ubiquitous and muscle-specific calpains. J. Anim. Sci. 79: 122-132.
- Irving, T.C., H.J. Swatland et B.M. Millman. 1990. Effect of pH on myofilament spacing in pork measured by X-ray diffraction. Can. I. Food Sc. Tech. J. 23: 79-81.

- Jansky, L. 1973. Non-shivering thermogenesis and its thermoregulatory significance. Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. 48: 85-132.
- Jeacocke, R.E. 1993. The concentrations of free magnesium and free calciium ions both increase in skeletal muscles fibres entering rigor mortis. Meat Sci. 35: 27-45.
- Jeremiah, L.E., A.K.W. Tong et L.L. Gibson. 1991. The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. Meat Sci. 30: 97-114.
- Jones, S.D.M., L.E. Jeremiah, A.K.W. Tong, S. Lutz et W.M. Roberson. 1991. The effects of marbling level, electrical stimulation and postmortem aging on the cooking palatability properties of beef rib-eye steaks. Can. J. Anim. Sci. 71: 1037-1043.
- Kennedy, A.D. et L.P. Milligan. 1978. Effects of cold exposure on digestion, microbial synthesis and nitrogen transformations in sheep. Br. J. Nutr. 39: 105.
- Kennedy, A.D., R.D. Bergen, R.J. Christopherson, N.D. Glover et J.A. Small. 2005. Effect of once daily 5-h or 10-h cold-exposures on body temperature and resting heat production of beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 85: 177-183.
- Kennedy, P.M., R.J. Christopherson et L.P. Milligan. 1976. The effect of cold exposure of sheep on digestion, rumen turnover time and efficiency of microbial synthesis. Br. J. Nutr. 36: 231.
- Kim, B.C., R.D. Warner et R.G. Kauffman. 1993. Changes in expressible fluid losses of porcine musculature at different times post-rigor. Dans: 39th International Congress of meat and technology, Calgary, Alberta, Canada.
- Kim, Y.S., S.K. Yoon, Y.H. Song et S.K. Lee. 2003. Effect of season on color of Hanwoo (Korean native cattle) beef. Meat Sci. 63: 509-513.
- King, N.L. 1987. Thermal transition of collagen in ovine connective tissues. Meat Sci. 20: 25-37.
- Kinnula, V.L., P. Huttunen et J. Hirvonen. 1983. Adaptive changes in skeletal muscle mitochondria of guinea-pig during acclimation to cold. Eur. J. Appl. Physiol. 51: 237-245.
- Koohmaraie, M., S.C. Seideman, J.E. Schollmeyer, T.R. Dutson et J.D. Crouse. 1987. Effect of post-mortem storage on Ca++-dependent proteases, their inhibitor and myofibril fragmentation. Meat Sci. 19: 187-196.
- Koohmaraie, M., G. Whipple, D.H. Kretchmar, J.D. Crouse et H.J. Mersmann. 1991. Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork carcasses. J. Anim. Sci. 69: 617-624.
- Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. Meat Sci. 36: 93-104.
- Koohmaraie, M., M.E. Doumit et T.L. Wheeler. 1996. Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. J. Anim. Sci. 74: 2935-2942.
- Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. Meat Sci. 43: S193-S201.
- Koop, J. et C. Valin. 1980-81. Can muscle lysosomal enzymes affect muscle collagen post-mortem? Meat Sci. 5: 319-322.

- Kristensen, L. et P.P. Purslow. 2001. The effect of ageing on the water-holding capacity of pork: role of cytoskeletal proteins. Meat Sci. 58: 17-23.
- Kruggel, W.G., R.A. Field et G.J. Miller. 1970. Physical and chemical properties of epimysial acid-soluble collagen from meats of varying tenderness. J. Food Sci. 35: 106-110.
- Kruggel, W.G. et R.A. Field. 1971. Soluble intramuscular collagen characteristics from stretched and aged muscle. J. Food Sci. 36: 1114-1117.
- Kunsman, J.E. et M.L. Riley. 1975. A comparaison of hydrogen sulfide evolution from cooked lamb and other meats. J. Food Sci. 40: 506.
- Larick, D.K., H.B. Hedrick, M.E. Bailey, J.E. Williams, D.L. Hancock, G.B. Garner et R.E. Morrow. 1987. Flavor constituents of beef as influenced by forage- and grainfeeding. J. Food Sci. 52: 245-251.
- Larick, D.K. et B.E. Turner. 1989. Influence of finishing diet on the phosphlipid composition of fatty acid profile of individual phospholippids in lean muscle of beef cattle. J. Anim. Sci. 67: 2282-2293.
- Larick, D.K. et B.E. Turner. 1990. Flavor characteristics of forage- and grain-fed beef as influenced by phopholipid and fatty acid compositional differences. J. Food Sci. 55: 312-317.
- Larzul, C., L. Lefaucheur, P. Ecolan, J. Gogué, A. Talmant, P. Sellier, P. Le Roy et G. Monin. 1997. 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.
- Lawrence, T.L.J. et V.R. Fowler. 2002. Growth of farm animals. Second éd. CABI publishing, Wallingford, Royaume-Unis, 347 pp.
- Lawrie, R.A. 1953. The activity of the cytochrome system in muscle and its relation to myoglobin. Biochem. J. 55: 298-305.
- Lawrie, R.A. 1998. Lawrie's meat science. 6th éd. Woodhead publishing limited, Cambridge, Royaume-Unis, 336 pp.
- Leat, W.M.F. et R.W. Cox. 1980. Fundamental aspects of adipose tissue growth. Dans: T.L.J. Lawrence (éd.). Growth in animals. Studies in the agricultural and food science. p. 137-174. Butterworths, Londres, Royaume-Unis.
- Lebret, B., L. Lefaucheur, J. Mourot et M. Bonneau. 1996. Influence des facteurs d'élevage sur la qualité de la viande de porc. J. Rech. Porc. Fr. 28: 137-156.
- Lebret, B., P. Massabie, H. Juin, J. Mourot, N. Clochefert, A. Mounier, P. Chevillon, M. Bouyssière et M. Le Denmat. 1998. Influence des conditions d'élevage sur les performances de croissance du porc et la qualité des viandes. 2. Caractéristiques du muscle et du tissu adipeux et qualité technologique et organoleptique du jambon sel-sec. J. Rech. Porc. Fr. 30: 43-50.
- Lebret, B., P. Massabie, R. Granier, H. Juin, J. Mourot et P. Chevillon. 2002. Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose

- tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of drycured hams. Meat Sci. 62: 447-455.
- Ledward, D.A. et W.R. Shorthose. 1971. A note on the haem pigment concentration of lamb as influenced by age and sex. Anim. Prod. 13: 193-195.
- Ledward, D.A. 1985. Post-slaugther influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. Meat Sci. 15: 149-171.
- Lefaucheur, L. 1989. Les différents types de fibres musculaires chez le porc. Prod. Anim. 2: 205-213.
- Lefaucheur, L., J.L. Dividich, J. Mourot, G. Monin, P. Ecolan et D. Krauss. 1991. Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. J. Anim. Sci. 69: 2844-2854.
- Leseigneur-Meynier, A. et G. Gandemer. 1991. Lipid composition of pork muscle in relation to the metabolic type of the fibres. Meat Sci. 29: 229-241.
- Lewis, G.J., P.P. Purslow et A.E. Rice. 1991. The effect of conditioning on the strength of perimysial connective tissue dissected from cooked meat. Meat Sci. 30: 1-12.
- Li, Y.Z., R.J. Christopherson, B.T. Li et J.A. Moibi. 2000. Effects of beta-adrenergic agonist (L-644, 969) on performance and carcass traits of growing lambs in a cold environment. Can. J. Anim. Sci. 80: 459-465.
- Light, N., A.E. Champion, C. Voyle et A.J. Bailey. 1985. The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. Meat Sci. 13: 137-149.
- Livingston, D.J. et W.D. Brown. 1981. The chemistry of myoglobin and its reaction. Food Technol. 35: 244-252.
- Locker, R.H. et C.J. Hagyard. 1963. A cold shortening effect in beef muscle. J. Sci. Food Agric. 14: 787.
- Locker, R.H. et G.J. Daines. 1975. Rigor mortis in beef sternomandibularis muscle at 37 °C. J. Sci. Food Agric. 26: 1721.
- Lonergan, S.M., E. Huff-Lonergan, B.R. Wiegand et L.A. Kriese-Anderson. 2001. Postmortem proteolysis and tenderization of top loin steaks from brangus cattle. J. Muscle Food 12: 121-136.
- Lopez-Bote, C., P.D. Warris et S.N. Brown. 1989. The use of muscle protein solubility measurements to assess pig lean meat quality. Meat Sci. 26: 167-175.
- Lorenz, G., D.J. Stern, R.A. Flath, W.F. Haddon, S.J. Tillin et R. Teranishi. 1983. Identification of sheep liver volatiles. J. Agric. Food Chem. 31: 1052.
- MacDougall, D.B. et D.N. Rhodes. 1972. Characteristics of the appearance of meat III. Studies on the colour of meat from young bulls. J. Sci. Food Agric. 23: 637-647.
- MacLeod, G. et B.M. Coppock. 1977. A comparasion of the chemical composition of boiled and roasted aromas of heated beef. J. Agric. Food Chem. 25: 113-117.

- Madruga, M.S. et D.S. Mottram. 1995. The effect of pH on the formation of Maillard-derived aroma volatiles using a cooked meat system. J. Sci. Food Agric. 68: 305-319.
- Maher, S.C., A.M. Mullen, D.J. Buckley, J.P. Kerry et A.P. Moloney. 2005. The influence of biochemical differences on the variation in tenderness of M. longissimus dorsi of Belgian blue steers managed homogenously pre and post-slauther. Meat Sci. 69: 215-224.
- Mancini, R.A. et M.C. Hunt. 2005. Current research in meat color. Meat Sci. 71: 100-121.
- Marieb, E.N. et G. Laurendeau. 1993. Anatomie et physiologie humaine. Éditions du renouveau pédagogique éd, Québec, Canada, 1014 pp.
- Marmer, W.N., R.J. Maxwell et J.E. Williams. 1984. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. J. Anim. Sci. 59: 109-121.
- Marsh, B.B. et N.G. Leet. 1966. Studies on meat tenderness. III. Effect of cold shortening on tenderness. J. Food Sci. 31: 450.
- Marsh, B.B., J.V. Lochner, G. Takahashi et D.D. Kragness. 1980-81. Effects of early postmortem pH and temperature on beef tenderness. Meat Sci. 5: 479-483.
- Mason, M.E. et B. Johnson. 1966. Flavor components of roasted peanuts. Some low molecular weight pyrazine and a pyrrole. J. Agric. Food Chem. 14: 454.
- Matsubara, I., Y.E. Goldman et R.M. Simmons. 1984. Changes in the lateral filament spacing of skinned muscle fibres when cross-bridges attach. J. Mol. Biol. 173: 15-33.
- McBee, J.L.J. et J.A. Wiles. 1967. Influence of marbling and carcass grade on the physical and chemical characteristics of beef. J. Anim. Sci. 26: 701.
- McCormick, R.J. 1994. The flexibility of the collagen compartment of muscle. Meat Sci. 36: 79-91.
- McDonagh, M.B., C. Fernandez et V.H. Oddy. 1999. Hind-limb protein metabolism and calpain system activity influence post-mortem change in meat quality in lamb. Meat Sci. 52: 9-18.
- McKenna, D.R., P.D. Mies, B.E. Baird, K.D. Pfeiffer, J.W. Ellebracht et J.W. Savell. 2005. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. Meat Sci. 70: 665-682.
- Melody, J.L., S.M. Lonergan, L.J. Rowe, T.W. Huiatt, M.S. Mayes et E. Huff-Lonergan. 2004. Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. J. Anim. Sci. 82: 1195-1205.
- Melton, S.L., J.M. Black, G.W. Davis et W.R. Backus. 1982a. Flavor and selected chemical components of ground beef from steers backgrounded on pasture and fed corn up to 140 days. J. Food Sci. 47: 699-704.
- Melton, S.L., M. Amari, G.W. Davis et W.R. Backus. 1982b. Flavor and chemical characteristics of ground beef from grass-, forage-grain- and grain-finished steers. J. Anim. Sci. 55: 77-87.

- Meynier, A. et D.S. Mottram. 1995. The effect of pH on the formation of volatile compounds in meat-related model systems. Food Chem. 52: 361.
- Miaron, J.O.O. et R.J. Christopherson. 1992. Effect of prolonged thermal exposure on heat production, reticular motility, rumen-fluid and particulate passage-rate constants, and digestibility in steers. Can. J. Anim. Sci. 72: 809-819.
- Miller, R.K. 1994. Quality Characteristics. Dans: D.M. Kinsman, A.M. Kotula and B.C. Breidenstein (éds.). Muscle Foods: meat, poultry and seafood technology. p. 296-332. Chapman and Hall, New York, États-Unis.
- Milligan, J.D. et G.I. Christison. 1974. Effects of severe winter conditions on performance of feedlot steers. Can. J. Anim. Sci. 54: 605-610.
- Millman, B.M. 1981. Filament lattice forces in vertebrate striated muscle: relaxed and in rigor. J. Physiol. 320: 188P.
- Mohr, V. et J.R. Bendall. 1969. Constitution and physical chemical properties of intramuscular connective tissue. Nature 223: 404-405.
- Moibi, J.A., R.J. Christopherson et E.K. Okine. 2000. In vivo and in vitro lipogenesis and aspects of metabolism in ovines: Effect of environmental temperature and dietary lipid supplementation. Can. J. Anim. Sci. 80: 59-67.
- Monahan, F.J., A. Asghar, J.I. Gray, D.J. Buckley et P.A. Morrissey. 1994. Effect of oxidized dietary lipid and vitamin E on the colour stability of pork chops. Meat Sci. 37: 205-215.
- Morisson, E.H., M.M. Mielche et P.P. Purslow. 1998. Immunolocalisation of intermediate filament proteins in porcine meat. Fibre type and muscle-specific variation during conditioning. Meat Sci. 50: 91-104.
- Mottram, D.S. et R.A. Edwards. 1983. The role of triglycerides and phospholipids in the aroma of cooked beef. J. Sci. Food Agric. 34: 517-522.
- Mottram, D.S. 1985. The effect of cooking conditions on the formation of volatile heterocyclic compounds in pork. J. Sci. Food Agric. 36: 377-382.
- Mottram, D.S. 1998. Flavour formation in meat and meat products: a review. Food Chem. 63: 415-424.
- Nachlas, M.M., K.C. Tsou, E. De Souza, C.S. Cheng et A.M. Seligman. 1957. Cytochemical demonstration of succinic dehydrogenase by the use of a new p-nitrophenyl substituted ditetrazole. J. Histochem. Cytochem. 5: 420-436.
- Nixon, L.N., E. Wong, C.B. Johnson et E.J. Birch. 1979. Nonacidic constituant of volatiles from cooked mutton. J. Agric. Food Chem. 27: 355.
- NRC. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, Washington D.C., États-Unis, 168 pp.
- Offer, G. et J. Trinick. 1983. On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. Meat Sci. 8: 245-281.

- Offer, G., D. Restall et J. Trinick. 1984. Water-holding in meat. Dans: A.J. Bailey (éd.). Recent advances in the chemistry of meat. p. 71-86. Royal Society of Chemistry, Londres, Royaume-Unis.
- Offer, G. et P. Knight. 1988. The structural basis of water-holding in meat. Part 2. Drip losses. Dans: R. Lawrie (éd.). Developments in meat science-4. p. 173-243. Elsevier Applied Science, Londres, Royaume-Unis.
- Offer, G., P. Knight, R.E. Jeacocke, R. Almond, T. Cousins, J. Elsey, N. Parsons, A. Sharp, R. Starr et P.P. Purslow. 1989. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. Food Microstruct. 8: 151-170.
- Offer, G. 1991. Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. Meat Sci. 30: 157-184.
- Offer, G. et T. Cousins. 1992. The mechanism of drip production: Formation of two compartments of extracellular space in muscle post mortem. J. Sci. Food Agric. 58: 107-116.
- Ogata, T. et M. Mori. 1964. Histochemical study of oxydative enzymes in vertebrate muscle. J. Histo. Cytochem. 12: 171-182.
- O'Halloran, G.R., D.J. Troy et D.J. Buckley. 1997a. The relationship between early postmortem pH and the tenderisation of beef muscles. Meat Sci. 45: 239-251.
- O'Halloran, G.R., D.J. Troy, D.J. Buckley et W.J. Reville. 1997b. The role of endogenous proteases in the tenderisation of fast glycolysing muscle. Meat Sci. 47: 187-210.
- O'Keeffe, M. et D.E. Hood. 1982. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation on beef from muscles of differing colour stability. Meat Sci. 7: 209-028.
- O'Keeffe, P.W., G.H. Wellington, L.R. Mattick et G.R. Stougger. 1968. Composition of bovine muscle lipids at various carcass locations. J. Food Sci. 33: 188.
- Okeudo, N.J. et B.W. Moss. 2005. Interrelationship amongst carcass and meat quality characteristics of sheep. Meat Sci. 69: 1-8.
- Olson, D.G., F.C. Parrish et M.H. Stromer. 1976. Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during postmortem storage. J. Food Sci. 41: 1036-1041.
- Ouali, A., M. Zabari, A. Lacourt, A. Talmant, G. Monin, J. Kopp et C. Valin. 1988. Usefulness of various biochemical and histochemical characteristics as indices of muscle type in lamb carcasses. Meat Sci. 24: 235-247.
- Ouali, A. et A. Talmant. 1990. Calpains and calpastatins distribution in bovine, porcine and ovine skelatal muscles. Meat Sci. 28: 331-348.
- Ozawa, S., T. Mitsuhashi, M. Mitsumoto, S. Matsumoto, N. Itoh, K. Itagaki, Y. Kohno et T. Dohgo. 2000. The characteristics of muscle fiber types of longissimus thoracis muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. Meat Sci. 54: 65-70.

- Pardo, J.V., J.D. Siliciano et S.W. Craig. 1983. A vinculin-containing cortical lattice in skeletal muscle: transverse lattice elements ("costameres") mark sites of attachment between myofibrils and sarcolemma. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 80: 1008-1012.
- Pearson, A.M. 1966. Desirability of beef-its characteristics and their measurement. J. Anim. Sci. 25: 843-854.
- Pearson, A.M., L.M. Winham, W.A. Carse, K. McLeod, C.L. Davey et A.H. Kinton. 1973. Observations on the contribution of fat and lean to the aroma of cooked beef and lamb. J. Anim. Sci. 36: 511.
- Pearson, A.M. et R.B. Young. 1989. Muscle and meat biochemistry. Academic press, San Diego, États-Unis, 457 pp.
- Penny, I.F. 1977. The effect of temperature on the drip, denaturation and extracellular space of pork longissimus dorsi muscle. J. Sci. Food Agric. 28: 329-338.
- Penny, I.F. et E. Dransfield. 1979. Relationship between toughness and troponin T in conditioned beef. Meat Sci. 3: 135-141.
- Peter, J.B., R.J. Barnard, V.R. Edgerton, C.A. Gillespie et K.E. Stempel. 1972. Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits. Biochemistry 11: 2627-2633.
- Pette, D. et R.S. Staron. 1997. Mammalian skeletal muscle fiber type transitions. Int. Rev. Cytol. 170: 143-223.
- Picard, B., L. Lefaucheur, C. Berri et M.J. Duclos. 2002. Muscle fibre ontogenesis in farm animal species. Reprod. Nutr. Dev. 42: 415-431.
- Pomeranz, Y. 1985. Functional properties of food components. Academic Press, Orlando, 536 pp.
- Pommier, S.A., L.M. Poste et G. Butler. 1987. Effect of low voltage electrical stimulation on the distribution of cathepsin D and the palatability of the longissimus dorsi from Holstein veal calves fed a corn or barley diet. Meat Sci. 21: 203-218.
- Priolo, A., D. Milcol et J. Agabriel. 2001. Effects of grass feedind systems on ruminant meat colour and flavour. A review. Anim. Res. 50: 185-200.
- Purchas, R.W. 1990. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. Meat Sci. 27: 129-140.
- Purchas, R.W. et R. Aungsupakorn. 1993. Further investigation into relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. Meat Sci. 34: 163-178.
- Purchas, R.W., X. Yan et D.G. Hartley. 1999. The influence of a period of ageing on the relationship between ultimate pH and shear values of beef M. longissimus thoracis. Meat Sci. 51: 135-141.
- Purslow, P.P. 1985. The physical basis of meat texture: observation on the fracture behaviour of cooked bovine. Meat Sci. 12: 39-60.

- Ratzin Jackson, C.G., A.H. Sillau et N. Banchero. 1987. Fiber composition and capillarity in growing guinea pigs acclimated to cold and cold plus hypoxia. Proc. Soc. Esp. Biol. Med. 185: 101-106.
- Reddy, I.M. et C.E. Carpenter. 1991. Determination of metmyoglobine reductase activity in bovine skeletal muscles. J. Food Sci. 56: 1161-1164.
- Renand, G., B. Picard, C. Touraille, P. Berge et J. Lepetit. 2001. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. Meat Sci. 59: 49-60.
- Renerre, M. et R. Labas. 1987. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. Meat Sci. 19: 151-165.
- Renerre, M. 1990. Review: Factors involved in the discoloration of beef meat. Int. J. Food Sci. Technol. 25: 613-630.
- Rhee, K.S., Y.A. Ziprin et G. Ordonez. 1987. Catalysis of lipid oxidation in raw and cooked beef by metmyoglobin-H2O2, nonheme iron, and enzyme systems. J. Agric. Food Chem. 35: 1013-1017.
- Richards, M.P., A.M. Modra et R. Li. 2002. Role of deoxymyoglobin in lipid oxidation of washed cod muscle mediated by trout, poultry and beef hemoglobins. Meat Sci. 62: 157-163.
- Robert, N., M. Briand, R. Taylor et Y. Briand. 1999. The effect of proteasome on myofibrillar structure in bovine skeletal muscle. Meat Sci. 51: 149-153.
- Rolfe, D.F. et M.D. Brand. 1996. Proton leak and control of oxidative phosphorylation in perfused, resting rat skeletal muscle. Biochim. Biophys. Acta 1276: 45-50.
- Rolfe, D.F. et M.D. Brand. 1997. The physiological significance of mitochondrial proton leak in animal cells and tissues. Biosci. Rep. 17: 9-16.
- Rome, E. 1967. Light and X-ray diffraction studies of the filament lattice of glycerol-extracted rabbit psoas muscle. J. Mol. Biol. 27: 591-602.
- Rowe, A., F.A.F. Macedo, J.V. Visentainer, N.E. Souza et M. Matsushita. 1999. Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in drylot or pasture. Meat Sci. 51: 283-288.
- Samaha, F.J., L. Guth et R.W. Albers. 1970. Phenotypic differences between the actomyosin ATPase of the three fiber types of mammalian skeletal muscle. Exp. Neurol. 26: 120-125.
- Sammel, L.M., M.C. Hunt, D.H. Kropf, K.A. Hachmeister et D.E. Johnson. 2002. Comparaison of assays for metmyoglobin reducing ability in beef inside and outside semimembranosus muscle. J. Food Sci. 67: 978-984.
- Sano, H., S. Nakamura, S. Kobayashi, H. Takahashi et Y. Terashima. 1995. Effect of cold exposure on profiles of metabolic and endocrine responses and on responses to feeding and arginine injection in sheep. J. Anim. Sci. 73: 2054-2062.

- Sanudo, C., G.R. Nute, M.M. Campo, G. Maria, A. Baker, I. Sierra, M.E. Enser et J.D. Wood. 1998. Assessment of commercial lamb meat quality by British and Spanish taste panels. Meat Sci. 48: 91-100.
- Savage, A.W.J., P.D. Warris et P.D. Jolley. 1990. The amount and composition of the proteins in drip from stored pig meat. Meat Sci. 27: 289-303.
- Savell, J.W., R.E. Branson, H.R. Cross, D.M. Stiffler, J.W. Wise, D.B. Griffin et G.C. Smith. 1987. National consumer retail beef study: palatability evaluations of beef loin steaks that differed in marbling. J. Food Sci. 52: 517-519.
- Savell, J.W. et H.R. Cross. 1988. The role of fat in palatability of beef, pork and lamb. Dans: N.A. Press (éd.). Designing Foods: Animal product options in the marketplace, Washington, États-Unis.
- Sazili, A.Q., T. Parr, P.L. Sensky, S.W. Jones, R.G. Bardsley et P.J. Buttery. 2005. The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine muscle skeletal muscles. Meat Sci. 69: 17-25.
- Schäfer, A., K. Rosenvold, P.P. Purslow, H.J. Andersen et P. Henckel. 2002. Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork. Meat Sci. 61: 355-366.
- Schanbacher, B.D., G.L. Hahn et J.A. Nienaber. 1982. Effects of contrasting photoperiods and temperatures on performance traits of confinement-reared ewe lambs. J. Anim. Sci. 55: 620-626.
- Seideman, S.C. 1986. Method of expressing collagen caracteristics and their relationship to meat tenderness and muscle fiber type. J. Food Sci. 51: 273.
- Seideman, S.C., M. Koohmaraie et J.D. Crouse. 1987. Factors associated with tenderness in young beef. Meat Sci. 20: 281-291.
- Shackelford, S.D., M. Koohmaraie et J.W. Savell. 1994. Evaluation of longissimus dorsi muscle pH at three hours post mortem as a predictor of beef tenderness. Meat Sci. 37: 195-204.
- Sillau, A.H., L. Aquin, A.J. Lechner, M.V. Bui et N. Banchero. 1980. Increased capillary supply in skeletal muscle of guinea pigs acclimated to cold. Respir. Physiol. 42: 233-245.
- Silva, J.A., L. Patarata et C. Martins. 1999. Influence of ultimate pH on bovine tenderness during ageing. Meat Sci. 52: 453-459.
- Slee, J. 1971. Physiological factors affecting the energy cost of cold exposures. Proc Nutr Soc 30: 215-221.
- Slee, J. 1972. Habituation and acclimatization of sheep to cold following exposures of varying length and severity. J. Physiol. 227: 51-70.
- Smith, G.C. et Z.L. Carpenter. 1970. Lamb carcass quality III. Chemical, physical and histological measurements. J. Anim. Sci. 31: 697-706.

- Smith, G.C. et Z.L. Carpenter. 1976. Eating quality of meat animal products and their fat content. Dans: N.A. Sciences (éd.). Fat content and composition of animal products. p. 147-182, Washington, États-Unis.
- Smulders, F.J.M., B.B. Marsh, D.R. Swartz, R.L. Russell et M.E. Hoenecke. 1990. Beef tenderness and sarcomere length. Meat Sci. 28: 349-363.
- Soni, A. et S.S. Katoch. 1997. Structural and metabolic changes in skeletal muscle of cold acclimated rats. J. Therm. Biol. 22: 95-107.
- Stanton, C. et N. Light. 1987. The effects of conditionning on meat collagen: part 1-Evidence for gross in situ proteolysis. Meat Sci. 21: 249-265.
- Stanton, C. et N. Light. 1988. The effects of conditioning on meat collagen: part 2-Direct biochemical evidence for proteolytic damage in insoluble perimysia collagen after conditioning. Meat Sci. 23: 179-199.
- Steen, R.W.J. et M.G. Porter. 1997. The effect of forage:concentrate ratio in the diet of beef cattle on the ratio of omega-6 to omega-3 fatty acids in beef. Dans: Proceedings of the winter meeting of the British Society of Animal Science, Scarborough, Royaume-Unis. p. 46.
- Stein, J.M. et H.A. Padykula. 1962. Histochemical classification of individual skeletal muscle fibers of the rat. Am. J. Anat. 110: 103.
- Stromer, M.H. 1998. The cytoskeleton in skeletal, cardiac and smooth muscle cells. Histol. Histopathol. 13: 283-291.
- Suzuki, A. 1971. Histochemical classification of individual skeletal muscle fibers in the sheep. Jap. J. Zootechnol. Sci. 42: 39-54.
- Swatland, H.J. 1989. A review of meat spectrophotometry (300 to 800 nm). Can. I. Food Sc. Tech. J. 22: 390-402.
- Swatland, H.J. 1990. Effect of acidity on the optical transmittance of bovine myofibrillar proteins: How meat traps light at low wave lengths. J. Anim. Sci. 68: 1284-1290.
- Sylvestre, M.N., D. Balcerzak, C. Feidt, V.E. Baracos et J. Brun Bellut. 2002. Elevated rate of collagen solubilization and postmortem degradation in muscles of lambs with high growth rates: possible relationship with activity of matrix metalloproteinases. J. Anim. Sci. 80: 1871-1878.
- Symonds, M.E., M.J. Bryant, L. Clarke, C.J. Darby et M.A. Lomax. 1992. Effect of maternal cold exposure on brown adipose tissue and thermogenesis in the neonatal lamb. J. Physiol. 455: 487-502.
- Talmant, A., G. Monin, M. Briand, M. Dadet et Y. Briand. 1986. Activities of metabolic and contractile enzymes in 18 bovine muscles. Meat Sci. 18: 23-40.
- Tarrant, P.V. et J. Sherington. 1980. An investigation of ultimate pH in the muscles of commercial beef carcasses. Meat Sci. 4: 287-297.
- Thompson, G.E. et D.M. Jenkinson. 1969. Nonshivering thermogenesis in the newborn lamb. Can. J. Physiol. Pharmacol. 47: 249-253.

- Touraille, C. 1994. Influence of muscle characteristics on sensory propeterties of meat. Renc. Rech. Ruminants 1: 169-176.
- Trayhurn, P. 1989. Symposium on brown adipose tissue-role in nutritional energetics. Proc. Nutr. Soc. 48: 165-175.
- Trayhurn, P., N.J. Temple et J. Van Aerde. 1989. Evidence from immunoblotting studies on uncoupling protein that brown adipose tissue is not present in domestic pig. Can. J. Physiol. Pharmac. 67: 1480-1485.
- Uytterhaegen, L., E. Claeys et D. Demeyer. 1994. Effects of exogeneous protease effectors on beef tenderness development an myofibrillar degradation and solubility. J. Anim. Sci. 72: 1209-1223.
- Vachon, M., R. Morel et D. Cinq-Mars. 2007. Effects of raising lambs in a cold or warm environment on animal performance and carcass traits. Can. J. Anim. Sci. 87: 29-34.
- Van Laack, R.L.J.M., R.G. Kauffman, W. Sybesma, F.J.M. Smulders, G. Eikelenboom et J.C. Pinheiro. 1994. Is colour brightness (L-value) a reliable indicator of waterholding capacity in porcine muscle. Meat Sci. 38: 193-201.
- Van Laack, R.L.J.M. 1999. The role of proteins in water-holding capacity of meat. Dans: Y.L. Xiong (éd.). Quality Attributes of Muscle Foods. p. 309-318. Plenum Publishers, New York, États-Unis.
- Van Praagg, M., H.S. Stein et M.S. Tibbetts. 1968. Steam volatile aroma constituents of roasted cocoa beans. J. Agric. Food Chem. 16: 1005.
- Veiseth, E., S.D. Shackelford, T.L. Wheeler et M. Koohmaraie. 2001. Effect of postmortem storage on u-calpain and m-calpain in ovine skeletal muscle. J. Anim. Sci. 79: 1502-1508.
- Verstegen, M.W.A., E.W. Brascamp et W. Van Der Hel. 1978. Growing and fattening of pigs in relation to temperature of housing and feeding level. Can. J. Anim. Sci. 58: 1-12.
- Viljoen, H.F., H.L. de Kock et E.C. Webb. 2002. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. Meat Sci. 61: 181-185.
- Wachira, A.M., L.A. Sinclair, R.G. Wilkinson, M. Enser, J.D. Wood et A.V. Fisher. 2002. Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. Br. J. Nutr. 88: 697-709.
- Wang, K. et R. Ramirez-Mitchell. 1983. A network of transverse and longitudinal intermediate filaments is associated with sarcomeres of adult vertebrate skeletal muscle. J. Cell Biol. 96: 562-570.
- Wasserman, A.E. et F. Talley. 1968. Organoleptic identification of roasted beef, veal, lamb and pork as affected by fat. J. Food Sci. 33: 219-223.
- Watanabe, A., C.C. Daly et C.E. Devine. 1996. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. Meat Sci. 42: 67-78.

- Watanabe, A. et C.E. Devine. 1996. Effect of meat ultimate pH on rate of titin and nebulin degradation. Meat Sci. 42: 407-413.
- Watanabe, K. et Y. Sato. 1971. Some alkyl-substitued pyrazines and pyridines in the flavor of shallow fried beef. J. Agric. Food Chem. 19: 1017-1019.
- Webster, A.J.F., A.M. Hicks et F.L. Hays. 1969. Cold climate and cold temperature induced changes in the heat production and thermal insulation of sheep. Can. J. Physiol. Pharmacol. 47: 553-562.
- Webster, A.J.F., J. Chumechy et B.A. Young. 1970. Effects of cold environements on the energy exchanges of young beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 50: 89-100.
- Weir, C.E. 1960. Palatability characteristics of meat. Dans: J.F. Price and B.S. Schweigert (éds.). The science of meat and meat products. W.H. Freeman and Compagny, San Francisco, États-Unis.
- Westra, R. et R.J. Christopherson. 1976. Effects of cold on digestibility, retention time of digesta, reticulum motility and thyroid hormones in sheep. Can. J. Anim. Sci. 56: 699-708.
- Wheeler, T.L. et M. Koohmaraie. 1994. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle. J. Anim. Sci. 72: 1232-1238.
- Whipple, G., M. Koohmaraie, M.E. Dikeman, J.D. Crouse, M.C. Hunt et R.D. Klemm. 1990. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in bos taurus and bos indicus cattle. J. Anim. Sci. 68: 2716-2728.
- Whipple, G. et M. Koohmaraie. 1991. Degradation of myofibrillar proteins by extractable lysosomal enzymes and m-calpain and the effects of zinc chloride. J. Anim. Sci. 69: 4449-4460.
- Whitaker, J.R. 1959. Chemical changes associated with aging of meat with emphasis on the proteins. Adv. Food Res. 9: 1.
- Whitfield, F.B., D.S. Mottram, S. Brock, D.J. Puckey et L.J. Salter. 1988. Effect of phospholipid on the formation of volatile heterocyclic compounds in heated aqueous solutions of amino acids and ribose. J. Sci. Food Agric. 42: 261-272.
- Winger, R.J. et C.J. Hagyard. 1994. Juiciness. Dans: A.M. Pearson and T.R. Dutson (éds.). Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. p. 94-124, New York, États-Unis.
- Wismer-Pedersen, J. 1971. Water. Dans: J.F. Price and B.S. Schweigert (éds.). The science of meat and meat products. p. 177-191, San Francisco, États-Unis.
- Wong, E., L.N. Nixon et C.B. Johnson. 1975a. Volatile medium chain fatty acids and mutton flavor. J. Agric. Food Chem. 23: 495-498.
- Wong, E., C.B. Johnson et L.N. Nixon. 1975b. The contribution of 4-methyloctanoic (hircinoic) acid to mutton and goat meat flavour. N. Z. J. Agric. Res. 18: 261-266.
- Wood, J.D. et M. Enser. 1997. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. Br. J. Nutr. 78 Suppl 1: S49-60.

- Wood, J.D., G.R. Nute, R.I. Richardson, F.M. Whittington, O. Southwood, G. Plastow, R. Mansbridge, N. da Costa et K.C. Chang. 2004. Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. Meat Sci. 67: 651-667.
- Young, B.A. 1975a. Effects of winter acclimatation on resting metabolism of beef cows. Can. J. Anim. Sci. 55: 619-625.
- Young, B.A. 1975b. Temperature-induced changes in metabolism and body weight of cattle. Can. J. Physiol. Pharmacol. 53: 947-953.
- Young, B.A. 1981. Cold stress as it affects animal production. J. Anim. Sci. 52: 154-163.
- Young, O.A. et T.J. Braggins. 1993. Tenderness of ovine semimembranosus: is collagen concentration or solubility the critical factor? Meat Sci. 35: 213-222.
- Young, O.A., D.H. Reid et G.H. Scales. 1993. Effect of breed and ultimate pH on the odour and flavour of sheep meat. N. Z. J. Agric. Res. 36: 363-370.
- Young, O.A. et J.L. Dobbie. 1994. Characteristics of intramuscular collagen in two sheep breeds. N. Z. J. Agric. Res. 37: 93-97.
- Young, O.A., J.-L. Berdagué, C. Viallon, S. Rousset-Akrim et M. Theriez. 1997. Fat-borne volatiles and sheepmeat odour. Meat Sci. 45: 183-200.
- Young, O.A., A. Priolo, N.J. Simmons et J. West. 1999. Effects of rigor attainment temperature on meat blooming and colours on display. Meat Sci. 52: 47-56.
- Young, O.A. et B.M.B. Baumeister. 1999. The effect of diet on the flavour of cooked beef and the odour compounds in beef fat. N. Z. J. Agric. Res. 42: 297-304.
- Young, O.A. et T.J. Braggins. 1999. Sheepmeat odour and flavour. Dans: F. Shahidi (éd.). Flavor of meat, meat products and seafoods. p. 101. Blackie academic & professional, New York, États-Unis.
- Young, O.A., G.A. Lane, A. Priolo et K. Fraser. 2003. Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize. J. Sci. Food Agric. 83: 93-104.
- Yu, L.P. et Y.B. Lee. 1986. Effects of postmortem pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. J. Food Sci. 51: 774-780.
- Zhu, L.G. et M.S. Brewer. 1998. Metmyoglobine reducing capacity of fresh normal, PSE and DFD pork during retail display. J. Food Sci. 63: 390-393.

CHAPITRE 3.

IMPACT DE L'ENVIRONNEMENT D'ÉLEVAGE DURANT LA PÉRIODE HIVERNALE SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITÉ DE LA VIANDE DES AGNEAUX LOURDS

3.1. Introduction

Les réalités climatiques du Canada influencent le mode de production de l'ensemble des secteurs agricoles. Pour les productions animales de l'est du pays, ces réalités climatiques ou plutôt la rigueur des hivers ont engendré le besoin de construire des infrastructures qui permettent d'offrir un environnement convenable aux animaux. En production ovine, cette nécessité a d'ailleurs mené à l'utilisation de bergeries et a orienté l'industrie québécoise vers un modèle de production en réclusion. Les bâtiments représentent des investissements et des coûts d'entretien importants pour les producteurs ovins du Québec comparativement à leurs compétiteurs néo-zélandais et australien, dont le mode d'élevage est plutôt extensif. L'utilisation de bergeries dites « froides », c'est-à-dire des bergeries sans isolation thermique dont les températures sont légèrement supérieures à celles enregistrées à l'extérieur, permettrait aux producteurs d'agneaux lourds de réduire leurs coûts de production, puisqu'elles sont moins coûteuses à la construction que les bergeries isolées dites « chaudes ». Toutefois, avant d'envisager l'utilisation de tels bâtiments, il est primordial que l'industrie évalue les impacts de l'élevage des agneaux dans ces bâtiments tant au niveau de la quantité que de la qualité de la viande produite. En effet, plusieurs études menées chez différentes espèces portent à croire que, dans certaines circonstances, l'élevage en environnement froid pourrait affecter non seulement les performances zootechniques des animaux, mais également la qualité de la viande produite.

Les animaux exposés au froid peuvent s'acclimater à ces températures, ce qui entraîne toutefois certaines réponses physiologiques. En effet, il a été démontré chez l'ovin et le bovin que l'acclimatation au froid engendre une augmentation du métabolisme au repos et

la production de chaleur (Webster *et al.*, 1969; Webster *et al.*, 1970; Slee, 1972; Young, 1975a). Chez des bouvillons, cette acclimatation s'est même traduite par une augmentation des besoins à l'entretien de l'ordre de 41 % (Delfino et Mathison, 1991). Les dépenses énergétiques nécessaires au maintien de l'homéothermie pourraient donc influencer la consommation alimentaire ou les performances de croissance des animaux. Chez l'agneau tondu, Ames et Brink (1977) rapportent d'ailleurs une augmentation de la prise alimentaire et une diminution du gain moyen quotidien (GMQ) pour les animaux soumis à des températures froides (-5, 0, 5, 10 et 15 °C). Toutefois, d'autres études n'ont pas démontré cette diminution du GMQ en fonction d'une baisse de la température ambiante avec des agneaux tondus (0 °C vs 23 °C) (Ekpe et Christopherson, 2000; Moibi *et al.*, 2000) ou non tondus (-7,5 et -4,7 °C vs 6,3 et 10,5 °C) (Vachon *et al.*, 2007).

Au niveau musculaire, l'exposition au froid durant la croissance semble favoriser le développement des fibres ayant un métabolisme oxydatif plus important. En effet, une augmentation de la proportion des fibres de type I (oxydative) ou de type IIA (oxydoglycolytique) au sein de différents muscles a été rapportée pour des porcs élevés sous des températures plus froides (8-12 °C vs 23-28 °C) (Lefaucheur et al., 1991; Herpin et Lefaucheur, 1992). D'autres études ont confirmé et infirmé ce constat chez le porc (températures entre 17 et 24 °C) (Lebret et al., 1998; Lebret et al., 2002). Ces changements au niveau de la proportion des fibres musculaires ont aussi été rapportés chez le rat (Behrens et Himms-Hagen, 1977), le cochon d'Inde (Ratzin Jackson et al., 1987) et le canard (Duchamp et al., 1992). De nombreuses évidences de modifications au niveau des mitochondries (Depocas, 1966; Behrens et Himms-Hagen, 1977; Buser et al., 1982; Kinnula et al., 1983) ou de changements de l'activité de certaines enzymes (Dauncey et Ingram, 1988; Dauncey et Ingram, 1990; Lefaucheur et al., 1991) supportent l'idée d'une augmentation de la nature oxydative des muscles chez les animaux soumis à une période de froid. D'autres études ont par ailleurs rapporté une augmentation de la teneur en lipides de certains muscles chez les animaux soumis à une période de froid (Buser et al., 1982; Lefaucheur et al., 1991; Soni et Katoch, 1997). Cependant, une augmentation du métabolisme glycolytique, une chute post-mortem plus rapide du pH et un pH ultime

inférieur ont aussi été rapportés dans le *longissimus dorsi* de porc élevé au froid (Lefaucheur *et al.*, 1991).

On ne retrouve que très peu d'articles dans la littérature scientifique traitant de l'impact de l'élevage au froid sur la qualité de la viande. Or, les différentes réponses au niveau musculaire rapportées précédemment laissent croire que ce mode d'élevage pourrait bien influencer les paramètres de qualité organoleptique. En effet, des variations au niveau du type de fibres et/ou du métabolisme, du pH ainsi que de la teneur en lipides pourraient influencer différents paramètres de qualité, notamment la couleur, la jutosité, la tendreté et la flaveur.

L'objectif de cette étude est de mesurer et d'expliquer l'impact de l'environnement d'élevage des agneaux lourds lors de la période hivernale, en utilisant une bergerie isolée (environnement tempéré) et une bergerie non isolée (environnement froid). Une telle étude permettra d'évaluer les conséquences de cette pratique sur : 1) les paramètres zootechniques (GMQ, consommation et conversion alimentaire, durée de croissance); 2) la qualité de la carcasse (mesures à ultrason pour les épaisseurs de gras dorsal et de l'œil de longe, conformation, rendement carcasse, rendements en viande vendable et en viande maigre); 3) le métabolisme, le type de fibres musculaires et le contenu en lipides et, finalement 4) les différents paramètres de la qualité organoleptique (couleur, jutosité, tendreté et flaveur) mesurés de manière objective et par l'analyse sensorielle à l'aide d'un panel de dégustation.

3.2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.2.1. Phase animale

3.2.1.1. Saillies-Naissance

Au mois de juin, 110 brebis de race Dorset, préalablement synchronisées à l'aide d'éponges vaginales (Veramix, Upjohn Co., Orangeville, ON, Canada) et ayant reçu une injection de 600 U.I. de PMSG (Folligon, Intervet Canada ltd., Whitby, Ontario) au retrait, ont été mises à la saillie avec des béliers de la même race. Une échographie a eu lieu après environ 50

jours de gestation de manière à connaître le nombre de brebis gestantes qui donneraient naissance aux agneaux nécessaires au projet.

3.2.1.2. Naissance-Sevrage

Seuls les agneaux issus des saillies synchronisés ont été utilisés. Les agnelages se sont déroulés entre le 25 octobre et le 1er novembre. Au total, 97 agneaux sont nés, soit 43 femelles et 54 mâles. À l'intérieur de 24 h suivant leur naissance, les agneaux ont été identifiés à l'aide d'une boucle et d'une puce électronique d'Agri-Traçabilité Québec. Au même moment, ils ont été pesés et ont reçu une injection de 0,25 ml d'un mélange de vitamines A et D (Vitamine AD 500, Bimeda-MTC Animal Health inc., Cambridge, ON, Canada) et 0,25 ml d'un mélange de vitamine E et de Se (Dystosel), leur nombril a été désinfecté et leur queue coupée par la pose d'un élastique.

Une semaine suivant leur naissance, une moulée de type « début » dosant 18 % de protéine (« Puranio 18 % », Agribrands Purina, St-Romuald, QC, Canada) leur a été servie à volonté à la dérobée (composition et analyse en annexe; tableau C.1). De l'eau était disponible pour les agneaux dans le parc à la dérobée.

Le sevrage a eu lieu en même temps pour tous les agneaux lorsqu'ils ont atteint l'âge moyen de 50 jours. Les brebis ont alors été retirées des parquets de lactation, tandis que les agneaux y sont restés pendant une semaine avant la sélection finale. Lors du sevrage, les agneaux ont été pesés. Les sujets présentant des problèmes physiques majeurs ou trop légers ont été éliminés.

3.2.1.3. Sélection et formation des groupes

Les agneaux ont été sélectionnés une semaine suivant le sevrage, soit à l'âge moyen de 57 jours. En tout, 32 mâles et 32 femelles ont été retenus pour le projet. Pour la constitution des groupes expérimentaux la sélection a été faite de manière à obtenir un nombre égal de mâles et de femelles les plus homogènes et représentatifs possible. La sélection a donc été effectuée sur la base du poids et de l'âge à la répartition. Les agneaux de poids extrêmes ont été écartés. Les agneaux ont été répartis à l'intérieur des deux bâtiments expérimentaux

(traitements), soit un environnement tempéré (bergerie avec isolation thermique) et un environnement froid (bergerie sans isolation thermique). Ainsi, seize agneaux de chaque sexe ont été élevés dans les deux bâtiments distincts. Les agneaux de même sexe ont été logés en groupe de 4 dans des parquets de 1,80 m x 2,40 m, dont les dimensions respectaient amplement la norme canadienne de logement des agneaux en croissance de 0,6 m²/agneau (CRAC, 1995).

3.2.1.4. Température des bâtiments

Les animaux ont été soumis à une durée d'éclairage de 16 h. La température à l'intérieur des bâtiments a été enregistrée à l'aide d'un système d'enregistrement automatique (Dickson Pro Series Data Loggers TP120, Dickson, Addison, IL, États-Unis), et ce, à toutes les deux heures. Seul l'environnement tempéré (bergerie avec isolation thermique) contenait un système de chauffage d'appoint qui permettait de maintenir la température à environ 11 °C. La bergerie utilisée comme environnement froid se distinguait par l'absence d'isolation thermique et la température intérieure (environ -2 °C) fluctuait avec la température extérieure. Pour ce qui est des températures extérieures, elles proviennent de la station météorologique de La Pocatière et sont disponibles sur le site Internet d'Environnement Canada à l'adresse suivante (du 30 décembre 2004 au 24 mars 2005) : (http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/advanceSearch/searchHistoricData f.html).

3.2.1.5. Alimentation et soins

Au cours des trois premières semaines de traitement, du 30 décembre au 18 janvier, les agneaux ont reçu, à volonté, un foin de deuxième coupe (PB : 12.8 %, ADF : 42.3 %, ENg : 0.42 Mcal/kg) et une moulée cubée dosant 18 % de protéine (« Puranio 18 % », Agribrands Purina, composition et analyse en annexe; tableau C.1). Par la suite (poids moyen de 31,8 kg et âge moyen de 83,4 j.), le pourcentage de protéines de la moulée cubée a été diminué à 16 % (« Puranio 16 % », Agribrands Purina; composition et analyse en annexe; tableau C.2). La moulée distribuée a été pesée chaque jour. À la fin de chaque semaine, les mangeoires ont été nettoyées et la moulée non consommée a été pesée de manière à connaître exactement la quantité consommée pour la période. Cette pesée a été effectuée suite au dernier repas précédant l'abattage afin d'obtenir une donnée pour un nombre

d'agneaux précis. Les mêmes aliments ont été servis aux agneaux en bergerie froide et en bergerie chaude. De l'eau fraîche était continuellement disponible.

3.2.1.6. Échantillonnage et analyse des aliments

Le fourrage destiné à l'alimentation des agneaux a été échantillonné à la réception et analysé (PB, ADF et ENg).

Pour la moulée, chaque premier échantillon d'une nouvelle formulation ou d'un nouveau lot a été analysé (protéines, Ca, P et Cu) dans les jours suivant la réception à la ferme de façon à pouvoir modifier la recette si nécessaire (analyses réalisées par la compagnie *Purina*). Des échantillons de moulée ont été prélevés chaque semaine afin de déterminer la composition réelle. Ces échantillons ont été maintenus à une température de -20 °C jusqu'aux analyses. Les analyses (protéines, Ca, P, Cu, Mg, Mo) ont été effectuées au Centre de recherche en sciences animales de deschambeault.

3.2.1.7. Profil métabolique

À trois reprises au cours de la croissance (âge moyen de 76, 97 et 118 jours), une prise de sang a été effectuée sur 8 agneaux mâles de chaque traitement. Une fois les prélèvements effectués, les tubes (tubes pour sérum Vacutainer® modèle 366430, Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, États-Unis) étaient placés à la température de la pièce pour environ 30 à 60 min et centrifugés à 2000 g durant 20 min. Le sérum a été récupéré et conservé à -20 °C jusqu'aux analyses de profil métabolique effectuées par le service de diagnostic de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (pour informations sur les analyses effectuées, consulter tableau B.1).

3.2.1.8. Suivi de croissance

Les agneaux ont été pesés une fois par semaine durant toute la durée du projet et leur gain moyen quotidien (GMQ) a été calculé.

Les agneaux étaient envoyés à l'abattoir lorsqu'ils atteignaient le poids à jeun visé de 46-50 kg pour les mâles et 41-45 kg pour les femelles (poids d'abattage visés par l'industrie). Le poids à jeun était estimé en soustrayant 7 % du poids vif au moment de la pesée.

3.2.1.9. Mesures par échographie

Différentes mesures d'épaisseurs de gras et de muscle ont été réalisées par échographie au début du protocole, soit immédiatement après la sélection et à toutes les deux semaines par la suite. Une dernière mesure était effectuée le jour précédent l'abattage de chaque animal.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un appareil à ultrasons en temps réel (Ultrascan50, Alliance médicale, Montréal, QC, Canada). Les différents sites de mesure ont été rasés à l'aide d'une tondeuse chirurgicale (lame #40, 0,1 mm, Oster®, Canada) avant chaque prise de mesures et recouverts d'une solution conductrice (P-net, DGF, Pintendre, QC, Canada). Un gel pad plat (Superflab, Mick Radio Nuclear Instruments, Bronx, NY, États-Unis) muni de guides (à 4 cm et 11 cm) a été utilisé. Ce dernier était maintenu par-dessus la sonde préalablement enduite de gel à ultrasons (Ecogel200, Eco-Med Pharmaceutical Inc., Mississauga, ON, Canada).

La mesure GR⁷, qui correspond à une estimation de l'épaisseur des tissus telle que mesurée lors de la classification des carcasses, a été prise entre les 11^e-12^e côtes à 11 cm de la colonne vertébrale, la sonde parallèle à celle-ci du côté gauche de l'animal. La déposition du gras et la profondeur du muscle de la longe (*longissimus dorsi*) ont également été évaluées au niveau lombaire. Les mesures ont été effectuées entre les 3^e-4^e vertèbres lombaires, toujours du côté gauche. La mesure a été réalisée de façon longitudinale (sonde parallèle à la colonne vertébrale) à 4 cm de celle-ci. Il est à noter que la peau était incluse dans la mesure de gras dorsal et la mesure GR puisque cette couche de tissu est difficilement dissociable du gras et que son discernement laisse place à interprétation (source d'erreur importante). De plus, cette couche est mince et son épaisseur est relativement constante, d'un animal à l'autre, lorsque ceux-ci sont adéquatement tondus.

3.2.1.10. Abattage

Une fois leur poids d'abattage atteint, les agneaux ont été mis à jeun pendant environ 12-15 h avant leur abattage. Le matin de l'abattage, les agneaux ont été pesés une dernière fois afin d'obtenir le poids à jeun.

⁷ Le GR est en fait un site utilisé lors de l'évaluation de l'épaisseur de gras dorsal. Tel que décrit dans le texte, il est situé entre la 11^e et 12^e côtes à 11 cm de la colonne vertébrale.

Les abattages ont eu lieu à l'abattoir commercial Pouliot (St-Henri-de-Lévis, QC, Canada). À l'abattoir, les conditions de contention, d'abattage et de conservation des carcasses ont été uniformisées. À l'abattage, les agneaux ont d'abord été assommés à l'aide d'un fusil à percussion puis saignés par sectionnement de la jugulaire. La peau a été décollée du gras par soufflage avant d'être enlevée. Par la suite, les agneaux ont été éviscérés et la tête a été coupée au niveau de la première vertèbre cervicale. Chacune des carcasses a été pesée à chaud (Pdschaud), emmenée dans une chambre de ressuyage puis placée dans une chambre de refroidissement.

3.2.1.11. Prise d'échantillons à l'abattoir

Un prélèvement de muscle d'environ 14-15 g a été effectué au niveau du longissimus dorsi droit de chaque animal, et ce, dans un délai de 30 à 60 min suivant l'abattage. L'échantillon de 4 cm x 2 cm x 2 cm a été prélevé au niveau de la dernière côte à environ 1,5 cm de la colonne vertébrale, le côté long du bloc parallèle à la colonne. L'échantillon a été découpé avec une lame de rasoir de manière à obtenir huit à dix blocs de 8 mm de côté par coupe directe sans cisaillement. Ces blocs ont été congelés dans l'isopentane maintenu à -80 °C par un appareil de congélation rapide (Shandon Histobath II, Thermo Electron Corporation, Waltham, MA, États-Unis) avant d'être placés dans des tubes et conservés dans la glace sèche pour le transport vers le laboratoire. Le reste de l'échantillon a été découpé en blocs de 1 cm³ qui ont été congelés directement dans l'azote liquide et conservés également dans la glace sèche jusqu'au laboratoire. Une fois au laboratoire, tous les échantillons ont été conservés à -80 °C jusqu'aux analyses qui ont eu lieu au Centre de recherche et de développement sur les aliments (CRDA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Saint-Hyacinthe. Les blocs fixés dans l'isopentane ont servi pour les analyses histochimiques et biochimiques tandis que le reste du prélèvement congelé dans l'azote liquide a servi aux analyses enzymatiques.

3.2.1.12. Classification et découpe des carcasses

Après 24 h de refroidissement à 4 °C, le poids froid de la carcasse a été enregistré. La carcasse était par la suite classifiée selon la méthode d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (1992) par un classificateur accrédité. La musculature des épaules, de la longe et

des gigots a été évaluée et une cote de conformation de 1 à 5 attribuée pour chaque partie (1 = faible musculature, 5 = forte musculature). La moyenne de ces trois cotes a été calculée pour établir une cote de conformation moyenne. À l'aide d'une réglette de métal, l'épaisseur totale de tissus était également mesurée, sur la 12^e côte à 11 cm de la colonne vertébrale (mesure GR).

Le même jour, la carcasse a été découpée de manière à isoler les pièces de viande nécessaires aux analyses. Les longes droites de tous les agneaux ont été récupérées (analyses de qualité). Celles-ci ont été découpées de manière à séparer la longe courte du carré. La longe courte et le carré ont été emballés séparément dans des sacs de plastique. Le carré a été maintenu à 4 °C à l'abattoir tandis que la longe courte a été transportée au laboratoire pour la détermination du pH, de la perte en eau et de la couleur de la viande. Lors de la découpe à l'abattoir, une tranche de 1 cm d'épaisseur, prélevée au niveau de la dernière côte, a été récupérée de chaque *longissimus dorsi* droit, placée dans un emballage sous vide et congelée à -20 °C une fois les 24 h *post-mortem* atteintes afin de servir ultérieurement pour les mesures de la longueur des sarcomères.

Trente-deux longes gauches et 32 semimembranosus gauches ont été récupérés pour les analyses sensorielles (8 longes et semimembranosus/sexe/traitement). La sélection des 32 animaux a été effectuée au hasard, au prorata des individus de chaque traitement abattus par semaine.

Après une semaine au réfrigérateur, tous les muscles (64 *longissimus dorsi* droits, 32 *longissimus dorsi* gauches et 32 *semimenbranosus* gauches) ont été placés dans un emballage sous vide et conservés à -20 °C jusqu'aux analyses réalisées au (CRDA). Ainsi, un temps de maturation ou vieillissement de 7 jours a été octroyé à la viande.

3.2.1.13. Calculs des rendements

Le rendement de carcasse a été calculé en divisant le poids chaud de la carcasse par le poids à jeun et exprimé en pourcentage. Les rendements en viande maigre (RVM) et en viande vendable (RVV) ont été calculés à partir des équations suivantes :

RVVeq = 78,92 - (0.51 * GR) + (1.25 * Cote moyenne) (Jones *et al.*, 1996)

RVMeq = 65.8 - (0.074 * Pdschaud) - [0.432 * (6.38 + 0.88 * GR)] (Jones *et al.*, 1992; Stanford *et al.*, 1995)

Ces rendements sont exprimés en pourcentage du poids de la carcasse chaude. La mesure GR utilisée dans les équations est une mesure prise à l'aide d'une réglette sur la 12^e côte à 11 cm de la ligne médiane et la cote moyenne est en fait la moyenne des cotes pour les épaules, les gigots et les longes (voir 3.2.1.12).

3.2.2. Analyses de laboratoire

3.2.2.1. Perte en eau, couleur et pH

Environ 27 h (±1 h) après l'abattage, une tranche de viande a été découpée au bout de chaque longe courte droite. Ces tranches ont été préparées de manière à ne garder que du tissu musculaire exempt de gras et de tissu conjonctif. Ces tranches ont ensuite été pesées et suspendues dans un bac de plastique fermé maintenu à 4 °C. Quarante-huit heures plus tard, les tranches ont été pesées de nouveau et la perte en eau déterminée par différence entre les deux poids, rapportée en pourcentage.

Suite à la préparation de la tranche pour l'évaluation de la perte en eau, la face nouvellement coupée du *longissimus* a été exposée à l'air pour une période d'oxygénation de 30 min. Par la suite, trois lectures de couleur ont été effectuées avec un colorimètre (Chroma meter CR-300, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan), chaque lecture donnant une valeur pour chacun des paramètres de couleur L*, a* et b*.

Environ 48 h post-abattage, le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre (200 series pH meter, Beckman Instruments, Inc., CA, États-Unis) sur les *longissimus* conservés à 4 °C. Pour ce faire, la sonde (Mettler-Toledo LoT406-M6-DXK-S7/25, Mettler Toledo Ingold Inc., Bedford, MA, États-Unis) a été insérée dans la viande en trois endroits sur la même surface de la pièce.

3.2.2.2. Perte à la cuisson et force de cisaillement

La perte à la cuisson ainsi que la force de cisaillement ont été mesurées sur les mêmes pièces de viande, et ce, au cours de la même expérience. Deux jours précédents chaque période de mesures, une dizaine des 64 carrés conservés à -20 °C ont été placés dans une chambre à 2 °C pour une période de décongélation de 48 h. Par la suite, les carrés ont été découpés de manière à isoler le longissimus. Ce dernier a été dépouillé de son gras de couverture et de l'épimysium, c'est-à-dire la couche la plus superficielle de tissu conjonctif. Les pièces de viande ont été pesées avant d'être emballées individuellement sous vide. Deux pièces représentatives du lot ont été munies d'un thermocouple afin de permettre un bon suivi de la température interne lors de la cuisson. La cuisson s'est effectuée à l'aide d'un autoclave (Autoclave Pilot Rotor 900, Herman Stock Maschinenfabrik Gmbh, Neumunster, Allemagne). La température cible du caisson de préchauffage ainsi que celle du caisson de stérilisation (caisson de cuisson dans notre cas) était de 73 °C. L'eau est donc transférée du caisson de préchauffage à celui de stérilisation, lieu de la cuisson, lorsqu'elle atteint la température visée. À ce moment, la cuisson débute. Un temps d'environ 20 min est normalement requis pour la cuisson. Cette dernière est arrêtée lorsque la température interne des pièces munies d'un thermocouple atteint 67-67,5 °C. La procédure de refroidissement par ruissellement d'eau froide débute alors. De cette manière, la viande atteint la température cible de cuisson de 68 °C avant de refroidir pendant une dizaine de minutes.

Perte à la cuisson. Une fois cuite, la viande a été entreposée à 4 °C jusqu'au lendemain. Deux heures avant d'être manipulée, la viande a été placée à la température de la pièce. Elle a ensuite été déballée, essuyée et pesée. La perte de poids enregistrée représentait la perte à la cuisson.

Force de cisaillement. Chaque pièce de viande a ensuite été soumise au test de force de cisaillement. Pour ce faire, la pièce de viande a été découpée parallèlement aux fibres musculaires de manière à obtenir des bâtonnets de 1 cm² de longueur plus ou moins variable (environ 5 cm). De 9 à 18 bâtonnets par pièce de viande ont été placés un à un sur un texturomètre (TA-XT2i Texture Analyser, Stable micro System, Godalming, Surrey,

Royaume-Uni) avant d'être découpés perpendiculairement aux fibres musculaires par la géométrie Warner Bratzler (lame en V). Le programme Texture Exponent 32 (Stable micro System, Godalming, Surrey, Royaume-Uni) a permis de mesurer et d'enregistrer la force nécessaire au cisaillement en fonction du temps. Dans notre cas, la force maximale a été la valeur utilisée.

3.2.2.3. Composition chimique

Pour toutes les analyses qui suivent, la préparation des échantillons a été faite le même jour à partir des mêmes pièces de viande, soit les longes courtes. Ces dernières (64) ont d'abord été décongelées durant deux jours à 2 °C. Le *longissimus dorsi* a ensuite été isolé et dépouillé du gras de couverture et de l'épimysium. Le muscle a par la suite été découpé en morceaux avant d'être haché à l'aide d'un hache-viande électrique. La viande hachée a alors été divisée en trois fractions, la principale (pesée précisément de manière à connaître le poids réel) étant réservée pour l'analyse de la teneur en eau, en gras et en protéines, une seconde (non pesée : quelques grammes) pour la détermination de la concentration en myoglobine, ainsi qu'une troisième pour la composition en acides gras (non pesée : quelques grammes). Les différentes fractions de viande hachée ont été placées sous vide et remises sous congélation (-20 °C) jusqu'aux analyses subséquentes.

Eau, Gras et Protéines. Les échantillons conservés à -20 °C ont été placés à -40 °C au moins 24 h avant la lyophilisation afin de favoriser la sublimation de l'échantillon au cours de la lyophilisation. Les échantillons ont été déballés, placés dans des plats d'aluminium et mis au lyophilisateur Lyo-Tech (Lyo-San Inc., Lachute, QC, Canada) à 20 °C pour une période d'environ 68 h. Par la suite, le poids des échantillons a été recueilli, ce qui nous a permis, par simple soustraction avec le poids mesuré suite au hachage, de déterminer leur composition en eau. À l'aide d'un petit mélangeur Braun 200 watts muni de lames, les échantillons séchés ont été broyés et réduits en une farine homogène avant d'être placés dans des tubes hermétiques et conservés à température pièce jusqu'aux analyses de gras et de protéines.

La teneur en gras a été déterminée à l'aide d'un appareil LECO TFE2000 (LECO corporation, St. Joseph, MI, États-Unis). Le solvant utilisé afin d'extraire les lipides est le CO₂ liquide. Un système de balance intégré a permis de mesurer le poids des fioles avant et après extraction et ainsi calculer, par différence, la quantité de gras contenu dans l'échantillon.

D'une manière similaire, la composition en protéines a été mesurée à l'aide d'un appareil LECO Protéine, LECO FP-428 (LECO corporation, St. Joseph, MI, États-Unis). Le système permet une combustion rapide de l'échantillon ainsi qu'une récupération des gaz produits afin de déterminer la quantité d'azote produit, donc la quantité de protéine de l'échantillon.

Myoglobine. La concentration en myoglobine a été déterminée selon la méthode de Trout (1991). Pour ce faire, 3 g de viande ont d'abord été homogénéisés dans 30 ml de tampon phosphate 40 mM (pH 6,5; T = 0 °C) durant 20 s à 15 000 rpm (Polytron PT 3100, Kinematica, Luzernerstrasse, Lucerne, Suisse). La solution a ensuite été filtrée à l'aide d'un filtre Whatman #1, après quoi 1,4 ml de Triton X-100 10 % et 100 μl de nitrite de sodium 65 mM ont été ajoutés à 4 ml du filtrat recueilli. Suite à une période de repos de 1 h à 22 °C, l'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre (Varian Cary 50, Varian Instruments, Walnut Creek, CA, États-Unis), et ce, pour les longueurs d'ondes 409 et 730 nm. La concentration a été déterminée selon le calcul suivant :

Pigment (mg/ml) = ((A409-A730*2,68)* Vt/Vf*Ve/m*2*Mmyo)/(MAC409*L*1000)

Où:

A409 = Absorbance de l'extrait

A730 = Absorbance due à la turbidité (qui est 2,68 fois plus importante à 409 nm)

Vt = volume total passé au spectrophotomètre, soit 5,5 ml

Vf = volume de filtrat utilisé, soit 4 ml

Ve = volume d'extraction, solution viande tampon, soit 30 ml

m = masse de la viande, soit environ 3 g

2 = dilution 1 : 2

Mmyo = masse molaire de la myoglobine (pigment principal), soit 17 500 mg*mmol $^{-1}$. MAC409 = coefficient d'absorption molaire, soit 79,6 L*mmol $^{-1}$ *cm $^{-1}$ L = longueur de la cuve, soit 1 cm 1000 = 1000 ml*l $^{-1}$

Profil en acides gras. Pour la détermination du profil en acide gras, 2 g de longissimus dorsi haché ont été pesés en duplicata et homogénéisés sur glace dans 2 ml d'eau distillée pendant 15 s (Polytron PT 3100, Kinematica, Luzernerstrasse, Lucerne, Suisse). La méthode d'estérification in situ de Park et Goins (1994) a été utilisée afin d'estérifier et extraire les acides gras. Une fois extraits et transférés dans des fioles, les échantillons ont été analysés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (Agilent 6890, Agilent Technologie, Mississauga, ON, Canada) muni d'une colonne J & W DB-23 d'une longueur de 60 m (ayant un diamètre de 320 µm et une épaisseur de film de 0,25 µm) ainsi que d'un détecteur à flamme ionisante. L'injection automatique de 1 µl d'échantillon se fait à une température de 260 °C. De son côté, la température initiale de la colonne est de 140 °C et elle est maintenue ainsi durant 3 min. Par la suite, elle augmente jusqu'à 176 °C à un taux de 9 °C/min où elle est maintenue pendant 30 s. Des taux de 4,5 °C/min et de 0,25 °C/min sont utilisés jusqu'aux températures cibles de 200 °C (30 s) et 205 °C (30 s). Finalement, la colonne atteint 250 °C suite à une augmentation de température de 10 °C/min et cette température est maintenue durant 4 min. Le débit de la colonne est de 0,8 ml/min. Au niveau du détecteur à flamme ionisante, la température est de 275 °C. Ce système utilise un taux de partage de 100 : 1 et le gaz porteur est l'hydrogène.

3.2.2.4. Typage des fibres musculaires

La proportion des différents types de fibres composant le *longissimus* a été mesurée sur des échantillons congelés en dedans de 30 min suivant la mort de l'animal dans l'isopentane afin d'éviter la formation de cristaux. Des coupes d'environ 14 µm d'épaisseur ont été effectuées sur ces blocs à l'aide d'un cryostat (modèle 840, Reichert-Jung, Buffalo, NY, États-Unis). Deux coupes successives constituées des mêmes fibres musculaires ont été colorées de manière à mettre en évidence l'activité ATPasique sur l'une et l'activité de la succinate déshydrogénase sur l'autre. Pour chaque individu, les colorations ont été

effectuées en duplicata. Une fois colorées selon la procédure décrite plus bas, les coupes ont été observées à l'aide d'un microscope (Nikon Eclipse E400, Nikon Canada instruments Inc., Missisauga, ON, Canada), photographiées via une caméra digitale (modèle 3.2.0, Diagnostic Instruments Inc., Sterling Heights, MI, États-Unis) et finalement caractérisées en fonction du type de fibres grâce au logiciel Image-Pro Express 4,0 (MediaCybernetics, Silver Spring, MD, États-Unis). Dans chaque cas, plus de 350 fibres ont été identifiées.

Activité ATPasique. De manière à distinguer les fibres à contraction lente des fibres à contraction rapide, une coloration différentielle basée sur l'activité ATPasique a été effectuée. Pour ce faire, les coupes ont d'abord été pré-incubées pendant 10 min à la température de la pièce dans une solution dont le pH était de 4,3 et contenait 25 ml de CaCl₂ (10 %) et 40 gouttes d'acide formique. Les lames ont ensuite été rincées pendant 1 min à deux reprises dans une solution contenant du Tris (100 mM) et du CaCl₂ (0,18 M) à pH 7,8. Par la suite, elles ont été incubées durant 40 min dans une solution contenant 0,942 ml de tampon alcalin 1,5 M (Sigma A9226, Sigma-Aldrich Canada Ltd., Oakville, ON, Canada), 5 ml CaCl₂ (10 %), 1 ml KCl (0,5 M) et 0,152 g d'ATP pour une solution de 1000 ml dont le pH était ajusté à 9.4. Ces étapes permettent la libération d'ions phosphoriques sous l'action des ATPases myofibrillaires. Ces ions précipitent sous forme de phosphate de calcium. Les lames ont ensuite été plongées dans une solution de CaCl₂ 1 % ainsi que dans une solution de CoCl₂ 2 %. Ces étapes favorisent la transformation du précipité en phosphate de cobalt. Finalement, les coupes ont été rincées dans l'eau déionisée avant d'être révélées à l'aide d'une solution de sulfure d'ammonium 1 %. Cette dernière étape permet de transformer le phosphate de cobalt en sulfure de cobalt noir. Par la suite, les lames ont été rincées dans de l'eau déionisée, déshydratées dans des bains successifs d'éthanol (30 %, 50 %, 70 %, 80 % et 95 %) avant d'être trempées dans deux solutions éthanol:cytosol (3:1 et 1:1) et une de cytosol pur. Les lames ont finalement été montées de manière à être observées au microscope. Puisqu'à pH acide, l'activité ATPasique des fibres à contraction rapide est inhibée, seules les fibres à contraction lente apparaissent noir très foncé.

Activité succinate déshydrogénase (SDH). En se basant cette fois-ci sur la méthode de Nachlas (1957), l'activité de la succinate déshydrogénase est mise en évidence afin de révéler la nature oxydative des fibres. De manière similaire aux manipulations précédentes, les lames ont d'abord été plongées dans une solution d'incubation contenant 5 ml de succinate (100 mM), 5 ml de NBT (nitro-bleu-tetrazolium) et 50 μl de meldolablau (10,2 mM). Elles ont par la suite été rincées rapidement dans du NaCl 0,9 % avant d'être fixées dans une solution de formaldéhyde et de NaCl. Par la suite, les lames ont été rincées dans de l'eau déionisée, et déshydratées dans des bains successifs d'éthanol (30 %, 50 %, 70 %, 80 % et 95 %) avant d'être trempées dans deux solutions éthanol:cytosol (3:1 et 1:1) et une de cytosol pur. Les lames ont finalement été montées de manière à être observées au microscope. Puisque la réaction entre le NBT et la SDH produit un précipité bleu, il est possible de différencier les fibres selon leur activité oxydative.

Analyse finale. Une fois les photographies prises, les deux colorations des coupes comprenant les mêmes fibres ont été analysées à l'aide du logiciel Image Pro Express 4.0. (MediaCybernetics, Silver Spring, MD, États-Unis). Il a alors été possible de caractériser les fibres selon leur vitesse de contraction et leur métabolisme en trois catégories, soit les fibres oxydatives à contraction lente (SO), les fibres glycolytiques à contraction rapide (FG) ou les fibres intermédiaires c'est-à-dire à contraction rapide, mais au métabolisme à la fois glycolytique et oxydatif (FOG).

3.2.2.5. Cinétique enzymatique

Afin de déterminer le potentiel glycolytique et oxydatif du muscle *longissimus dorsi*, deux tests d'activités enzymatiques ont été effectués, soit un premier basé sur l'activité de la lactate déshydrogénase (détermination du potentiel glycolytique), et un second basé sur l'activité de la citrate synthase donnant une mesure de la capacité oxydative. De plus, la capacité d'oxydation des acides gras a été mesurée via l'activité de la β-hydroxyacyl-CoA déshygrogénase. Ces tests ont été effectués sur les échantillons congelés directement dans l'azote liquide à l'abattoir.

Pour la préparation des homogénats, une procédure commune a été utilisée. Environ 1 g de viande a été broyé et homogénéisé (Polytron PT 3100) dans 10 ml de tampon d'extraction constitué de glycylglycine (63 mM), de saccharose (0,5 M), de EDTA (6,2 mM) et de NaF (125 mM). Par la suite, 5 ml de broyat ont été immédiatement dilués dans 5 ml de tampon d'extraction. De cette manière, deux tubes avec l'échantillon de départ étaient obtenus, soit un premier tube dont le rapport gramme de viande:volume de tampon était de 1:10 (les 5 ml restants) et un second à 1:20 (les 5 ml auxquels étaient ajoutés 5 ml du tampon). Suite à une centrifugation de 30 min à 3000 g (Beckman Coulter Allegra 6R, Beckman Coulter Canada Inc., Ville St-Laurent, QC, Canada), le surnageant a été récolté.

Citrate synthase (CS). Dans le cas de la citrate synthase, l'extrait (1:20) a été dilué dans un tampon physiologique (0,15 % BSA et 0,9 % NaCl) selon le ratio 1:20. Par la suite, chaque échantillon a été préparé en duplicata dans des cuves allant au spectrophotomètre de la manière suivante : 0,05 ml d'extrait dilué, 3,0 ml de tampon de réaction (Tris 0,1 M; EDTA 2,5 mM, pH 8,1), 0,1 ml d'acétyl-CoA, 0,1 ml de DTNB (1 mM). Les cuves ont été disposées dans le spectrophotomètre (Varian Cary 50, Varian Instruments, Walnut Creek, CA, États-Unis) pour permettre à la température de se stabiliser à 30 °C et 0,1 ml d'oxaloacétate (10 mM) a été ajouté afin de démarrer la réaction. L'évolution de l'absorption des échantillons soumis à une longueur d'onde de 412 nm a été mesurée durant cinq minutes. L'équation de Beer-Lambert a été utilisée afin de déterminer l'activité enzymatique.

Activité CS (UI/ml d'extrait) = (DO/min x dilution x Vt)/(Vpd x L x e) Activité CS (UI/g viande) = Activité CS (UI/ml d'extrait) x Ve/m

Où:

DO/min = pente (cinétique enzymatique)/min
Dilution 1:20, donc 21 ml
Vt = volume total, soit 3,35 ml
Vpd = volume de la prise d'essai, soit 0,05 ml
L = longueur de la cuve, soit 1 cm

e = coefficient d'absorption du DTNB, soit 13,6 ml x μ mol⁻¹ x cm⁻¹ Ve = volume d'extraction, soit 20 ml* m = poids de viande en mg

* Ce volume n'est pas réel, mais correspond au ratio gramme de viande:volume de tampon 1:20 qui a été créé en diluant 5 ml d'extraits (1 g de viande/10 ml de tampon) dans 5 ml de tampon additionnel pour un volume total d'extraction de 10 ml et un ratio 1:20. Il est ainsi utilisé de manière à introduire la masse totale de viande homogénéisée.

Lactate déshydrogénase (LDH). Pour ce qui est de la lactate déshydrogénase, un échantillon du même extrait que pour la citrate synthase (1:20) a cette fois-ci été dilué selon le ratio 1:200 dans le tampon physiologique (0,15 % BSA et 0,9 % NaCl). Encore une fois, chaque échantillon a été préparé en duplicata dans des cuves allant au spectrophotomètre de la manière suivante : 0,1 ml d'extrait dilué et 3,0 ml de tampon (Triéthanolamine HCl 0,1 M; EDTA 5 mM; MgCl₂ 2 g/l) auquel du pyruvate de sodium a été ajouté (27,5 mg/100 ml). Une fois la température des cuves stabilisée dans le spectrophotomètre, 50 µl NADH (0,6 mg NADH) a été ajoutés dans chacune d'elles afin de démarrer la réaction. L'évolution de l'absorption des échantillons soumis à une longueur d'onde de 340 nm a été mesurée durant cinq minutes. L'équation de Beer-Lambert a, une fois de plus, été utilisée afin de déterminer l'activité enzymatique.

Activité LDH (UI/ml d'extrait) = (DO/min x dilution x Vt)/(Vpd x L x e) Activité LDH (UI/g viande) = Activité (UI/ml d'extrait) x Ve/m

Où:

DO/min = pente (cinétique enzymatique)/min
Dilution 1:200, donc 201 ml
Vt = volume total, soit 3,15 ml
Vpd = volume de la prise d'essai, soit 0,1 ml
L = longueur de la cuve, soit 1 cm
e = coefficient d'absorption du NADH, soit 6,22 ml x µmol⁻¹ x cm⁻¹

Ve = volume d'extraction, soit 20 ml* m = poids de viande en mg

* même logique que pour la citrate synthase, voir précédemment

β-Hydroxyl-CoA déshydrogénase (HAD). Dans le cas de la β-Hydroxyacyl-CoA déshydrogénase, l'extrait de base a été différent de celui utilisé pour la citrate et la lactate. En effet, les 5 ml restants de l'échantillon de départ (soit 10 ml dont on avait retiré 5 ml afin de préparer l'extrait 1:20) ont été utilisés de manière à obtenir un ratio viande : tampon de 1 g : 10 ml. Cet extrait a été utilisé sans aucune dilution subséquente. Toujours en duplicata, 3 ml de tampon (Triéthanolamine HCl 0,1 M; EDTA 5 mM; MgCl₂ 2 g/l) et 20 μl d'acétoacetyl-CoA (3,25 mM) ont été mélangés dans des cuves contenants 0,1 ml d'extrait. Suite à l'équilibration de la température des cuves dans le spectrophotomètre, 15 μl de NADH (0,45 mM) a été ajouté afin de démarrer la réaction. La variation de la DO a été suivie à 340 nm pendant 5 min. L'activité enzymatique a encore une fois été calculée via l'équation de Beer-Lambert.

Activité HAD (UI/ml d'extrait) = (DO/min x dilution x Vt)/(Vpd x L x e) Activité HAD (UI/g viande) = Activité (UI/ml d'extrait) x Ve/m

Où:

DO/min = pente (cinétique enzymatique)/min

Dilution, aucune

Vt = volume total, soit 3,135 ml

Vpd = volume de la prise d'essai, soit 0,1 ml

L = longueur de la cuve soit 1 cm

e = coefficient d'absorption du NADH soit 6,22 ml x μmol-1 x cm-1

Ve = volume d'extraction soit 10ml*

m = poids de viande en mg

^{*} toujours la même logique, mais ici le ratio est 1:10

3.2.2.6. Calpaïnes et Calpastatine

L'activité du principal système enzymatique impliqué dans l'attendrissement de la viande a été mesurée à partir des échantillons congelés dans l'azote liquide. L'activité de la μ-calpaïne et de la m-calpaïne a été déterminée selon la méthode d'Iversen *et al.* (1993), tandis que l'activité de la calpastatine a été déterminée selon l'approche de Shackelford *et al.* (1994b) adaptée de Koohmaraie (1990). Ces méthodes servent à séparer les différentes fractions, c'est-à-dire μ-calpaïne, m-calpaïne et calpastatine. L'activité a été mesurée par spectrophotométrie en utilisant la caséine comme substrat selon la démarche suivante.

Tout d'abord, 3 g de muscle ont été homogénéisés (Polytron PT 3100) dans 30 ml de tampon (20 mM Tris, 2 mM EDTA, 1 mM DTT; pH 7,5). Deux périodes de 45 s à 14 000 rpm ont été utilisées. Par la suite, l'échantillon a été centrifugé à 30 000 g pendant 30 min à 4 °C. Le surnageant a d'abord été filtré à travers une laine de verre et le volume a été noté. Deux échantillons de 1 ml ont alors été récupérés et placés dans des microtubes. Ces échantillons ont été utilisés pour la mesure de l'activité calpastatine. Le surnageant restant a été filtré sous vide à 0,45 μm.

Séparation μ-calpaïne, m-calpaïne et calpastatine. La séparation de ces deux enzymes a été effectuée à l'aide d'un chromatographe (FPLC⁸ Waters 650E, Waters, divisions de millipor, Milford, MA, États-Unis) muni d'un système de distribution multi-solvant (Waters 600E, Waters, divisions de millipor, Milford, MA, États-Unis). Une quantité de filtrat correspondant à 2 g de viande a d'abord été injectée sur une colonne (Hitrap Q FF 5 ml, Amersham Biosciences, Baie d'Urfé, QC, Canada) à un débit de 1 ml/min. Par la suite, les protéines ont été éluées à ce même débit à l'aide d'un gradient de NaCl allant de 0 à 500 mM.

La calpastatine a été isolée selon l'approche de Shackelford *et al.* (1994b). Les deux microtubes contenant chacun 1 ml de surnageant obtenus suite à la centrifugation ont d'abord été placés dans un bain-marie à 96 °C pendant 10 min de manière à dénaturer les calpaïnes présentes. Ils ont ensuite été refroidis durant 5 min dans un bain d'eau glacée,

.

⁸ Le FPLC est un système de purification de protéines par chromatographie. Les lettres FPLC signifient « fast protein liquid chromatography »

avant d'être centrifugés pendant 10 min à 14 000 rpm (centrifugeuse Eppendrof 5810R; Agilent technologies, Missisauga, ON, Canada). Le surnageant ainsi obtenu correspond à la fraction calpastatine.

Mesure des activités enzymatiques. Une fois les trois enzymes séparées, leur activité respective a été mesurée par dosage de l'activité caséinolytique des calpaïnes. Pour ce faire, deux solutions caséiques ont été utilisées, soit une contenant du CaCl₂ et une contenant du EDTA (0,5 M Tris; 3,37 mM DTT; 10 mg/ml caséine; 4,166 mM CaCl₂ ou 0,01 M EDTA; pH 7,5). Pour déterminer l'activité des différentes fractions, 500 μl de chacune d'elles ont été combinés à 750 μl de la solution de caséine CaCl₂. La même procédure a été répétée avec la solution de caséine EDTA. Les fractions d'intérêts (μ-calpaïne, m-calpaïne) ont été effectuées en duplicata. Pour la fraction contenant la m-calpaïne, des tubes ont aussi été préparés avec seulement 250 μl de la fraction, 250 μl de tampon sans NaCl et 750 μl de caséine CaCl₂ (Tube A) ou caséine EDTA. Ils sont nécessaires au calcul de l'activité inhibitrice de la calpastatine. Pour ce calcul, deux tubes contenant la calpastatine (surnageant chauffé) ont été préparés en duplicata :

Tube B : 125 μ l tampons sans NaCl + 125 μ l de calpastatine + 250 μ l m-calpaïne + 750 μ l solution caséine CaCl₂

Tube C : 375 μl tampons sans NaCl + 125 μl calpastatine + 750 μl solution caséine EDTA.

Tous les tubes préparés ont été agités à l'aide d'un vortex puis incubés pendant 60 min dans un bain-marie maintenu à 25 °C. La réaction a été arrêtée par l'ajout de 250 µl d'acide trichloroacétique 15 % (TCA). Par la suite, l'évolution de l'absorption des différentes solutions sous une longueur d'onde de 278 nm a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre (Varian Cary 50, Varian Instruments, Walnut Creek, CA, États-Unis). Puisque les calpaïnes sont des enzymes possédant une activité caséinolytique et qu'elles sont calcium dépendantes, il est possible de connaître l'activité des différentes fractions en soustrayant l'activité de l'échantillon avec caséine EDTA (chélateur qui permet de mesurer l'activité non-calcium dépendante) à celle de l'échantillon avec caséine et CaCl₂. La différence est alors une mesure de l'activité caséinolytique engendrée par l'activation des

calpaïnes en présence de CaCl₂. Dans le cas des fractions contrôles, une activité minimale due à des valeurs d'absorption similaires entre l'échantillon caséine et CaCl₂ et celui caséine et EDTA indique qu'il n'y a pratiquement pas de calpaïnes dans ces fractions. Dans le cas de la calpastatine, le principe est le même, mais la soustraction fait intervenir trois réactions [A-(B-C)] :

- A. DO de la m-calpaïne nette;
- B. DO de la m-calpaïne en présence de la calpastatine ;
- C. DO de la calpastatine en présence d'EDTA

En rapportant cette valeur en fonction de la valeur A qui est en fait l'activité de 250 µl de m-calpaïne, on se retrouve avec une valeur de l'activité inhibitrice, en l'occurrence l'activité de la calpastatine. On rapporte l'ensemble des activités en UI/g de viande.

3.2.2.7. Longueur des sarcomères

Cinq grammes de muscle ont été homogénéisés dans 50 ml d'une solution de sucrose 0,2 M pendant 25 s à une vitesse maximale de 26 000 rpm (Polytron PT 3100, Kinematica, Luzernerstrasse, Lucerne, Suisse). Par la suite, une goutte de la solution obtenue a été déposée sur une lame et recouverte d'une lamelle. À l'aide d'un microscope à contraste de phase (Nikon Eclipse E400, Nikon Canada instruments Inc., Missisauga, ON, Canada) muni d'une caméra digitale (modèle 3.2.0, Diagnostic Instruments Inc., Sterling Heights, MI, États-Unis), 25 myofibrilles ont été photographiées sous un objectif de 100x. Chacune des myofibrilles devait être constituée d'un minimum de 10 sarcomères. La distance moyenne entre les sarcomères a été mesurée via le logiciel Image Pro Plus (MediaCybernetics, Silver Spring, MD, États-Unis) calibré pour cette mesure. Pour ce faire, la longueur totale de la myofibrille était mesurée et divisée par le nombre de sarcomères.

3.2.3. Évaluation sensorielle

L'évaluation sensorielle a été effectuée à partir des 32 longes gauches et 32 semimembranosus gauches récupérés à cette fin (8 longes et semimembranosus /sexe/traitement). Un profil sensoriel de la flaveur et de la texture a été utilisé. Dans ce test, les juges doivent indiquer l'intensité perçue de chaque échantillon présenté, et ce, pour les caractéristiques de flaveur et de texture prédéterminées lors des séances de formation. Les

échelles pour l'évaluation de l'intensité de la flaveur vont de 0 à 7 alors que celles pour l'évaluation de l'intensité de la texture (fermeté et jutosité) vont de 0 à 15. Une longe de chaque traitement a été utilisée pour l'entraînement des juges, ce qui laissait donc 7 longes de chaque traitement pour les évaluations sensorielles.

3.2.3.1. Entraînement du jury

Un panel de 12 juges, employés et stagiaires du CRDA, pour la plupart expérimentés dans l'évaluation sensorielle, ont été sélectionnés. Dans le cadre d'un projet antérieur, ils avaient été entraînés à l'évaluation de la flaveur et de la texture de la viande avant de réaliser des séances de simulation pour évaluer leur niveau d'entraînement et, finalement, participer à quatre séances d'évaluation pour la viande bovine.

Une formation de trois séances a tout de même été donnée à tous les juges afin de bien positionner les aliments de référence sur les échelles d'intensité de texture et de flaveur. Dans ces séances, les juges ont été entraînés à évaluer la flaveur, la tendreté (fermeté) et la jutosité de la viande. Par exemple, pour la jutosité, le biscuit sec correspond à 0 et le pamplemousse à 7 sur une échelle d'intensité. Les juges doivent par la suite positionner des échantillons de viande en cubes par rapport à ces références. Dans l'évaluation de la flaveur, les juges ont été appelés à déterminer l'intensité de la flaveur d'agneau. Pour ce faire, des mélanges de différentes proportions d'agneau haché (longe) et de veau maigre haché ainsi que de la longe et du gigot d'agneau braisés ont été utilisés comme référence lors des séances d'entraînement.

3.2.3.2. Préparation des échantillons

Le tableau suivant présente les étapes nécessaires à la préparation des échantillons. À noter que lors de chaque séance, quatre longes et quatre gigots sont ainsi préparés puisqu'il y a quatre « traitements ».

Muscle	Action							
	-72 h	-24 h	Jour sensoriel					
Longe complète		Désosser						
Carré	Placer à 4 °C	Placer à 4 °C, sous-vide	Cuber et mettre en pots; Cuire au fumoir Incuber à 55 °C					
Longe courte		A.M.: Cuire au four à feu lent P.M.: Déchiqueter, préparer les portions et placer à 4 °C	-1 heure : Incuber à 55 °C					
Gigot		A.M.: Cuire au four à feu lent P.M.: Déchiqueter, préparer les portions et placer à 4 °C	-1 heure : Incuber à 55 °C					

Le carré est découpé de manière à éliminer les extrémités qui semblent présenter une texture différente de l'ensemble du carré. Environ 28 cubes peuvent être préparés avec chaque carré, ce qui permet aux juges de disposer de deux cubes par échantillon. Les cubes sont ensuite placés deux à deux dans des pots en verre qui iront au fumoir. À chaque séance, deux des échantillons sont munis d'un thermocouple de manière à surveiller la cuisson et atteindre une température de 65 °C.

3.2.3.3. Séance d'évaluation sensorielle

Sept séances d'évaluation sensorielle ont été effectuées, correspondant à 7 répétitions. À chaque séance, chaque juge a reçu les échantillons suivants :

- déchiqueté provenant de la longe courte pour évaluer la flaveur ;
- déchiqueté provenant du gigot pour évaluer la flaveur ;
- cubes provenant du carré pour évaluer la texture (jutosité et fermeté).

Pour la flaveur, l'ordre des muscles à évaluer a été inversé à chaque répétition (c'est-à-dire à la répétition 1, longe suivie du gigot; à la répétition 2, gigot suivi de la longe et ainsi de suite). Les juges ont procédé au même moment à l'évaluation de la texture à partir de cubes de longe. Une fois ces trois échantillons évalués pour un des traitements, le deuxième traitement a été présenté, ainsi de suite jusqu'au quatrième, selon une randomisation préétablie pour chaque juge, à chaque séance. Les essais ont eu lieu dans une pièce

d'évaluation sensorielle regroupant plusieurs bureaux à cloisons, où la pression est positive afin de chasser les odeurs et la lumière est rouge afin de masquer des différences potentielles d'apparence entre les échantillons. Les juges ont répondu directement au questionnaire sur l'ordinateur attenant à chaque bureau à cloisons.

3.2.4. Analyses statistiques

Certaines données ont dû être éliminées pour diverses raisons. Toutes les données d'un agneau ont dû être retirées étant donné que ce dernier a été abattu sous la strate de poids préétablie. Dans un autre cas, c'est l'ensemble des données touchant la qualité de la viande d'un agneau qui a été écarté de l'étude en raison d'un pH trop élevé (pH = 6,18). Cet agneau aurait subi un stress pré-abattage en étant isolé lors de la mise à jeun, puisqu'il a été le seul à atteindre la strate de poids visée cette semaine-là. Les mesures du poids à jeun des agneaux abattus le 24 février ont aussi été éliminées puisqu'un problème est survenu avec la calibration de la balance lors de cette pesée. Pour l'ensemble des données mesurées en laboratoire, certaines valeurs ont été ignorées en raison d'une variation trop importante entre les répétitions sur un même animal (CV > 10 %), signe d'un problème de manipulation. Finalement, pour certaines analyses de laboratoire, seul un sous-échantillon d'animaux a été utilisé pour des raisons de logistique et de temps.

Les données ont été analysées à l'aide de la procédure Mixed de SAS (SAS Institute Inc., 2001). Les sources de variation incluses dans le modèle étaient le *sexe* et l'*environnement d'élevage*. Il est important de mentionner que l'effet *sexe* inclut un effet *poids d'abattage* puisque les femelles ont été abattues à un poids inférieur à celui des mâles. Ce choix est tout à fait logique d'un point de vue physiologique (degré de maturité est fonction du poids adulte), en plus de respecter les poids représentatifs des agneaux lourds abattus au Québec. Dans ce plan d'expérience, les unités expérimentales (parc) ne sont pas complètement indépendantes du traitement puisque la température est appliquée à l'ensemble de la bergerie et non à chacune des unités expérimentales de façon aléatoire. La bergerie aurait donc dû être l'unité expérimentale. Ce faisant, aucun degré de liberté n'aurait été disponible à des fins de comparaison entre les traitements (aucune répétition des traitements). Idéalement, afin de répondre aux principes de construction d'une expérience et avoir le

nombre de degrés de liberté nécessaire à une analyse statistique valide, il aurait fallu avoir plusieurs bergeries chaudes et froides ou encore répéter l'expérience sur quelques années. Toutefois, pour des raisons de logistique, d'espace et de temps, il était impossible de procéder de la sorte. Cependant, ce problème est couramment rencontré dans le cadre d'expériences portant sur la température. Voici quelques études publiées qui ont utilisé un dispositif comparable au nôtre, avec les failles qu'il comporte (Graham *et al.*, 1981; McBride et Christopherson, 1984). Nous acceptons et reconnaissons ces lacunes, mais croyons tout de même que cette expérience est tout à fait acceptable et pertinente. Il faut seulement être conscient de ses limites et demeurer prudent dans l'interprétation des résultats et dans la portée de ceux-ci.

Les effets principaux et l'interaction sont considérés comme significatifs à P < 0.05. Les corrélations entre les divers paramètres de croissance, la qualité de la carcasse, les caractéristiques musculaires et la qualité de la viande ont aussi été étudiées et elles sont présentées à l'annexe A.

3.3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Il faut souligner d'entrée de jeu que peu d'études ont été réalisées chez l'espèce ovine dans l'ordre de grandeur des températures observées dans la présente étude (Boe *et al.*, 1991; Vachon *et al.*, 2007) et que la plupart des études ont utilisé des environnements à température constante et contrôlée lors de leurs essais : -5, 0, 5, 10, 15, 20, 30 ou 35 °C (Brink et Ames, 1975; Ames et Brink, 1977); 5, 18 ou 31 °C (Schanbacher *et al.*, 1982); 0 ou 23 °C (Ekpe et Christopherson, 2000; Moibi *et al.*, 2000); 0 ou 20 °C (Li *et al.*, 2000). Contrairement aux études menées en environnement contrôlé, le traitement appliqué dans cette étude n'était pas un traitement de froid chronique et constant, contrôlé en chambres réfrigérées, mais plutôt un traitement de froid suivant les fluctuations environnementales durant la période hivernale. Il est donc beaucoup plus représentatif des conditions normales d'élevage retrouvées dans l'est du Canada. Cette particularité doit donc être prise en compte lors de l'interprétation des résultats puisque la littérature rapporte des réponses métaboliques différentes chez les ovins exposés à un froid constant ou à des fluctuations de

température (Webster *et al.*, 1969; Slee, 1970, 1972). La figure 3.1 présente les températures enregistrées à l'intérieur des bergeries (froide et tempérée) ainsi que la température journalière moyenne dans la région de La Pocatière durant la phase expérimentale. Globalement, la température journalière moyenne de l'environnement tempéré (bergerie chaude) a été de 10.9 ± 0.7 °C (min. = 8.8 °C et max. = 12.3 °C) tandis que celle de l'environnement froid (bergerie froide) était de -2.0 ± 5.2 °C (min. = -10.9 °C et max. = 9.3 °C). Pour sa part, la température extérieure moyenne enregistrée a été de -9.4 ± 5.9 °C. Pour ce qui est de l'humidité mesurée à l'intérieur des bergeries, elle a été respectivement de 75.2 ± 8.2 % et 57.8 ± 9.7 % pour l'environnement froid et l'environnement tempéré.

3.3.1. Paramètres de croissance et qualité de la carcasse

Paramètres de croissance. Plusieurs différences significatives ont été observées entre les deux sexes en ce qui concerne les paramètres de croissance, ce qui était *a priori* attendu étant donné la différence de poids d'abattage imposée (Tableau 3.1). Malgré ce facteur, l'âge à l'abattage des femelles a tout de même été supérieur, résultat d'un gain moyen quotidien et d'une vitesse de dépôt musculaire inférieurs à ceux des mâles. D'ailleurs, il est bien démontré que les agneaux mâles ont généralement un GMQ supérieur à celui des femelles (Dragomir, 2005; Vachon *et al.*, 2007).

De façon générale, aucun effet négatif n'a été observé au niveau de la croissance des agneaux élevés dans l'environnement froid (EF) comparativement à ceux élevés dans l'environnement tempéré (ET), et ce, aussi bien chez les mâles que les femelles (Tableau 3.1). Ce constat est en accord avec celui de Vachon *et al.* (2007) qui n'ont pas observé d'effet négatif de l'environnement froid sur les paramètres de croissance d'agneaux élevés dans des conditions d'élevages très semblables où les températures moyennes étaient respectivement de -7,5 °C en 2003 et -4,7 °C en 2004 pour l'environnement froid et 6,3 °C en 2003 et 10,5 °C en 2004 pour l'environnement tempéré. Au contraire, les résultats présentés au tableau 3.1 indiquent que lorsque des différences ont été observées au niveau de la croissance des agneaux, l'environnement froid était plus favorable.

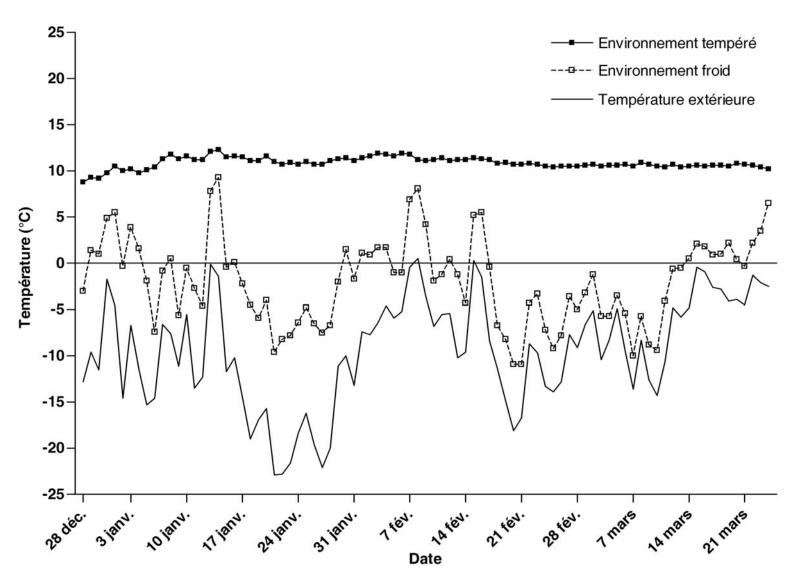


Figure 3.1. Variation de la température dans les bergeries expérimentales durant la période hivernale

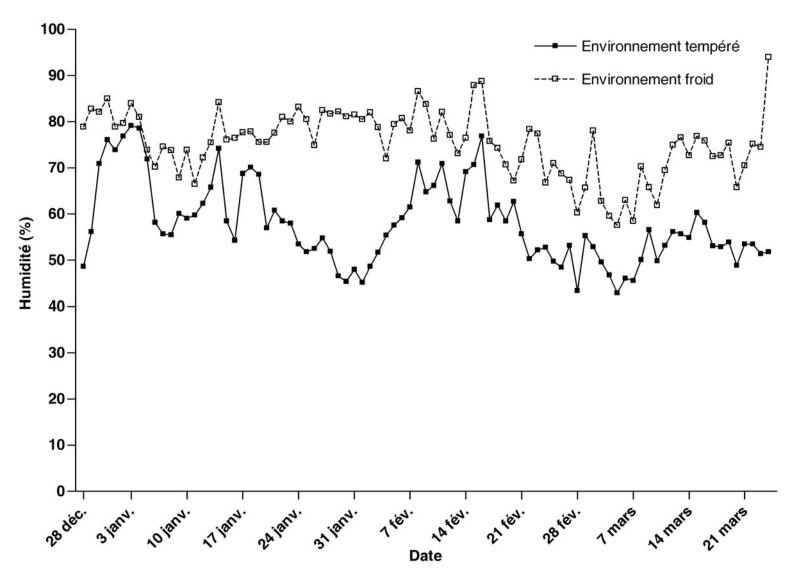


Figure 3.2. Variation de l'humidité dans les bergeries expérimentales durant la période hivernale

Tableau 3.1. Paramètres de croissance en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

V	Mâles		Femelles			Effets (P)		
Variables	Tempéré Froid		Tempéré	Froid	SEM	S	E	SxE
Poids initial (kg)	25,6	25,4	23,6	23,4	0,7	0,011	0,771	0,980
Âge initial (j)	62,5	61,8	62,9	62,3	0,6	0,521	0,252	0,917
Gras dorsal initial ¹ (mm)	5,7	5,7	5,6	5,8	0,2	0,964	0,716	0,814
Épaisseur du muscle initiale ¹ (mm)	25,0	24,9	24,6	24,6	0,6	0,493	0,967	0,992
Poids vif à la sortie (kg)	50,4	51,0	45,3	45,4	0,3	< 0,001	0,223	0,443
Poids à jeun à l'abattage (kg)	47,9	49,2	43,0	43,9	0,5	< 0,001	0,036	0,625
Perte de poids à jeun (%)	4,7	4,1	4,8	3,7	0,7	0,745	0,174	0,716
Âge à l'abattage (j)	119,5	118,8	127,3	124,5	2,5	0,019	0,491	0,682
Gras dorsal à l'abattage ¹ (mm)	9,0	8,3	9,3	9,0	0,3	0,112	0,125	0,685
Épaisseur du muscle à l'abattage ¹ (mm)	32,8	34,4	31,8	33,4	0,6	0,144	0,027	0,955
GMQ (g/j)	0,455	0,474	0,355	0,374	0,013	< 0,001	0,161	0,996
Dépôt du gras² (mm/j)	0,061	0,048	0,061	0,055	0,005	0,482	0,068	0,535
Dépôt du muscle² (mm/j)	0,142	0,170	0,119	0,149	0,010	0,049	0,014	0,886
Consommation de moulée³ (kg/enclos)	379,0	388,8	391,7	368,6	11,4	0,726	0,532	0,139
Conversion alimentaire ⁴ (kg moulée/kg gain)	3.82	3.80	4.53	4.19	0.14	0,001	0,186	0,245

Épaisseurs du muscle de la longe et du gras dorsal mesurées par ultrason entre les 3^e et 4^e vertèbres lombaires.

Dépôts de muscle et de gras mesurés par ultrason entre les 3^e et 4^e vertèbres lombaires et exprimés en mm/jour.

Consommation totale moyenne par enclos de 4 agneaux.

4 Quantité totale d'aliment consommé par enclos divisé par le gain de poids total d'un enclos.

Les gains moyens quotidiens observés dans cette étude sont conformes à ceux rapportés par le NRC (1985) pour des agneaux ayant un potentiel de croissance rapide. Les GMQ étaient similaires pour les agneaux élevés dans l'environnement froid ou tempéré. Ce résultat diverge cependant de ceux de certaines études qui ont plutôt observées un effet quadratique de la température sur le GMO d'agneaux tondus deux fois par semaine et gardés pendant 12 jours à -5, 0, 5, 10, 15, 20, 30 et 35 °C (Brink et Ames, 1975; Ames et Brink, 1977). Dans ces études, le GMQ augmentait de -5 à 15 °C pour ensuite diminuer jusqu'à 35 °C. Selon ces chercheurs, la baisse de performance sous les températures les plus froides serait causée par l'accroissement des besoins à l'entretien dû au stress thermique et par une augmentation insuffisante de l'ingestion d'énergie pour combler cette demande. Outre les différences au niveau de l'âge des animaux, du type de traitement thermique (froid constant vs fluctuations) et de sa durée, l'absence ou la présence de laine pourrait également expliquer la divergence de résultats entre ces études et la nôtre. En effet, la laine est un isolant très efficace qui influe sur la zone de confort de l'animal et sa température minimale critique (NRC, 1981). Les résultats obtenus par la présente étude et ceux de Vachon et al. (2007) semblent indiquer que la présence normale de laine est suffisante pour maintenir les performances de croissance des agneaux élevés dans un environnement froid, du moins, sous les températures observées lors de ces expériences. Selon le NRC (1981), la température permettant une croissance maximale des agneaux serait de 13 °C lorsqu'ils sont tondus et diminuerait s'ils conservent leur toison.

Schanbacher *et al.* (1982) ont rapporté un GMQ supérieur lorsque les agneaux non tondus alimentés *ad libitum* sont élevés à 5 °C vs 18 ou 31 °C. Cependant, il est difficile de comparer ces résultats avec ceux de la présente étude puisque les températures sont très différentes. Cet effet pourrait davantage témoigner d'un stress causé par les températures plus élevées (Ames et Brink, 1977); températures possiblement au-dessus de la zone de neutralité thermique de l'animal.

Certaines études ont rapporté des GMQ supérieurs pour des agneaux mâles castrés tondus élevés sous des températures plus froides (0 °C vs 23 °C) (Ekpe et Christopherson, 2000; Moibi *et al.*, 2000). Dans ces études, la consommation alimentaire était supérieure en

environnement froid, ce qui pourrait expliquer en partie la différence de gain. En effet, les résultats de Holme et Coey (1967) chez le porc indiquent que l'augmentation du GMQ parfois observée sous les températures froides est fortement reliée à la quantité d'aliments consommés puisqu'elle ne survient que chez les animaux alimentés à volonté. D'ailleurs, un GMQ significativement supérieur a été observé chez des agneaux tondus élevés à 0 °C comparativement à 23 °C lorsqu'ils étaient alimentés *ad libitum*, tandis que la différence n'était pas significative lorsqu'ils recevaient la quantité d'aliments consommés par les animaux élevés à 23 °C (Moibi *et al.*, 2000). Or, dans la présente étude, il n'y a eu de différence ni au niveau de la consommation alimentaire ni au niveau du gain. Toutefois, les conditions expérimentales étaient bien différentes (températures, tonte, type de traitements thermiques, âge des agneaux, taille de l'échantillon).

L'étude de Vachon *et al.* (2007) a démontré que l'élevage d'agneaux non tondus dans un environnement froid n'avait pas d'effet négatif sur les performances de croissance. Au contraire, sous cet environnement, les agneaux avaient tendance à avoir un meilleur GMQ et à atteindre le poids de marché plus rapidement. De plus, l'augmentation du GMQ était numériquement plus importante durant l'essai où la température moyenne était la plus basse (Vachon *et al.*, 2007). Cette dernière observation pourrait en partie être due à une différence de consommation puisqu'il y avait une interaction entre l'année et l'environnement pour l'ingestion de concentrés; la consommation des agneaux élevés dans l'environnement froid n'était supérieure qu'au cours de l'essai dans les conditions les plus froides. Or, dans l'étude de Vachon *et al.* (2007) les températures moyennes de l'environnement froid au cours des deux années d'expérimentations étaient inférieures à celle observée dans la présente étude, ce qui pourrait expliquer la présence de tendances statistiques de leur côté et l'absence d'effet dans notre cas. Les résultats de la présente expérience soutiennent l'idée que les températures auxquelles ont été soumis les agneaux dans l'environnement froid seraient très près de leur zone de neutralité thermique.

L'absence de différence au niveau de la consommation de moulée dans cette étude va à l'encontre des résultats publiés par différents auteurs concernant la relation entre l'ingestion alimentaire et la température d'élevage chez l'ovin (Webster *et al.*, 1969; Slee, 1971; Brink

et Ames, 1975; Schanbacher *et al.*, 1982; Ekpe et Christopherson, 2000; Moibi *et al.*, 2000) et, de manière générale, chez différentes espèces (Webster, 1970; NRC, 1981; Herpin et Lefaucheur, 1992; Berthiaume et Roy, 1994). D'ailleurs, le NRC (1981) rapporte la relation suivante entre la température ambiante et l'ingestion de matière sèche pour des agneaux tondus en se basant sur les résultats de Brink et Ames (1975) :

Matière sèche ingérée (g/kgPdsvif^{0,75}) = 111.3 - 0.52T (°C).

D'un autre côté, il est rapporté que l'ingestion n'est pas influencée lorsque les fluctuations de température journalière sont près de la zone de neutralité thermique (NRC, 1987). Les résultats de la présente étude semblent donc indiquer qu'aux températures d'élevage testées, les agneaux en croissance non tondus se retrouvent dans leur zone de confort puisqu'ils n'ont ni augmenté leur consommation, ni diminué leur gain. Les résultats obtenus par Vachon et al. (2007) appuient aussi cette idée. D'ailleurs, le mouton serait l'espèce animale la plus tolérante au froid parmi les principales espèces employées en production animale, et ce, grâce à la présence de leur toison (NRC, 1981). La laine fournirait donc une isolation suffisante, ce qui expliquerait, en partie du moins, l'absence de différence au niveau du GMQ et de la consommation entre les agneaux élevés dans l'environnement froid ou tempéré. De plus, il a été démontré chez l'ovin que, contrairement au froid constant, l'exposition intermittente au froid n'engendre que de faibles réponses métaboliques et favorise même une baisse facultative et temporaire de la température corporelle (Slee, 1970, 1971, 1972). Ce type d'adaptation au stress, nommée « habituation » par Slee (1971; 1972) en référence aux phénomènes décrits par Glaser (1966), permettrait aux agneaux de tolérer une température temporairement sous leur zone de confort sans toutefois augmenter leur métabolisme ni leur besoin énergétique.

Les épaisseurs du *longissimus dorsi* et de la couverture de gras mesurées par ultrason sur les agneaux vivants avant leur abattage révèlent des différences significatives selon l'environnement dans lequel ils ont été élevés (Tableau 3.1). En effet, les agneaux gardés dans l'environnement froid avaient une épaisseur de muscle plus importante que ceux élevés dans l'environnement tempéré. Ce résultat est en accord avec la vitesse du dépôt musculaire (exprimée en mm/jour) qui était aussi supérieure dans l'environnement froid. Ces résultats sont particulièrement intéressants puisque sous les deux environnements, les

agneaux ont reçu le même apport énergétique et azoté, mais ceux sous l'environnement froid ont déposé plus de muscle; environnement qui aurait pu, *a priori*, engendrer des besoins d'entretien supérieurs, ce qui ne favoriserait évidemment pas une augmentation du dépôt musculaire. À notre connaissance, aucune étude n'a rapporté de résultat similaire à celui-ci chez l'agneau. Certains auteurs ont rapporté un meilleur recyclage de l'urée, un plus grand apport d'azote non ammoniacal (NAN) au duodénum et une meilleure digestion de cet NAN à ce niveau, pour des ovins alimentés à base de fourrages et élevés à 0-5 °C comparativement à ceux gardés à 20-25 °C, ce qui favoriserait le bilan azoté (Christopherson et Kennedy, 1983; Kennedy *et al.*, 1986). Une telle réponse pourrait hypothétiquement influencer le dépôt musculaire. Toutefois, aucune différence en ce sens n'a été observée lorsque l'alimentation était à base d'orge et de canola, (Kennedy *et al.*, 1982) un régime alimentaire se rapprochant beaucoup plus de l'alimentation utilisée dans la présente étude. De plus, une diminution de la rétention azotée chez des agneaux élevés à 0 °C vs 21 °C a aussi été rapportée (McBride et Christopherson, 1984).

Par ailleurs, il a été suggéré que l'oxydation accrue des substrats non protéiques chez des ovins exposés au froid (0 °C vs 20 °C) permettrait le maintien du bilan protéique, et ce, malgré une augmentation de la production de chaleur (Sano et al., 1995). Des changements endocriniens seraient impliqués dans cette réponse métabolique (Sano et al., 1995). D'ailleurs, plusieurs recherches ont rapporté des modifications de la concentration de différentes hormones lors d'une exposition au froid (hormones thyroïdiennes T3 et T4; insuline et glucagon; épinéphrine et norépinéphrine et glucocorticoïdes - pour revue consulter Sasaki et Weekes, 1986). Plusieurs de ces hormones agissent d'une manière ou d'une autre au niveau de la synthèse des tissus et de la croissance des animaux (Lawrence et Fowler, 2002). Les hormones thyroïdiennes favoriseraient l'augmentation de la synthèse protéique au niveau des muscles squelettiques, bien qu'à un niveau trop élevé, c'est plutôt le catabolisme protéique qui serait activé (Cassar-Malek et al., 1998). Or, l'exposition au froid peut causer une élévation des hormones thyroïdiennes chez l'ovin (Sasaki et Weekes, 1986; Ekpe et Christopherson, 2000). De plus, bien que les réponses divergent entre les études, l'exposition au froid semblerait aussi agir sur la concentration plasmatique d'insuline chez l'ovin (Sasaki et Weekes, 1986; Sano et al., 1995; Ekpe et Christopherson, 2000). De plus, une réponse accrue des tissus à l'insuline a été rapportée chez l'ovin suite à une exposition au froid (Weekes *et al.*, 1983). Cette hormone est connue pour réduire le catabolisme protéique et favoriser la synthèse au niveau musculaire (Brockman, 1986; Cassar-Malek *et al.*, 1998). Il est donc possible que l'environnement d'élevage ait influencé le dépôt protéique, mais les connaissances actuelles et les données recueillies au cours de cette expérience ne permettent pas d'expliquer de quelle manière. Toutefois, les profils métaboliques présentés en annexe (Tableau B.1) semblent indiquer que l'urée plasmatique est inférieure chez les agneaux élevés dans l'environnement froid, ce qui appuie l'idée d'une meilleure utilisation de l'azote. Il serait d'ailleurs intéressant de refaire ces analyses pour chacun des agneaux et non par « pool », et de comparer statistiquement les traitements afin de savoir si les différences sont significatives.

De son côté, le dépôt de gras avait tendance à être inférieur pour les animaux en environnement froid (P = 0,068). Toutefois, il n'y avait pas de différence significative pour l'épaisseur de gras au niveau lombaire, un résultat en accord avec l'absence de différence significative entre les deux environnements d'élevage pour les mesures d'épaisseur des tissus prises sur les carcasses à l'aide de la réglette (mesure GR) (Tableau 3.2). Contrairement à ce constat, une épaisseur de gras dorsal plus importante a été observée chez des agneaux mâles castrés tondus élevés à 0 °C comparativement à ceux élevés à 20 °C (Li *et al.*, 2000). L'auteur attribuait cette réponse à une augmentation de l'isolation interne qui permettrait de diminuer les pertes de chaleur. Or, dans notre cas, les agneaux étaient pourvus de leur toison qui est un excellent isolant, ce qui pourrait expliquer l'absence d'effet. Toutefois, la présence de différences significatives au niveau musculaire indique que les températures ou les fluctuations de températures de l'environnement froid ont tout de même pu influencer la croissance des agneaux non tondus.

Le poids à jeun était supérieur pour les agneaux élevés dans l'environnement froid (Tableau 3.1), et ce, malgré un poids vif à la sortie similaire des agneaux et un pourcentage de perte de poids (vif et à jeun) qui ne différait pas statistiquement. Numériquement, le poids vif à la sortie semble tout de même supérieur et le pourcentage de perte inférieur pour les agneaux élevés dans l'environnement froid, ce qui pourrait expliquer la différence de poids à jeun.

Tableau 3.2. Paramètres de qualité de carcasse en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâles		Femelles		0514	Effets (P)		
Variables	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid	SEM	S	E	SxE
Poids carcasse chaude (kg)	24,1	25,1	22,6	22,8	0,2	< 0,001	0,025	0,093
Rendement carcasse (poids vif) (%)	47,7	49,2	49,9	50,1	0,4	0,002	0,044	0,124
Rendement carcasse (poids à jeun) (%)	49,9	51,3	52,2	52,2	0,5	0,003	0,143	0,148
Poids carcasse froide (kg)	22,9	23,9	21,5	21,7	0,2	< 0,001	0,027	0,128
GR ¹ (mm)	16,3	14,9	20,3	19,8	1,0	< 0,001	0,336	0,634
Conformation moyenne	4,5	4,6	4,6	4,6	0,1	0,955	0,442	0,593
Rendement en viande maigre (%)	55,1	55,5	53,7	53,9	0,4	0,001	0,400	0,698
Rendement en viande vendable (%)	76,2	77,1	74,3	74,6	0,5	< 0,001	0,275	0,566

¹ Épaisseur totale de tissus mesurée sur la 12^e côtes à 11 cm de la colonne vertébrale à l'aide d'une réglette lors de la classification.

Lorsque le poids vif à la sortie est utilisé comme covariable, la différence de poids à jeun devient non significative (P = 0.099), ce qui indique que cette différence pourrait grandement dépendre du poids de sortie (données non présentées). D'ailleurs, la corrélation entre les deux variables est très importante et significative pour les mâles et les femelles (r = 0.84 P < 0.0001 et r = 0.82 P < 0.0001). Il est important de rappeler qu'il n'y avait qu'une pesée et qu'un abattage par semaine et que la décision d'envoyer ou non un agneau à l'abattoir était prise de manière à ce qu'il soit dans la strate de poids de 46-50 kg pour les mâles et 41-45 kg pour les femelles. Or, basés sur le même critère de décision, Vachon et al. (2007) ont observé une tendance (P = 0.07) pour l'interaction sexe X environnement sur le poids final; les mâles élevés dans l'environnement froid ayant tendance à être plus lourds et les femelles plus légères que leurs congénères élevés dans l'environnement tempéré. Ils ont attribué ce résultat à un artefact de décision dû aux strates de poids, plutôt qu'à un effet véritable de l'environnement, ce qui pourrait être aussi le cas dans notre étude. D'un autre côté, Vachon et al. (2007) ont aussi observé que les animaux élevés sous l'environnement froid avaient tendance à avoir un GMQ supérieur, ce qui pourrait expliquer en partie les variations de poids des animaux. Toutefois, dans la présente étude, bien que les GMQ soient numériquement supérieurs sous l'environnement froid, aucune différence ou tendance statistique n'a été observée en ce sens.

Ainsi, globalement, il ressort de toutes ces observations que l'environnement froid n'a pas eu d'effet négatif au niveau de la croissance. Au contraire, les seuls effets observés étaient positifs, et ce, malgré une consommation énergétique similaire. C'est d'ailleurs la conclusion qui est ressortie de l'étude de Vachon *et al.* (2007) réalisée dans des conditions expérimentales très semblables. Est-il possible que certains besoins aient diminué sous l'environnement froid, ce qui soutiendrait les différences observées? La charge microbienne était-elle moindre? Y avait-il moins d'infections cliniques ou sous-cliniques ce qui pourrait avoir diminué les besoins énergétiques à ce niveau? Aucune donnée de la présente étude ne permet de valider cette hypothèse. Seule constatation, les agneaux n'ont pas été davantages malades sous l'un ou l'autre des environnements, ce qui n'exclu pas des différences sous-cliniques. En effet, une étude rapporte une prévalence plus importante de lésions pulmonaires chez des agneaux nés au printemps comparativement à ceux nés en

automne (Daniel *et al.*, 2006). De plus, ils ont aussi rapporté que les lésions pulmonaires pouvaient réduire le GMQ et l'épaisseur de l'œil de longe. Puisque la génétique et les bâtiments d'élevage étaient les mêmes, ils ont suggéré que des facteurs environnementaux pourraient être à l'origine de la différence entre les saisons (Daniel *et al.*, 2006). Les températures moyennes étaient respectivement de 10,2 °C et -1,1 °C au printemps et à l'automne, températures très similaires à celles retrouvées dans la présente étude et celle de Vachon *et al.* (2007). Il semble donc pertinent de considérer que l'environnement d'élevage ait pu avoir un impact sur la santé des agneaux et indirectement agir sur les paramètres de croissance. Une telle hypothèse mériterait d'être vérifiée puisqu'elle pourrait expliquer les effets « bénéfiques » de l'élevage d'agneaux lourds non tondus dans un environnement froid tout en soutenant l'idée que sous les températures observées, les agneaux étaient près de leur zone de neutralité thermique.

Qualité de carcasse. La différence de poids à l'abattage entre les mâles et les femelles s'est reflétée au niveau du poids chaud et froid de la carcasse. Les femelles étaient aussi significativement plus grasses que les mâles, en plus d'avoir des rendements de carcasses supérieurs et des rendements en viande maigre et vendable inférieurs (Tableau 3.2). Il est d'ailleurs bien reconnu que les mâles entiers sont plus maigres que les femelles et qu'ils ont un rendement carcasse inférieur (Lawrence et Fowler, 2002).

Comme en témoigne le tableau 3.2, le poids de la carcasse chaude et celui de la carcasse froide étaient supérieurs pour les agneaux élevés dans l'environnement froid, effet qui peut en partie s'expliquer par la différence observée au niveau du poids d'abattage à jeun. D'ailleurs, le poids de la carcasse chaude et celui de la carcasse froide sont corrélés avec le poids vif à la sortie (mâles : $r = 0.46 \ P < 0.01 \ et \ r = 0.50 \ P < 0.01; femelles : <math>r = 0.77 \ P < 0.0001 \ et \ r = 0.77 \ P < 0.0001 \ et \ r = 0.86 \ P < 0.0001 \ et \ r = 0.85 \ P < 0.0001). Malgré cette relation, il est impossible d'affirmer que le poids vif des agneaux explique entièrement la différence de poids des carcasses en fonction de l'environnement puisque ces différences de poids carcasses étaient significatives même lorsque le poids de départ était utilisé comme covariable (données non présentées).$

La différence entre le poids des carcasses chaudes se reflète dans les rendements carcasses (P = 0.143), mais n'est significative que pour celui calculé en fonction du poids vif à la sortie (P = 0.044). Cette différence de rendement de carcasse est particulièrement difficile à expliquer, tout comme celles des poids carcasses et du poids à jeun, lorsqu'on la compare avec les résultats d'autres expériences. En effet, aucune différence significative n'a été observée entre le rendement carcasse d'agneaux mâles castrés et tondus, nourris ad libitum et élevés à 0 ou 20 °C (Li et al., 2000). Chez le bovin, une étude a plutôt rapporté un rendement de carcasse supérieur chez les individus gardés à l'intérieur (16,9 °C) comparativement à ceux gardés à l'extérieur (-7,6 °C), de même qu'un GMQ, un poids vif et un poids carcasse supérieurs sous l'environnement le plus chaud (Delfino et Mathison, 1991). Dans ce cas, les animaux recevaient la même quantité d'aliments peu importe l'environnement d'élevage. Chez l'espèce porcine, un rendement carcasse inférieur a été rapporté pour des porcs nourris ad libitum et élevés à 12 °C comparativement à ceux élevés à 28 °C : différence attribuée en grande partie par les auteurs au poids supérieur des organes (cœur, foie et tractus digestif) des animaux élevés dans l'environnement le plus froid (Lefaucheur et al., 1991). D'ailleurs, la revue de littérature de Héroux (1961) rapporte une augmentation du poids de différents organes (cœur, foie, rein et intestin) chez les rats acclimatés à un froid constant, augmentation qui n'est significative que pour le foie et les reins chez les rats acclimatés au froid hivernal. Chez l'ovin (tondu), il a été démontré que le froid augmente le poids du tractus digestif, un effet qui serait en partie dû à l'augmentation de la prise alimentaire (Graham et al., 1982). D'ailleurs, aucune différence significative au niveau du poids des organes n'a été observée chez des agneaux élevés à 0 ou 21 °C lorsque la consommation alimentaire était similaire (McBride et Christopherson, 1984). Or, dans la présente étude, le rendement carcasse est supérieur chez les agneaux élevés au froid, ce qui infirme l'hypothèse du tractus digestif plus lourd. De plus, il n'y a pas de différence significative au niveau de la quantité d'aliments ingérée. Se pourrait-il que les animaux gardés dans l'environnement froid aient déposé moins de gras interne (ex : périrénal, mésentérique...), ce qui expliquerait le rendement carcasse et le poids carcasse supérieurs de ces derniers? Cette hypothèse ne peut être confirmée ou infirmée puisque les poids de ces tissus n'ont pas été mesurés dans la présente étude.

3.3.2. Caractéristiques biochimiques et chimiques du longissimus dorsi

Indépendamment des traitements, les proportions des différentes fibres observées au niveau du *longissimus dorsi* d'agneau indiquent qu'il s'agit d'un muscle intermédiaire, c'est-à-dire un muscle rouge à contraction rapide présentant un métabolisme à la fois glycolytique et oxydatif. En effet, la proportion des fibres intermédiaires (FOG) dépasse les 50 % et celle des fibres à contraction rapide combinées (FOG et FG) dépasse quant à elle les 90 % (Tableau 3.3). Ces résultats sont en accord avec ceux retrouvés dans la littérature concernant le *longissimus dorsi* chez l'agneau (Suzuki, 1971; Ouali *et al.*, 1988; Dragomir, 2005; Sazili *et al.*, 2005). Bien qu'il y ait une certaine variation dans la distribution des fibres entre les études, l'ordre de grandeur est sensiblement la même et témoigne d'un muscle intermédiaire.

Les résultats rapportés chez l'agneau par Briand *et al.* (1981a; 1981b) caractérisent aussi le *longissimus dorsi* comme un muscle intermédiaire ayant une activité enzymatique très élevée tant au niveau du métabolisme oxydatif que glycolytique. Les niveaux d'activité de la CS et la LDH retrouvés dans la présente étude concordent d'ailleurs avec ceux observés récemment dans une étude portant sur des individus de génétique, d'âge et de poids très similaires (Dragomir, 2005). En effet, l'étude en question a rapporté des valeurs de CS et de LDH de 17,16 UI/g de viande et de 1424,7 UI/g de viande pour des agneaux mâles de race Dorset abattus entre 46-49 kg et de 17,34 UI/g de viande et 1453,4 UI/g de viande pour des femelles abattues entre 41-44 kg, ce qui est en accord avec les données de la présente étude.

La proportion des différentes fibres a été influencée par l'environnement d'élevage puisqu'un plus grand nombre de fibres intermédiaires (FOG) a été observé chez les agneaux élevés dans l'environnement froid (Tableau 3.3). La littérature concernant l'impact de l'acclimatation au froid au niveau musculaire rapporte généralement une augmentation de la proportion de fibres SO et/ou des fibres FOG chez différents muscles du rat ou du cochon d'Inde (Behrens et Himms-Hagen, 1977; Ratzin Jackson *et al.*, 1987), du canard (Duchamp *et al.*, 1992) ou du porc (Lefaucheur *et al.*, 1991; Herpin et Lefaucheur, 1992; Lebret *et al.*, 2002). Ces modifications au niveau de la proportion des fibres

Tableau 3.3. Caractéristiques chimique et biochimique du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâles		Femelles		0514	Effets (P)		
	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid	SEM	S	E	SxE
Fibres SO ¹ (%)	8,8	7,7	8,1	7,0	0,7	0,284	0,139	0,991
Fibres FOG ¹ (%)	52,1	53,6	52,0	55,0	1,0	0,522	0,047	0,475
Fibres FG ¹ (%)	39,1	38,7	39,9	38,1	1,0	0,904	0,276	0,467
Eau (%)	73,7	73,6	72,6	72,9	0,2	0,003	0,554	0,312
Gras (%)	3,2	3,3	3,8	3,7	0,3	0,098	0,999	0,620
Protéines (%)	21,7	21,5	21,6	21,5	0,2	0,866	0,403	0,780
CS ² (UI/g viande)	16,4	17,2	15,5	18,1	1,0	0,957	0,107	0,377
LDH ² (UI/g viande)	1466,4	1491,5	1596,5	1721,5	124,3	0,169	0,553	0,692
HAD ² (UI/g viande)	1,01	1,16	0,96	1,18	0,16	0,908	0,221	0,812
u-calpaïne (UI/g viande)	2,43	1,60	2,31	2,14	0,54	0,702	0,381	0,562
m-calpaïne (UI/g viande)	6,59	5,83	4,41	4,28	0,39	< 0,001	0,261	0,426
Calpastatine (UI/g viande)	20,7	19,0	12,9	14,1	1,1	< 0,001	0,824	0,241
Longueur des sarcomères (mm)	1,676	1,750	1,682	1,690	0,024	0,263	0,099	0,181
Myoglobine (mg/g)	3,19	3,13	3,22	3,22	0,10	0,550	0,744	0,774

¹ Fibres SO : Fibres lentes oxidatives; Fibres FOG : Fibres rapides oxydo-glycolytiques; Fibres FG : Fibres rapides glycolytiques; ² CS : Citrate synthase; LDH : Lactate déshydrogénase et HAD : β-Hydroxyl-CoA déshydrogénase.

musculaires témoigneraient d'une adaptation métabolique du muscle en réponse au stress thermique. Par contre, dans le cas présent, le stress n'aurait pas été suffisamment important pour engendrer une réponse au niveau enzymatique. En effet, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour la CS, la LDH et la HAD. Or, des différences au niveau de ces enzymes ont été observées chez le porc adapté au froid (Dauncey et Ingram, 1988; Dauncey et Ingram, 1990; Lefaucheur et al., 1991), et ce, en faveur du métabolisme oxydatif. De manière générale, plusieurs évidences d'une augmentation de la capacité oxydative des muscles ont été rapportées pour des animaux acclimatés au froid (Depocas, 1966; Behrens et Himms-Hagen, 1977; Sillau et al., 1980; Buser et al., 1982; Kinnula et al., 1983; Barre et al., 1987; Ratzin Jackson et al., 1987; Duchamp et al., 1992); des changements qui favoriseraient la production de chaleur. Toutefois, à notre connaissance, aucune étude n'a confirmé ou infirmé ce type de changements chez l'agneau. Dans le cas présent, l'augmentation de la proportion de fibres FOG appuie l'idée d'une certaine adaptation musculaire lorsque la croissance s'effectue dans un environnement plus froid. Par contre, la réponse ne semble pas suffisamment importante pour se répercuter au niveau de l'activité métabolique, ce qui appuie l'hypothèse qu'au cours de cette expérience, les agneaux se sont retrouvés dans des conditions près de la borne inférieure de leur zone de confort. Ces observations pourraient être en partie dues à la capacité isolante de la laine et à la nature du traitement. En effet, il a été démontré que l'exposition à un froid intermittent n'engendre qu'une faible réponse métabolique chez l'ovin en comparaison avec celle causée par un froid constant (Webster et al., 1969; Slee, 1970, 1972).

En ce qui a trait à la composition chimique du *longissimus dorsi*, un pourcentage d'eau inférieur et une tendance vers une plus forte proportion en gras ont été observés chez les femelles (Tableau 3.3). Des résultats similaires ont été obtenus lors d'une étude effectuée précédemment avec des agneaux de la même race et de génétique très semblable (Dragomir, 2005). D'ailleurs, il est généralement reconnu que la viande de femelles a une composition en gras plus importante que les mâles (Lawrie, 1998).

Aucune différence significative n'a été décelée entre les environnements d'élevage pour la teneur de la longe en eau, gras et protéines ainsi qu'en myoglobine. Ce constat concorde en partie avec les résultats obtenus par Lefaucheur *et al.* (1991) qui ne montraient pas de différence dans la composition chimique du *longissimus dorsi* de porcs élevés à 12 et 28 °C, tandis qu'au niveau du *semispinalis*, le pourcentage de lipides augmentait et celui de l'eau diminuait lorsque les porcs étaient élevés à 12 °C. D'autres études n'ont rapporté aucun changement dans la composition du *longissimus dorsi*, du *rhomboïdeus* et du *semimembranosus* selon la température d'élevage chez le porc (Herpin et Lefaucheur, 1992; Lebret *et al.*, 2002). Dans le cas de l'agneau, l'absence de différence significative au niveau de la composition chimique du *longissimus dorsi* semble logique puisqu'aucune différence du taux de synthèse des acides gras n'a été observée pour ce muscle chez des agneaux élevés à 0 °C ou à 23 °C (Moibi *et al.*, 2000).

L'environnement d'élevage n'a pas influencé la composition en acides gras du *longissimus dorsi* comme en témoignent les résultats présentés au tableau 3.4. Pour ce qui est du sexe, il semblait y avoir certaines tendances au niveau de la proportion des différents acides gras. En effet, la viande des femelles semblait avoir une plus grande proportion d'acides gras C18:1, ce qui a déjà été rapporté chez des agneaux légers de race Manchego (Diaz *et al.*, 2003). Après avoir séparé la proportion de C18:1 en ses principaux isomères, la viande des femelles contenait une proportion significativement plus grande d'acide oléique. Une telle différence a d'ailleurs déjà été rapportée chez l'ovin (Madruga *et al.*, 2006). Finalement, la proportion de C18:1 trans était statistiquement supérieure dans la viande provenant des mâles.

3.3.3. Paramètres de qualité de la viande

Pour ce qui est des différents paramètres en lien avec la qualité de la viande, plusieurs différences significatives ressortaient en fonction du sexe comme en témoignent les données du tableau 3.5. Les longes provenant des mâles avaient un pH ultime légèrement supérieur à celui des femelles. Ce constat est contraire à celui d'un bon nombre d'études qui n'ont observé aucune différence de pH en fonction du sexe des agneaux (Corbett *et al.*, 1973; Dransfield *et al.*, 1990; Vergara et Gallego, 1999; Diaz *et al.*, 2003). Par contre, il

Tableau 3.4. Profil en acides gras du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâles		Feme	elles		Effets (P)		
	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid	SEM	S	E	SxE
C14:0	2,56	2,33	2,41	2,45	0,20	0,941	0,628	0,470
C16:0	23,50	22,87	23,57	23,85	0,64	0,401	0,776	0,460
C16:1c	1,84	1,90	2,06	1,93	0,12	0,286	0,731	0,399
C18:0	12,12	11,43	11,30	11,87	0,50	0,689	0,892	0,207
C18:1	44,80	44,33	46,25	46,47	1,00	0,077	0,899	0,717
- C18:1 cis 9	38,53	36,60	40,51	41,36	1,17	0,012	0,645	0,250
- C18:1 cis 11	1,93	2,08	1,93	1,79	0,15	0,310	0,939	0,320
- C18:1 trans	4,34	5,65	3,81	3,34	0,47	0,008	0,360	0,068
C18:2w6	11,86	13,71	11,30	10,60	1,17	0,122	0,611	0,269
C18:3w3	0,58	0,63	0,55	0,51	0,04	0,097	0,938	0,326
C20:4	2,39	2,38	2,27	2,00	0,30	0,392	0,626	0,651
CLA	0,30	0,34	0,29	0,32	0,04	0,717	0,366	0,943

est en accord avec celui de Johnson *et al.* (2005) qui ont eux aussi rapporté un pH ultime supérieur chez la viande d'agneaux mâles. De plus, il a été rapporté que la viande d'agneaux mâles a un pH supérieur à celle des femelles lorsque les agneaux sont gardés ensemble avant l'abattage (Bickerstaffe *et al.*, 2000), situation rencontrée au cours de la présente étude lors de la mise à jeun à la ferme, du transport vers l'abattoir et de l'attente à l'abattoir. Selon ces auteurs, cette différence serait due à la monte exercée par les mâles durant cette période qui diminuerait leurs réserves énergétiques et ultérieurement la chute de leur pH.

Le sexe de l'animal a aussi eu un impact sur la couleur de la viande puisque les coordonnées a* (axe rouge (+) – vert (-)) et b* (axe jaune (+) - bleu (-)) avaient des valeurs supérieures chez les femelles de la présente étude. Une telle différence a d'ailleurs été précédemment rapportée (Johnson *et al.*, 2005). Par contre, d'autres études n'ont pas observé de différence significative au niveau de la couleur de la viande selon le sexe des agneaux (Dransfield *et al.*, 1990; Vergara et Gallego, 1999; Diaz *et al.*, 2003). Ce manque de concordance entre les études pourrait être dû à des différences de poids d'abattages et de races. En effet, des interactions entre le sexe et le poids et entre le sexe, le poids et la race ont déjà été rapportées pour les coordonnées a* et b* (Dragomir, 2005). De plus, il importe de mentionner qu'il a été démontré que le pH influence les coordonnées L*, a* et b* (Guignot *et al.*, 1994; Purchas *et al.*, 1999; Abril *et al.*, 2001). Toutefois, il semble peu probable que le pH soit la cause réelle des différences dans notre cas étant donné sa faible variation entre les sexes.

La perte en eau a également été différente selon le sexe de l'animal au cours de la présente étude; les femelles ayant une moins bonne capacité de rétention en eau. D'autres études ont aussi rapporté une telle différence (Vergara et Gallego, 1999; Diaz *et al.*, 2003) tandis que Dragomir (2005) n'a observé aucun impact du sexe de l'animal à ce niveau. La différence observée au niveau de la perte en eau dans notre étude semble logique si l'on considère la relation entre le pH et la capacité de rétention en eau, puisque cette dernière augmente en fonction d'une augmentation du pH (Bouton *et al.*, 1971, 1972b; Hamm, 1986). Toutefois, la différence de pH était relativement minime, ce qui laisse croire qu'elle aurait peu

d'impact sur cette différence. Pour ce qui est de la perte à la cuisson, aucune différence en fonction du sexe n'a été observée, un résultat en accord avec ceux de plusieurs études (Dransfield *et al.*, 1990; Dragomir, 2005; Johnson *et al.*, 2005).

Le sexe de l'animal a eu un impact sur la tendreté de la viande, puisque la force nécessaire au cisaillement était significativement supérieure pour la viande des mâles (Tableau 3.5). De plus, cette différence a semblé se refléter au niveau de la perception des dégustateurs puisqu'une tendance vers une fermeté plus importante de la viande des agneaux mâles a été observée. Un tel impact du sexe sur la tendreté de la viande a d'ailleurs été observé à plusieurs reprises (Dawson et al., 2002; Gonçalves et al., 2004; Dragomir, 2005; Johnson et al., 2005). Par contre, d'autres études n'ont pas constaté une telle différence (Corbett et al., 1973; Dransfield et al., 1990; Vergara et Gallego, 1999). Des différences au niveau de la race, de l'âge et du poids des animaux utilisés dans les différentes études pourraient expliquer le manque de concordance. La différence de tendreté observée dans la présente étude pourrait bien résulter d'une différence au niveau de l'activité des calpaïnes et de la calpastatine, principal système enzymatique impliqué dans l'attendrissement de la viande (Goll et al., 1983; Koohmaraie, 1996). En effet, l'activité de la calpastatine était supérieure chez la viande provenant des mâles (Tableau 3.3), ce qui pourrait avoir influencé la tendreté de la viande, puisqu'il a été rapporté que la force de cisaillement est positivement corrélée avec l'activité de la calpastatine (Koohmaraie, 1994; Lonergan et al., 2001). Le niveau d'activité de la µ-calpaïne ne différait pas selon le sexe de l'animal tandis que l'activité de la m-calpaïne était supérieure chez les mâles. Toutefois, la m-calpaïne serait moins impliquée dans l'attendrissement de la viande comparativement à la μ-calpaïne (Koohmaraie et al., 1987; Koohmaraie, 1996; Ilian et al., 2001; Veiseth et al., 2001). Ainsi, la différence de tendreté observée dans la présente étude pourrait résulter de l'activité plus importante de la calpastatine chez les mâles et de l'activité similaire de la μ-calpaïne. Finalement, il a déjà été rapporté que la viande des agneaux mâles contient plus de collagène intramusculaire (Pommier et al., 1989; Dransfield et al., 1990), ce qui pourrait aussi expliquer la diminution de la tendreté chez les mâles.

Tableau 3.5. Paramètres de qualité de la viande du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâ	les	Fem	elles	CEM		Effets (P)	
Variables	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid	SEM	S	E	SxE
рН	5,69	5,65	5,62	5,59	0,03	0,035	0,275	0,797
Couleur								
- L*	37,4	38,0	36,7	37,7	0,5	0,397	0,176	0,756
- a*	15,2	15,0	16,3	17,1	0,4	0,001	0,498	0,190
- b*	8,1	8,4	9,2	9,6	0,3	0,001	0,267	0,850
Perte en eau (%)	1,8	1,5	2,0	2,0	0,1	0,032	0,337	0,264
Perte à la cuisson (%)	20,8	21,0	20,1	20,7	0,6	0,454	0,525	0,687
Force de cisaillement (g)	2486,6	2790,9	1701,9	1812,0	147,0	< 0,001	0,167	0,504
Qualité sensorielle								
- Flaveur de la longe	3,93	3,80	3,64	3,43	0,18	0,084	0,373	0,820
- Fermeté de la longe	4,27	4,30	3,86	3,65	0,30	0,088	0,750	0,697
- Jutosité de la longe	3,29	3,77	3,61	3,83	0,17	0,257	0,043	0,420
- Flaveur du gigot	3,82	3,86	3,27	3,48	0,20	0,026	0,510	0,675

Dans un autre ordre d'idées, le sexe semble avoir eu un impact sur la flaveur de la viande comme en témoigne la tendance au niveau du longissimus dorsi et la différence significative au niveau du semimembranosus (Tableau 3.5). Ainsi, la flaveur de la viande d'agneau serait plus intense chez les mâles que les femelles. Ce résultat est d'ailleurs en accord avec ceux de Crouse et al. (1981) qui ont observé une flaveur plus intense chez les mâles entiers que chez les castrats (agneaux très lourds par contre : entre 52 et 76 kg). Par contre, suite à une revue de travaux effectués avant 1970, il a été rapporté que la différence de flaveur en fonction du sexe serait minime lorsque les agneaux pèsent moins de 50 kg (Field, 1971). Or, plusieurs différences dans le profil des flaveurs perçues ont été rapportées entre des mâles entiers, des castrats et des femelles lors d'une étude portant sur des agneaux commerciaux du Canada (Jeremiah, 1998), ce qui vient infirmer ce constat tandis que l'absence d'effet sexe sur la flaveur d'agneaux dont le poids carcasse variait entre 13 et 24 kg le confirme (Dransfield et al., 1990). L'impact du sexe sur la flaveur semble donc très variable (pour une revue sur le sujet, consulter Crouse, 1983; Jeremiah, 2000). Ce manque de concordance entre les études pourrait être causé par des interactions entre le sexe et le poids et/ou entre le sexe et l'âge (Crouse, 1983; Jeremiah, 2000). De plus, l'utilisation d'échelles d'appréciation plutôt que d'échelles d'intensité dans plusieurs études pourrait aussi expliquer cette discordance (Crouse, 1983). Finalement, une différence au niveau de la concentration de certains acides gras ramifiés à courtes chaînes impliqués dans la flaveur caractéristique de la viande ovine (Wong et al., 1975b; Wong et al., 1975a; Young et al., 1997) a été rapportée selon le sexe ainsi que l'âge des agneaux (Young et Braggins, 1999).

En ce qui a trait à l'impact de l'environnement sur la qualité de la viande, il n'y avait pas d'effet significatif à l'exception de la jutosité perçue par le panel de dégustation (Tableau 3.5). En effet, la viande des agneaux élevés dans l'environnement froid était plus juteuse que celle provenant des agneaux élevés sous l'environnement tempéré. Il est difficile d'expliquer cet effet, puisqu'il n'y avait pas d'impact de l'environnement d'élevage sur la composition en eau et en gras, sur le pH, sur la perte en eau ou sur la perte à la cuisson de la viande, des paramètres reliés à la jutosité de la viande. Seule une tendance au niveau de la longueur des sarcomères semble ressortir. Il est peu probable qu'elle soit à l'origine de la différence de jutosité puisqu'elle n'a pas causé de différence au niveau de la perte en eau,

ni au niveau de la tendreté. À notre connaissance, très peu de littérature a traité de l'impact de l'environnement d'élevage sur la qualité de la viande. Une étude sur la qualité de la viande de porcs élevés à 12 et 28 °C a tout de même rapporté des différences de pH pour le *longissimus dorsi* tandis qu'au niveau du *semispinalis*, la différence touchait plutôt la perte en eau (Lefaucheur *et al.*, 1991). Dans ce cas, la perte en eau était moindre chez la viande de porcs élevés à 12 °C, ce qui pourrait s'expliquer par une différence de composition puisque le pourcentage d'eau était inférieur et celui du gras supérieur. Certaines différences ont aussi été rapportées au niveau de l'homogénéité de la coloration de jambon sel-sec entre des porcs élevés à 17 et 24 °C (Lebret *et al.*, 1998; Lebret *et al.*, 2002). Par contre, à notre connaissance, c'est la première fois que la qualité organoleptique de la viande d'agneaux était comparée en fonction de la température d'élevage.

3.4. CONCLUSIONS ET IMPLICATIONS

A priori, il importe de mentionner qu'indépendamment des traitements, bien peu d'études ont porté sur la qualité de la viande de l'agneau du Québec. De plus, l'impact de l'environnement d'élevage sur la croissance des agneaux lourds durant la période hivernale au Québec n'a fait l'objet que d'une seule étude qui portait sur les performances de croissance et la qualité de la carcasse. Bien que ces résultats suggéraient que l'élevage en bergerie froide n'avait pas d'effet négatif sur les performances de croissance et la qualité de la carcasse, il demeurait important de valider l'impact d'une telle pratique sur la qualité de la viande avant d'en faire la promotion à plus grande échelle auprès des producteurs.

Les résultats obtenus au cours de la présente étude démontrent qu'il n'y a pas d'impact négatif relié à l'élevage d'agneaux lourds dans un environnement froid sur les paramètres de croissance ainsi que sur la qualité de la carcasse et de la viande. Au contraire, les quelques effets significatifs observés étaient plutôt positifs. L'élevage en environnement froid n'aurait pas causé d'augmentation des besoins énergétiques assez importante pour engendrer une augmentation de la consommation ou une diminution de la croissance. Il aurait par contre occasionné un léger changement dans la proportion des fibres musculaires de la viande. Ces résultats portent à croire que sous les conditions retrouvées durant cette

étude, les animaux étaient exposés à des températures très près de la borne inférieure de leur zone de confort; températures qui ont possiblement varié de part et d'autre. Les agneaux élevés dans l'environnement froid sembleraient s'être adaptés aux conditions auxquelles ils étaient exposés sans toutefois augmenter de façon drastique leurs besoins énergétiques. Par contre, une telle conclusion n'explique pas comment cet environnement a pu favoriser certains paramètres de croissance, comme le dépôt musculaire. D'autres facteurs que les besoins énergétiques nécessaires au maintien de l'homéothermie pourraient donc être impliqués. Une des hypothèses avancées : la charge microbienne et les infections sous-cliniques pourraient être réduites sous un tel environnement, ce qui diminuerait les besoins correspondants.

Il faut rester prudent face à de tels résultats. Il est vrai que l'environnement froid n'a eu aucun impact négatif sur les différents paramètres au cours de cette expérience. Toutefois, il faut être conscient que de tels résultats s'appliquent à des agneaux non tondus, recevant une alimentation de qualité servie à volonté, élevés à l'abri du vent et des intempéries et soumis aux températures rencontrées durant cette étude. Dans de telles conditions, l'élevage sous un environnement froid pourrait représenter un avantage économique pour les producteurs. Une telle pratique permettrait de réduire les coûts de production reliés à la construction de bergeries chaudes tout en maintenant les performances de croissance et la qualité de la carcasse et de la viande.

3.5. BIBLIOGRAPHIE

- Agriculture Canada. 1992. Règlement sur la classification des carcasses de bétail et de volaille (DORS/92-541). Gazette du Canada, Partie II 126: 3848.
- Abril, M., M.M. Campo, A. Önenç, C. Sanudo, P. Alberti et A.I. Negueruela. 2001. Beef colour evolution as a function of ultimate pH. Meat Sci. 58: 69-78.
- Ames, D.R. et D.R. Brink. 1977. Effect of temperature on lamb performance and protein efficiency ratio. J. Anim. Sci. 44: 136-140.
- Barre, H., L. Bailly et J.L. Rouanet. 1987. Increased oxidative capacity in skeletal muscles from cold-acclimated ducklings: a comparison with rats. Comp. Biochem. Physiol. B. 88: 519-522.

- Behrens, W.A. et J. Himms-Hagen. 1977. Alteration in skeletal muscle mitochondria of cold-acclimated rats: association with enhanced metabolic response to noradrenaline. J. Bioenerg. Biomembr. 9: 41-63.
- Berthiaume, R. et G.L. Roy. 1994. Feed consumption of fall calving beef cows kept either outside or inside. Ontario Beef Research Update, University of Guelph: 58-59.
- Bickerstaffe, R., B.R. Palmer, G.H. Geesink, A.E.D. Bekhit et C. Billington. 2000. The effect of gender on meat quality of lamb longissimus dorsi. Dans: Proceedings of the International Congress of Meat Science and Technology. p. 104-105.
- Boe, K., J.J. Nedkvitne et D. Austbo. 1991. The effect of different housing systems and feeding regimes on the performance and rectal temperature of sheep. Anim. Prod. 53: 331-337.
- Bouton, P.E., P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1971. Effect of ultimate pH upon the water-holding capacity and tenderness of mutton. J. Food Sci. 36: 435-439.
- Bouton, P.E., P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1972. The effect of ultimate pH on ovine muscle: water-holding capacity. J. Food Sci. 37.
- Briand, M., A. Talmant, Y. Briand, G. Monin et R. Durand. 1981a. Metabolic types of muscle in the sheep: I. Myosin ATPase, glycolytic, and mitochondrial enzyme activities. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 46: 347-358.
- Briand, M., A. Talmant, Y. Briand, G. Monin et R. Durand. 1981b. Metabolic types of muscle in the sheep: II. Lactate dehydrogenase activity and LDH isoenzyme distribution. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 46: 359-365.
- Brink, D.R. et D.R. Ames. 1975. Effect of ambient temperature on lamb performance. J. Anim. Sci. 41: 264 (Abstr.).
- Brockman, R.P. 1986. Pancreatic and adrenal hormonal regulation of metabolism. Dans: L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (éds.). Control of digestion and metabolism in ruminants. p. 406-419, Englewood Cliffs, NJ.
- Buser, K.S., B. Kopp, P. Gehr, E.R. Weibel et H. Hoppeler. 1982. Effect of cold environment on skeletal muscle mitochondria in growing rats. Cell Tissue Res. 225: 427-436.
- Cassar-Malek, I., A. Listrat et B. Picard. 1998. Contrôle hormonal des caractéristiques des fibres musculaires après la naissance. INRA Prod. Anim. 11: 365-377.
- Christopherson, R.J. et P.M. Kennedy. 1983. Effect of the thermal environment on digestion in ruminants. Can. J. Anim. Sci. 63: 477-496.
- Corbett, J.L., E.P. Furnival, W.H. Southcott, R.J. Park et W.R. Shorthose. 1973. Induced cryptorchidism in lambs. Effect on growth rate, carcass and meat characteristics. Anim. Prod. 16: 157-163.
- CRAC. 1995. Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des moutons. Conseil de recherches agro-alimentaires du Canada, Ottawa, 41 pp.

- Crouse, J.D., J.R. Busboom, R.A. Field et C.L. Ferrell. 1981. The effects of breed, diet, sex, location and slaughter weight on lamb growth, carcass composition and meat flavor. J. Anim. Sci. 53: 376-386.
- Crouse, J.D. 1983. The effects of breed, sex, slaughter weight, and age on lamb flavor. Food Technol. 37: 264-268.
- Daniel, J.A., J.E. Held, D.G. Brake, D.M. Wulf et W.B. Epperson. 2006. Evaluation of the prevalence and onset of lung lesions and their impact on growth of lambs. Am. J. Vet. Res. 67: 890-894.
- Dauncey, M.J. et D.L. Ingram. 1988. Influence of environmental temperature and energy intake on skeletal muscle respiratory enzymes and morphology. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 58: 239-244.
- Dauncey, M.J. et D.L. Ingram. 1990. Respiratory enzymes in muscle: interaction between environmental temperature, nutrition and growth. J. Therm. Biol. 15: 325-328.
- Dawson, L.E.R., A.F. Carson et B.W. Moss. 2002. Effects of crossbred ewe genotype and ram genotype on lamb meat quality from the lowloand sheep flock. J. Agric. Sci. 139: 195-204.
- Delfino, J.G. et G.W. Mathison. 1991. Effects of cold environment and intake level on the energetic efficiency of feedlot steers. J. Anim. Sci. 69: 4577-4587.
- Depocas, F. 1966. Concentration and turnover of cytochrone c in skeletal muscles of warmand cold-acclimated rats. Can. J. Physiol. Pharmacol. 44: 875-880.
- Diaz, M.T., S. Velasco, C. Perez, S. Lauzurica, F. Huidobro et V. Caneque. 2003. Physicochemical characteristics of carcass and meat Manchego-breed suckling lambs slaughtered at different weights. Meat Sci. 65: 1085-1093.
- Dragomir, L. 2005. Influence de la race, du sexe et du poids d'abattage sur la qualité de la viande d'agneau lourd. Mémoire de maîtrise (M.Sc.), Université Laval, Québec, 99 pp.
- Dransfield, E., G.R. Nute, B.W. Hogg et B.R. Walters. 1990. Carcass and eating quality of ram, castrated ram and ewe lambs. Anim. Prod. 50: 291-299.
- Duchamp, C., F. Cohen-Adad, J.L. Rouanet et H. Barre. 1992. Histochemical arguments for muscular non-shivering thermogenesis in muscovy ducklings. J. Physiol. 457: 27-45.
- Ekpe, E.D. et R.J. Christopherson. 2000. Metabolic and endocrine responses to cold and feed restriction in ruminants. Can. J. Anim. Sci. 80: 87-95.
- Field, R.A. 1971. Effect of castration on meat quality and quantity. J. Anim. Sci. 32: 849-858.
- Glaser, E.M. 1966. The physiological basis of habituation. Oxford Univ. Press, London, 102 pp.
- Goll, D.E., Y. Otsuka, P.A. Nagainis, J.D. Shannon, S.K. Sathe et M. Muguruma. 1983. Role of muscle proteinase in maintenance of muscle integrity and mass. J. Food Biochem. 7: 137.

- Gonçalves, L.A.G., J.F.F. Zapata, M.P. Rodrigues et A.S. Borges. 2004. The effects of sex and aging on lamb meat quality. Ciênc. Tecnol. Aliment. 24: 459-476.
- Graham, A.D., R.J. Christopherson et J.R. Thompson. 1981. Endocrine and metabolic changes in sheep associated with acclimation to constant or intermittent cold exposure. Can. J. Anim. Sci. 61: 81-90.
- Graham, A.D., A.M. Nicol et R.J. Christopherson. 1982. Rumen motility responses to adrenaline and noradrenaline and organ weight of warm- and cold-acclimated sheep. Can. J. Anim. Sci. 62: 777-786.
- Guignot, F., C. Touraille, A. Ouali et M. Renerre. 1994. Relationship between post-mortem changes and some traits of sensory quality in veal. Meat Sci. 37: 315-325.
- Hamm, R. 1986. Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. Dans: P.J. Bechtel (éd.). Muscle as food. p. 135-199. Academic Press, Orlando, États-Unis.
- Héroux, O. 1961. Climate and temperature-induced changes in mammals. Rev. Can. Biol. 20: 55-68.
- Herpin, P. et L. Lefaucheur. 1992. Adaptative changes in oxydative metabolism in skeletal muscle of cold-acclimated piglets. J. Therm. Biol. 17: 277-285.
- Holme, D.W. et W.E. Coey. 1967. The effects of environmental temperature and method of feeding on the performance and carcass composition of bacon pigs. Anim. Prod. 9: 209-219.
- Ilian, M.A., J.D. Morton, M.P. Kent, C.E. Le Couteur, J. Hickford, R. Cowley et R. Bickerstaffe. 2001. Intermuscular variation in tenderness: association with the ubiquitous and muscle-specific calpains. J. Anim. Sci. 79: 122-132.
- Iversen, P., P. Ertbjerg, L.M. Larsen, S. Monllao et A.J. Moller. 1993. An FPLC method for determination of calpains and calpastatin in porcine M. longissimus dorsi. Biochimie 75: 869-872.
- Jeremiah, L.E. 1998. The influence of lamb chronological age, slaughter weight and gender. Flavor and texture profiles. Food Res. Int. 31: 227-242.
- Jeremiah, L.E. 2000. The effects of chronological age, slaughter weight and gender on lamb: a review. Technical Bulletin. Agriculture and Agri-Food Canada 1E: 1-19.
- Johnson, P.L., R.W. Purchas, J.C. McEwan et H.T. Blair. 2005. Carcass composition and meat quality differences between pasture-reared ewe and ram lambs. Meat Sci. 71: 383-391.
- Jones, S.D.M., L.E. Jeremiah, A.K.W. Tong, W.M. Robertson et L.L. Gibson. 1992. Estimation of lamb carcass composition using an electronic probe, a visual scoring system and carcass measurements. Can. J. Anim. Sci. 72: 237-244.
- Jones, S.D.M., W.M. Robertson, M.A. Price et T. Coupland. 1996. The prediction of saleable meat yield in lamb carcasses. Can. J. Anim. Sci. 76: 49-53.

- Kennedy, P.M., R.J. Christopherson et L.P. Milligan. 1982. Effects of cold exposure on feed protein degradation, microbial protein synthesis and transfer of plasma urea to the rumen of sheep. Br. J. Nutr. 47.
- Kennedy, P.M., R.J. Christopherson et L.P. Milligan. 1986. Digestive response to cold. Dans: L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (éds.). Control of digestion and metabolism in ruminants. p. 285-306, Englewood Cliffs, NJ, États-Unis.
- Kinnula, V.L., P. Huttunen et J. Hirvonen. 1983. Adaptive changes in skeletal muscle mitochondria of guinea-pig during acclimation to cold. Eur. J. Appl. Physiol. 51: 237-245.
- Koohmaraie, M., S.C. Seideman, J.E. Schollmeyer, T.R. Dutson et J.D. Crouse. 1987. Effect of post-mortem storage on Ca++-dependent proteases, their inhibitor and myofibril fragmentation. Meat Sci. 19: 187-196.
- Koohmaraie, M. 1990. Quantification of Ca2+-dependent protease activities by hydrophobic and ion-exchange chromatography. J. Anim. Sci. 68: 659-665.
- Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. Meat Sci. 36: 93-104.
- Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. Meat Sci. 43: S193-S201.
- Lawrence, T.L.J. et V.R. Fowler. 2002. Growth of farm animals. Second éd. CABI publishing, Wallingford, Royaume-Unis, 347 pp.
- Lawrie, R.A. 1998. Lawrie's meat science. 6th éd. Woodhead publishing limited, Cambridge, Royaume-Unis, 336 pp.
- Lebret, B., P. Massabie, H. Juin, J. Mourot, N. Clochefert, A. Mounier, P. Chevillon, M. Bouyssière et M. Le Denmat. 1998. Influence des conditions d'élevage sur les performances de croissance du porc et la qualité des viandes. 2. Caractéristiques du muscle et du tissu adipeux et qualité technologique et organoleptique du jambon sel-sec. J. Rech. Porc. Fr. 30: 43-50.
- Lebret, B., P. Massabie, R. Granier, H. Juin, J. Mourot et P. Chevillon. 2002. Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of drycured hams. Meat Sci. 62: 447-455.
- Lefaucheur, L., J.L. Dividich, J. Mourot, G. Monin, P. Ecolan et D. Krauss. 1991. Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. J. Anim. Sci. 69: 2844-2854.
- Li, Y.Z., R.J. Christopherson, B.T. Li et J.A. Moibi. 2000. Effects of beta-adrenergic agonist (L-644, 969) on performance and carcass traits of growing lambs in a cold environment. Can. J. Anim. Sci. 80: 459-465.
- Lonergan, S.M., E. Huff-Lonergan, B.R. Wiegand et L.A. Kriese-Anderson. 2001. Postmortem proteolysis and tenderization of top loin steaks from brangus cattle. J. Muscle Food 12: 121-136.

- Madruga, M.S., W.O. de Araujo, W.H. de Sousa, M.F. Cezar, M. de Sousa Galvao et M.d.G.G. Cunha. 2006. Effect of genotype and sex on chemical composition and fatty acid profile of sheep meat. Rev. Bras. Zootecn. 35: 1838-1844.
- McBride, G.E. et R.J. Christopherson. 1984. Effects of cold exposure on young growing lambs. Can. J. Anim. Sci. 64: 403-410.
- Moibi, J.A., R.J. Christopherson et E.K. Okine. 2000. In vivo and in vitro lipogenesis and aspects of metabolism in ovines: Effect of environmental temperature and dietary lipid supplementation. Can. J. Anim. Sci. 80: 59-67.
- Nachlas, M.M., K.C. Tsou, E. De Souza, C.S. Cheng et A.M. Seligman. 1957. Cytochemical demonstration of succinic dehydrogenase by the use of a new p-nitrophenyl substituted ditetrazole. J. Histochem. Cytochem. 5: 420-436.
- NRC. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, Washington D.C., États-Unis, 168 pp.
- NRC. 1985. Nutriment requirements of sheep. Sixth Revised edition éd, Washington D.C., États-Unis
- NRC. 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. N.A. Press éd. National Academy Press, Washington, D.C., États-Unis, 96 pp.
- Ouali, A., M. Zabari, A. Lacourt, A. Talmant, G. Monin, J. Kopp et C. Valin. 1988. Usefulness of various biochemical and histochemical characteristics as indices of muscle type in lamb carcasses. Meat Sci. 24: 235-247.
- Park, P.W. et R.E. Goins. 1994. In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. J. Food Sci. 59: 1262-1266.
- Pommier, S.A., M.H. Fahmy, L.M. Poste et G. Butler. 1989. Effect of sex, electrical stimulation and conditioning time on carcass and meat characteristics of Romanov lambs. Food Qual. Prefer. 1: 127-132.
- Purchas, R.W., X. Yan et D.G. Hartley. 1999. The influence of a period of ageing on the relationship between ultimate pH and shear values of beef M. longissimus thoracis. Meat Sci. 51: 135-141.
- Ratzin Jackson, C.G., A.H. Sillau et N. Banchero. 1987. Fiber composition and capillarity in growing guinea pigs acclimated to cold and cold plus hypoxia. Proc. Soc. Esp. Biol. Med. 185: 101-106.
- Sano, H., S. Nakamura, S. Kobayashi, H. Takahashi et Y. Terashima. 1995. Effect of cold exposure on profiles of metabolic and endocrine responses and on responses to feeding and arginine injection in sheep. J. Anim. Sci. 73: 2054-2062.
- Sasaki, Y. et T.E.C. Weekes. 1986. Metabolic responses to cold. Dans: L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (éds.). Control of digestion and metabolism in ruminants. p. 326-343, Englewood Cliffs, NJ, États-Unis.
- Sazili, A.Q., T. Parr, P.L. Sensky, S.W. Jones, R.G. Bardsley et P.J. Buttery. 2005. The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine muscle skeletal muscles. Meat Sci. 69: 17-25.

- Schanbacher, B.D., G.L. Hahn et J.A. Nienaber. 1982. Effects of contrasting photoperiods and temperatures on performance traits of confinement-reared ewe lambs. J. Anim. Sci. 55: 620-626.
- Shackelford, S.D., M. Koohmaraie, L.V. Cundiff, K.E. Gregory, G.A. Rohrer et J.W. Savell. 1994. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine postrigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. J. Anim. Sci. 72: 857-863.
- Sillau, A.H., L. Aquin, A.J. Lechner, M.V. Bui et N. Banchero. 1980. Increased capillary supply in skeletal muscle of guinea pigs acclimated to cold. Respir. Physiol. 42: 233-245.
- Slee, J. 1970. Resistance to body cooling in male and female sheep and the effects of previous exposure to chronic cold, acute cold and repeated short cold shocks. Anim. Prod. 12: 13-21.
- Slee, J. 1971. Physiological factors affecting the energy cost of cold exposures. Proc. Nutr. Soc. 30: 215-221.
- Slee, J. 1972. Habituation and acclimatization of sheep to cold following exposures of varying length and severity. J. Physiol. 227: 51-70.
- Soni, A. et S.S. Katoch. 1997. Structural and metabolic changes in skeletal muscle of cold acclimated rats. J. Therm. Biol. 22: 95-107.
- Stanford, K., I. Clark et S.D.M. Jones. 1995. Use of ultrasound in prediction of carcass characteristics in lambs. Can. J. Anim. Sci. 75: 185-189.
- Suzuki, A. 1971. Histochemical classification of individual skeletal muscle fibers in the sheep. Jap. J. Zootechnol. Sci. 42: 39-54.
- Trout, G.R. 1991. A rapid method for measuring pigment in porcine and other low pigmented muscles. Dans: Proc. 37th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Kulmbach, Germany. p. 1198-1201.
- Vachon, M., R. Morel et D. Cinq-Mars. 2007. Effects of raising lambs in a cold or warm environment on animal performance and carcass traits. Can. J. Anim. Sci. 87: 29-34.
- Veiseth, E., S.D. Shackelford, T.L. Wheeler et M. Koohmaraie. 2001. Effect of postmortem storage on u-calpain and m-calpain in ovine skeletal muscle. J. Anim. Sci. 79: 1502-1508.
- Vergara, H. et L. Gallego. 1999. Effect of type of suckling and length of lactation period on carcass ans meat quality in intensive lamb production systems. Meat Sci. 53: 211-215.
- Webster, A.J.F., A.M. Hicks et F.L. Hays. 1969. Cold climate and cold temperature induced changes in the heat production and thermal insulation of sheep. Can. J. Physiol. Pharmacol. 47: 553-562.
- Webster, A.J.F., J. Chumechy et B.A. Young. 1970. Effects of cold environements on the energy exchanges of young beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 50: 89-100.

- Webster, A.J.F. 1970. Direct effects of cold weather on the energetic efficiency of beef production in different regions of Canada. Can. J. Anim. Sci. 50: 563-573.
- Weekes, T.E.C., Y. Sasaki et T. Tsuda. 1983. Enhanced responsiveness to insulin in sheep exposed to cold. Am. J. Physiol. 244: E335-E345.
- Wong, E., L.N. Nixon et C.B. Johnson. 1975a. Volatile medium chain fatty acids and mutton flavor. J. Agric. Food Chem. 23: 495-498.
- Wong, E., C.B. Johnson et L.N. Nixon. 1975b. The contribution of 4-methyloctanoic (hircinoic) acid to mutton and goat meat flavour. N. Z. J. Agric. Res. 18: 261-266.
- Young, B.A. 1975. Effects of winter acclimatation on resting metabolism of beef cows. Can. J. Anim. Sci. 55: 619-625.
- Young, O.A., J.-L. Berdagué, C. Viallon, S. Rousset-Akrim et M. Theriez. 1997. Fat-borne volatiles and sheepmeat odour. Meat Sci. 45: 183-200.
- Young, O.A. et T.J. Braggins. 1999. Sheepmeat odour and flavour. Dans: F. Shahidi (éd.). Flavor of meat, meat products and seafoods. p. 101. Blackie academic & professional, New York, États-Unis.

Annexe A.

CORRÉLATIONS

Tableau A.1. Corrélations simples entre les paramètres de qualité et ceux de croissance chez les femelles

	n	Âge	Pds vif	GMQ	Pds carc. chaud	Rdt carc. (vif)	Pds carc. froid	GR	Cote confo.	RVV	RVM	Gras dorsal	Œil de longe	Dépôt gras	Dépôt muscle
pH	30	-0,06	-0,18	-0,23	-0,12	-0,01	-0,10	0,19	0,17	-0,15	-0,17	0,22	-0,02	0,27	-0,15
Eau (%)	29	-0,39*	0,11	0,27	0,07	0,01	0,09	-0,02	0,16	0,06	0,02	0,05	0,04	0,24	0,12
Gras (%)	29	0,20	-0,13	-0,33	-0,09	-0,01	-0,11	0,19	0,04	-0,18	-0,18	0,08	0,00	-0,16	-0,23
Protéines (%)	29	0,12	0,18	0,16	0,12	0,01	0,13	-0,03	-0,22	-0,02	0,02	-0,04	0,04	0,07	0,14
Perte en eau (%)	30	0,02	0,02	0,04	-0,03	-0,06	0,01	0,10	0,15	-0,07	-0,10	0,01	-0,02	0,24	0,00
Perte à la cuisson (%)	28	0,11	0,54**	0,09	0,56**	0,35	0,57**	0,08	-0,02	-0,08	-0,10	-0,02	0,26	0,00	0,11
Fibres SO (%)	24	0,13	-0,37	-0,28	-0,46*	-0,36	-0,50*	-0,10	-0,72***	-0,04	0,13	0,09	-0,27	-0,02	-0,24
Fibres FOG (%)	24	-0,02	0,14	0,05	0,31	0,34	0,29	-0,09	0,06	0,10	0,07	-0,02	0,13	-0,22	0,26
Fibres FG (%)	24	-0,06	0,07	0,12	-0,06	-0,15	-0,01	0,16	0,37	-0,09	-0,15	-0,03	0,02	0,26	-0,14
CS (UI/g viande)	28	-0,13	-0,08	0,28	-0,10	-0,07	-0,06	-0,36	-0,07	0,34	0,36	-0,40*	0,13	-0,36	0,42*
LDH (UI/g viande)	27	-0,11	0,40*	0,27	0,12	-0,17	0,13	0,25	-0,07	-0,27	-0,25	-0,06	0,19	0,11	0,19
HAD (UI/g viande)	29	-0,05	-0,12	0,17	-0,19	-0,18	-0,16	-0,52**	-0,24	0,46*	0,52**	-0,33	0,07	-0,26	0,38*
μ-calpaïne (UI/g viande)	22	-0,01	0,03	0,06	-0,11	-0,18	-0,07	-0,09	0,04	0,09	0,09	-0,31	-0,10	0,01	-0,16
m-calpaïne (UI/g viande)	22	-0,12	-0,12	0,02	-0,19	-0,15	-0,20	-0,09	-0,21	0,05	0,09	0,17	-0,10	0,06	-0,05
Calpastatine (UI/g viande)	22	0,03	0,03	-0,04	-0,06	-0,11	-0,09	-0,09	-0,23	0,05	0,09	0,06	-0,08	0,04	0,09
Force de cisaillement (g)	29	0,05	0,18	0,18	0,29	0,26	0,28	-0,08	-0,01	0,08	0,07	-0,05	0,14	-0,02	0,29
Sarcomères (mm)	31	0,36*	0,28	0,06	0,37*	0,29	0,38*	-0,26	0,04	0,27	0,24	-0,34	0,24	-0,32	0,36*
L*	30	-0,45*	0,11	0,31	0,09	0,04	0,10	0,14	0,38*	-0,06	-0,14	-0,04	0,23	-0,12	0,21
a*	30	-0,04	0,18	0,13	0,11	0,00	0,09	-0,07	0,11	0,09	0,06	-0,01	0,14	-0,15	0,09
b*	30	-0,15	0,22	0,17	0,15	0,03	0,13	0,09	0,28	-0,03	-0,10	0,00	0,16	-0,19	0,06
Myoglobine (mg/g)	28	0,38*	-0,12	-0,21	-0,17	-0,15	-0,19	-0,09	-0,24	0,04	0,10	-0,19	-0,19	-0,18	-0,15

^{*}P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001

Tableau A.2. Corrélations simples entre les paramètres de qualité et ceux de croissance chez les mâles

	n	Âge	Pds vif	GMQ	Pds carc. chaud	Rdt carc. (vif)	Pds carc. froid	GR	Cote de confo.	RVV	RVM	Gras dorsal	Œil de longe	Dépôt gras	Dépôt muscle
pH	28	-0,06	-0,14	-0,03	-0,29	-0,27	-0,23	0,45*	0,18	-0,40*	-0,43*	0,04	-0,06	-0,07	-0,08
Eau (%)	27	-0,40*	0,02	0,19	0,09	0,09	0,07	0,01	0,24	0,05	-0,01	0,08	0,05	-0,06	-0,16
Gras (%)	27	0,22	-0,01	-0,22	0,00	0,00	0,03	0,41*	0,04	-0,40*	-0,41*	0,06	-0,01	-0,06	0,05
Protéines (%)	27	0,11	-0,10	0,06	-0,24	-0,24	-0,29	-0,43*	-0,34	0,34	0,44*	-0,15	-0,09	0,09	0,00
Perte en eau (%)	28	0,34	-0,10	-0,14	-0,17	-0,14	-0,13	-0,13	-0,34	0,05	0,14	0,20	-0,45*	0,34	-0,19
Perte à la cuisson (%)	28	-0,21	0,00	0,19	0,14	0,16	0,17	-0,10	0,13	0,13	0,09	-0,10	-0,24	-0,01	-0,08
Fibres SO (%)	24	-0,24	0,12	0,14	-0,17	-0,25	-0,19	-0,52**	-0,21	0,45*	0,52**	-0,11	0,18	-0,03	0,10
Fibres FOG (%)	24	-0,01	-0,28	-0,22	0,20	0,39	0,17	0,10	0,30	-0,02	-0,11	-0,11	0,13	-0,06	0,01
Fibres FG (%)	24	0,22	0,18	0,11	-0,07	-0,19	-0,02	0,33	-0,13	-0,36	-0,33	0,21	-0,29	0,09	-0,09
CS (UI/g viande)	29	-0,02	0,12	0,26	0,03	-0,03	-0,03	-0,48**	0,15	0,50**	0,48**	-0,48**	0,45*	-0,13	0,55**
LDH (UI/g viande)	29	0,18	-0,34	-0,39*	0,09	0,31	0,05	-0,13	-0,16	0,09	0,13	-0,23	0,19	-0,32	-0,08
HAD (UI/g viande)	29	-0,14	0,22	0,46*	-0,04	-0,17	-0,09	-0,47**	0,30	0,53**	0,47**	-0,39*	0,38*	-0,09	0,44*
μ-calpaïne (UI/g viande)	20	-0,02	-0,28	0,22	-0,41	-0,30	-0,40	0,18	-0,01	-0,17	-0,16	0,08	-0,32	0,14	0,08
m-calpaïne (UI/g viande)	20	0,12	0,06	0,04	0,00	-0,06	0,03	0,02	-0,26	-0,07	-0,02	0,22	-0,33	0,23	-0,29
Calpastatine (UI/g viande)	20	0,03	0,40	0,28	-0,01	-0,29	0,07	-0,05	-0,12	0,02	0,05	0,31	-0,22	0,37	-0,20
Force de cisaillement (g)	28	0,12	0,34	0,29	0,23	0,08	0,21	-0,46*	0,00	0,46*	0,45*	-0,27	-0,06	-0,11	0,14
Longueur des sarcomères (mm)	31	0,16	0,25	-0,10	0,44*	0,33	0,47**	-0,09	0,22	0,14	0,07	-0,13	0,22	-0,14	0,17
L*	28	0,06	0,19	0,19	0,08	-0,01	0,09	-0,01	-0,08	-0,01	0,01	0,12	0,00	0,18	0,17
a*	28	0,14	0,24	-0,11	-0,03	-0,16	-0,05	-0,18	-0,17	0,14	0,18	-0,20	0,33	-0,21	0,12
b*	28	0,25	0,34	-0,06	0,26	0,12	0,23	-0,05	-0,09	0,03	0,03	-0,11	0,24	-0,23	0,07
Myoglobine (mg/g)	27	0,26	-0,27	-0,41*	-0,04	0,11	-0,10	-0,09	0,19	0,14	0,09	-0,30	0,44*	-0,29	0,28

^{*} *P* < 0,05; ** *P* < 0,01; *** *P* < 0,001

Tableau A.3. Corrélations simples entre les paramètres de qualité chez les femelles

Variables	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N		30	29	29	29	30	28	24	24	24	28	27
рН	1	1,00										
Eau	2	0,40*	1,00									
Gras	3	-0,03	-0,73***	1,00								
Protéines	4	-0,36	-0,23	-0,38*	1,00							
Perte en eau	5	0,21	-0,07	-0,04	0,19	1,00						
Perte à la cuisson	6	-0,10	0,28	-0,18	-0,22	-0,01	1,00					
Fibres SO	7	-0,14	-0,27	0,01	0,28	-0,14	-0,21	1,00				
Fibres FOG	8	-0,20	0,45*	-0,26	-0,19	-0,12	0,42	-0,44*	1,00			
Fibres FG	9	0,31	-0,33	0,28	0,04	0,22	-0,35	-0,12	-0,84***	1,00		
CS	10	0,00	0,33	-0,26	-0,12	-0,38*	0,11	-0,15	0,28	-0,24	1,00	
LDH	11	0,00	0,31	-0,42*	0,28	0,20	0,33	0,06	-0,28	0,27	0,07	1,00
HAD	12	-0,11	0,13	-0,32	0,31	-0,04	0,00	0,13	0,21	-0,31	0,81***	-0,07
μ-calpaïne	13	-0,10	-0,03	0,21	-0,23	-0,31	0,38	0,12	-0,31	0,33	-0,06	0,21
m-calpaïne	14	0,10	-0,05	0,15	-0,04	0,04	-0,18	-0,01	0,10	-0,13	0,25	-0,06
Calpastatine	15	0,05	0,10	-0,05	0,01	0,13	0,03	-0,32	0,35	-0,24	0,15	0,38
Force de cisaillement	16	-0,27	-0,12	-0,32	0,63***	0,12	0,06	-0,18	0,16	-0,08	-0,01	0,19
Longueur des sarcomères	17	-0,48**	-0,37*	0,01	0,32	0,10	0,20	0,03	0,20	-0,24	-0,06	-0,31
L*	18	-0,18	-0,09	0,27	-0,35	0,19	-0,09	-0,40	0,30	-0,09	0,02	-0,03
a*	19	-0,28	-0,26	0,29	0,04	-0,12	0,09	-0,16	0,13	-0,04	0,34	-0,27
b*	20	-0,32	-0,33	0,41*	-0,14	0,07	0,08	-0,30	0,16	0,00	0,17	-0,19
Myoglobine	21	0,32	-0,04	0,08	0,16	-0,06	-0,17	0,31	-0,48*	0,31	0,25	-0,10

^{*} P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

Tableau A.3. Corrélations simples entre les paramètres de qualité chez les femelles (suite)

Variables	#	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
n		29	22	22	22	29	31	30	30	30	28
рН	1										
Eau	2										
Gras	3										
Protéines	4										
Perte en eau	5										
Perte à la cuisson	6										
Fibres SO	7										
Fibres FOG	8										
Fibres FG	9										
CS	10										
LDH	11										
HAD	12	1,00									
μ-calpaïne	13	-0,21	1,00								
m-calpaïne	14	0,28	-0,53*	1,00							
Calpastatine	15	0,22	-0,32	0,61**	1,00						
Force de cisaillement	16	0,01	-0,32	-0,28	-0,09	1,00					
Longueur des sarcomères	17	0,24	-0,11	-0,19	-0,19	0,27	1,00				
L*	18	-0,13	-0,12	0,33	0,13	-0,21	-0,07	1,00			
a*	19	0,38*	0,13	0,36	0,20	-0,14	0,13	0,29	1,00		
b*	20	0,11	0,01	0,41	0,16	-0,17	0,10	0,71***	0,83***	1,00	
Myoglobine	21	0,26	0,32	-0,25	-0,34	-0,08	-0,06	-0,56**	0,14	-0,20	1,00

^{*} P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

Tableau A.4. Corrélations simples entre les paramètres de qualité chez les mâles

Variables	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
n		28	27	27	27	28	28	24	24	24	29	29
рН	1	1,00										
Eau	2	-0,07	1,00									
Gras	3	0,49**	-0,68***	1,00								
Protéines	4	-0,38	-0,23	-0,43*	1,00							
Perte en eau	5	-0,04	-0,22	0,06	0,17	1,00						
Perte à la cuisson	6	0,14	0,10	0,01	-0,15	-0,01	1,00					
Fibres SO	7	-0,29	0,05	-0,25	0,27	-0,13	0,02	1,00				
Fibres FOG	8	0,04	0,25	-0,19	-0,16	-0,05	0,00	-0,44*	1,00			
Fibres FG	9	0,21	-0,30	0,40	-0,07	0,16	-0,01	-0,39	-0,66***	1,00		
CS	10	-0,34	-0,22	-0,16	0,40*	0,03	-0,47*	0,20	-0,09	-0,07	1,00	
LDH	11	-0,27	0,08	-0,28	0,30	0,17	-0,18	-0,05	0,28	-0,24	0,19	1,00
HAD	12	-0,09	-0,23	-0,08	0,39	-0,06	-0,26	0,06	-0,04	-0,01	0,78***	0,05
μ-calpaïne	13	0,15	0,08	-0,05	0,09	0,34	0,12	-0,38	-0,28	0,59*	-0,06	-0,22
m-calpaïne	14	0,01	-0,33	0,13	0,15	-0,12	0,12	-0,08	-0,19	0,26	-0,17	0,03
Calpastatine	15	0,16	-0,33	0,31	-0,05	0,00	0,14	0,36	-0,46	0,18	-0,18	-0,31
Force de cisaillement	16	-0,21	-0,07	-0,23	0,27	0,10	0,27	0,30	-0,01	-0,24	0,16	-0,17
Longueur des sarcomères	17	-0,22	-0,04	0,01	-0,06	-0,27	-0,10	-0,01	-0,01	0,02	0,17	0,01
L*	18	-0,26	-0,15	0,28	-0,34	0,01	0,05	0,08	-0,20	0,14	-0,03	-0,44
a*	19	-0,54**	0,08	-0,17	0,04	0,04	-0,30	0,25	-0,12	-0,08	0,23	0,21
b*	20	-0,49**	0,01	0,07	-0,26	-0,12	-0,11	0,11	-0,20	0,10	0,03	0,01
Myoglobine	21	0,06	-0,09	-0,11	0,20	-0,06	-0,15	-0,06	0,58**	-0,53*	0,10	0,32

^{*} *P* < 0,05; ** *P* < 0,01; *** *P* < 0,001

Tableau A.4. Corrélations simples entre les paramètres de qualité chez les mâles (suite)

Variables	#	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
n		29	20	20	20	28	31	28	28	28	27
рН	1										
Eau	2										
Gras	3										
Protéines	4										
Perte en eau	5										
Perte à la cuisson	6										
Fibres SO	7										
Fibres FOG	8										
Fibres FG	9										
CS	10										
LDH	11										
HAD	12	1,00									
μ-calpaïne	13	-0,03	1,00								
m-calpaïne	14	0,02	0,08	1,00							
Calpastatine	15	-0,06	-0,07	0,73***	1,00						
Force de cisaillement	16	0,16	-0,25	-0,22	-0,02	1,00					
Longueur des sarcomères	17	-0,06	-0,49*	0,02	0,25	0,05	1,00				
L*	18	-0,17	0,19	0,00	0,28	0,02	0,22	1,00			
a*	19	-0,09	-0,26	-0,16	-0,03	-0,07	0,18	0,25	1,00		
b*	20	-0,14	-0,28	0,00	0,02	-0,03	0,28	0,64***	0,75***	1,00	
Myoglobine	21	0,27	-0,26	-0,17	-0,32	0,08	-0,09	-0,48*	0,04	-0,18	1,00

^{*} P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

Annexe B.

PROFILS MÉTABOLIQUES

Tableau B.1. Profil métabolique des agneaux mâles aux jours 76, 97 et 118 de la période de croissance

			Cha	ud					Fro	oid		
	76	5 j	97	7 j	11	8 j	76	i j	97	' j	11	8 j
Composite	Moy.	Écart										
Glucose (mmol/L)	5,7	2,4	4,7	1,07	5	1,47	5,9	2,67	4,8	1,2	5,2	1,73
Urée (mmol/L)	7,09	-0,21	6,27	-0,75	8,63	0,82	6,05	-0,9	5,82	-1,05	6,67	-0,49
Albumine (g/L)	27,8	-2,48	28,9	-2,04	30,2	-1,52	27,8	-2,48	28,7	-2,12	30,3	-1,48
Protéines totales (g/L)	50,3	-2,34	54,5	-1,5	56,7	-1,06	52,8	-1,84	53,5	-1,7	57,4	-0,92
Globuline (g/L)	30,7	0,68	30,7	0,68	30,7	0,68	30,7	0,68	30,7	0,68	30,7	0,68
Ca (mmol/L)	2,69	1,6	2,69	1,6	2,78	2,2	2,67	1,47	2,62	1,13	2,73	1,87
Pi (mmol/L)	2,51	-0,23	2,67	0,18	2,68	0,2	2,53	-0,18	2,79	0,48	2,84	0,6
Cu (umol/L)	16	1,2	17,8	1,92	20,2	2,88	23,3	4,12	18,3	2,12	19,8	2,72
Zn (umol/L)	16,1	0,37	15,9	0,3	16,2	0,4	15,3	0,1	16	0,33	17,5	0,83
Mg (mmol/L)	0,95	0	1,06	1,1	1,05	1	1,01	0,6	1,08	1,3	1,06	1,1
GSH-PXs (u/L)	135	-2,38	122	-2,54	139	-2,33	145	-2,25	119	-2,58	129	-2,45
Na (mmol/L)	144	0,08	147	1,2	151	2,96	147	1	142	-0,92	148	1,48
Pression Os (mOm/L)	301	0,38	305	1,27	316	3,71	305	1,27	294	-1,18	307	1,71
CI (mmol/L)	104	-0,77	104	-0,83	107	0,4	104	-0,77	99	-2,2	102	-1,2
K (mmol/L)	5,36	0,9	5,55	1,38	5,5	1,25	5,43	1,08	5,45	1,13	5,32	0,8
Bicarbonate (mmol/L)	24,9	-0,05	26,1	0,55	25,4	0,2	26,5	0,75	26,3	0,65	26,9	0,95
GAP anionique (mmol/L)	23,8	1,93	23,8	1,93	23,8	1,93	23,8	1,93	23,8	1,93	23,8	1,93
Excès de base (mmol/L)	8,9	1,96	8,9	1,96	8,9	1,96	8,9	1,96	8,9	1,96	8,9	1,96
lons forts (mmol/L)	49,9	1,97	49,9	1,97	49,9	1,97	49,9	1,97	49,9	1,97	49,9	1,97

Annexe C.

ANALYSES DE MOULÉE

Tableau C.1. Composition de la moulée « Puranio » 18 %

Nestrinonto	Composition								
Nutriments	Analyse garantie	Calcul et analyse réelle							
ADF (%)		15,55							
Protéine brute (%)	20,45	19,91							
Calcium (%)	1,02	1,33							
Phosphore (%)	0,63	0,60							
Magnésium (%)	-	0,33							
Sodium (%)	0,28	0,28							

Tableau C.2. Composition de la moulée « Puranio » 16 %

Nutriments	Composition								
Nutrillents	Analyse garantie	Calcul et analyse réelle							
ADF (%)		14,45							
Protéine brute (%)	18,18	18,13							
Calcium (%)	0,80	1,37							
Phosphore (%)	0,40	0,58							
Magnésium (%)	-	0,32							
Sodium (%)	0,28	0,28							

- Abril, M., M.M. Campo, A. Önenç, C. Sanudo, P. Alberti et A.I. Negueruela. 2001. Beef colour evolution as a function of ultimate pH. Meat Sci. 58: 69-78.
- Agriculture Canada. 1992. Règlement sur la classification des carcasses de bétail et de volaille (DORS/92-541). Gazette du Canada, Partie II 126: 3848.
- Alasnier, C., H. Rémington et G. Gandemer. 1996. Lipid characteristics associated with oxydative and glycolytic fibres in rabbit muscles. Meat Sci. 43: 213-224.
- Alexander, G. et D. Williams. 1968. Shivering and non-shivering thermogenesis during summit metabolism in young lambs. J. Physiol. 198: 251-276.
- Ames, D.R. et D.R. Brink. 1977. Effect of temperature on lamb performance and protein efficiency ratio. J. Anim. Sci. 44: 136-140.
- Annor-Frempong, I.E., G.R. Nute, F.M. Whittington et J.D. Wood. 1997. The problem of taint in pork 1. Detection thresholds and odour profiles of androstenone and skatole in a model system. Meat Sci. 1: 45-55.
- April, E.W., P.W. Brandt et G.F. Elliott. 1972. The myofilament lattice: studies on isolated fibers. J. Cell. Biol. 53: 53-65.
- Asghar, A. et A.R. Bhatti. 1987. Endogenous proteolytic enzymes in skeletal muscle: their significance in muscle physiology and during postmortem aging events in carcasses. Adv. Food Res. 31: 343.
- Ashmore, C.R. et L. Doerr. 1971a. Comparative aspects of muscle fiber types in different species. Exp. Neurol. 31: 408-418.
- Ashmore, C.R. et L. Doerr. 1971b. Postnatal development of fiber types in normal and dystrophic skeletal muscle of the chick. Exp. Neurol. 30: 431-446.
- Ashmore, C.R., G. Tompkins et L. Doerr. 1972a. Postnatal development of muscle fiber types in domestic animals. J. Anim. Sci. 34: 37-41.
- Ashmore, C.R., W. Parker et L. Doerr. 1972b. Respiration of mitochondria isolated from dark-cutting beef: post-mortem changes. J. Anim. Sci. 34: 46-48.
- Atkinson, J.J. et M.J. Follett. 1973. Biological studies on the discoloration of fresh meat. J. Food Tech. 8: 51-58.
- Aurousseau, B., D. Bauchart, E. Calichon, D. Micol et A. Priolo. 2004. Effect of grass or concentrate feeding systems and rate of growth on triglyceride and phospholipid and their fatty acids in the M. longissimus thoracis of lambs. Meat Sci. 66: 531-541.
- Bailey, A.J. 1972. The basis of meat texture. J. Sci. Food Agric. 23: 995-1007.

- Bailey, A.J. et N. Light. 1989. Connective tissue in meat and meat products. Elsevier science publisher, New york, États-Unis, 355 pp.
- Baines, D.A. et J.A. Mlotkiewicz. 1984. The chemistry of meat flavor. Dans: A.J. Bailey (éd.). In: Recent advances in the chemistry of meat. p. 119. Royal Society of Chemistry, Londres, Royaume-Unis.
- Barany, M. 1967. ATPase activity of myosine correlated with speed of muscle shortening. J. Gen. Physiol. 50: 197-218.
- Barre, H., A. Geloen, J. Chatonnet, A. Dittmar et J.L. Rouanet. 1985. Potentiated muscular thermogenesis in cold-acclimated muscovy duckling. Am. J. Physiol. 249: R533-538.
- Barre, H., J. Nedergaard et B. Cannon. 1986a. Increased respiration in skeletal muscle mitochondria from cold-acclimated ducklings: uncoupling effects of free fatty acids. Comp. Biochem. Physiol. B 85: 343-348.
- Barre, H., F. Cohen-Adad, C. Duchamp et J.L. Rouanet. 1986b. Multilocular adipocytes from muscovy ducklings differentiated in response to cold acclimation. J. Physiol. 375: 27-38.
- Barre, H., L. Bailly et J.L. Rouanet. 1987. Increased oxidative capacity in skeletal muscles from cold-acclimated ducklings: a comparison with rats. Comp. Biochem. Physiol. B. 88: 519-522.
- Bass, A., D. Brdiczka, P. Eyer, S. Hofer et D. Pette. 1969. Metabolic differentiation of distinct muscle types at the level of enzymatic organization. Eur. J. Biochem. 10: 198-206.
- Bate-Smith, E.C. 1948. The physiology and chemistry of rigor mortis, with special reference to the aging of beef. Adv. Food Res. 1: 1.
- Behrens, W.A. et J. Himms-Hagen. 1977. Alteration in skeletal muscle mitochondria of cold-acclimated rats: association with enhanced metabolic response to noradrenaline. J. Bioenerg. Biomembr. 9: 41-63.
- Bekhit, A.E.D., G.H. Geesink, J.D. Morton et R. Bickerstaffe. 2001. Metmyoglobin reducing activity and colour stability of ovine longissimus muscle. Meat Sci. 57: 427-435.
- Bekhit, A.E.D. et C. Faustman. 2005. Metmyoglobin reducing activity. Meat Sci. 71: 407-439.
- Bendall, J.R. 1972. Consumption of oxygen by the muscles of beef animals and related species, and its effects on the colour of meat I. Oxygen consumption in pre-rigor muscle. J. Sci. Food Agric. 23: 61-72.

- Bendall, J.R. et D.J. Restall. 1983. The cooking of single myofibres, small myofibre bundles and muscle strips from beef M. psoas and M. sternomandibulis muscles at varying heating rates and temperatures. Meat Sci. 8: 93-117.
- Bergen, R.D., A.D. Kennedy et R.J. Christopherson. 2001. Effects of intermittent cold exposure varying in intensity on core body temperature and resting heat production of cattle. Can. J. Anim. Sci. 81: 459-465.
- Berthiaume, R. et G.L. Roy. 1994. Feed consumption of fall calving beef cows kept either outside or inside. Ontario Beef Research Update, University of Guelph: 58-59.
- Berthon, D., P. Herpin et J. le Dividich. 1994. Shivering thermogenesis in the neonatal pig. J. Therm. Biol. 19: 413-418.
- Berthon, D., P. Herpin, R. Bertin, F. De Marco et J. le Dividich. 1996. Metabolic changes associated with sustained 48-hr shivering thermogenesis in the newborn pig. Comp. Biochem. Physiol. B. 114: 327-335.
- Bertram, H.C., P.P. Purslow et H.J. Andersen. 2002. Relationship between meat structure, water mobility, and distribution: A low-field nuclear magnetic resonance study. J. Agric. Food Chem. 50: 824-829.
- Bertram, H.C., A. Schäfer, K. Rosenvold et H.J. Andersen. 2004. Physical changes of significance for early post mortem water distribution in porcine M. longissimus. Meat Sci. 66: 915-924.
- Bickerstaffe, R., B.R. Palmer, G.H. Geesink, A.E.D. Bekhit et C. Billington. 2000. The effect of gender on meat quality of lamb longissimus dorsi. Dans: Proceedings of the International Congress of Meat Science and Technology. p. 104-105.
- Blaxter, K. 1989. Energy metabolism in animals and man. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Unis, 336 pp.
- Blaxter, K.L. et F.W. Wainman. 1961. Environmental temperature and the energy metabolism and heat emission of steers. J. Agric. Sci. (Camb.) 56: 81-87.
- Boe, K., J.J. Nedkvitne et D. Austbo. 1991. The effect of different housing systems and feeding regimes on the performance and rectal temperature of sheep. Anim. Prod. 53: 331-337.
- Bondarovich, H.A., P. Friedel, V. Krampl, J.A. Renner, F.W. Shephard et M.A. Gianturco. 1967. Volatile constituents of coffee. Pyrazine and other compound. J. Agric. Food Chem. 15: 1093.
- Bonneau, M., M. Le Denmat, J.C. Vaudelet, J.R. Veloso Nunes, A.B. Mortensen et H.P. Mortensen. 1992. Contribution of fat androstenone and skatole to boar taint I. Sensory attributes of fat and pork meat. Livest. Prod. Sci. 32: 63-80.

- Boss, O., S. Samec, A. Paoloni-Giacobino, C. Rossier, A. Dulloo, J. Seydoux, P. Muzzin et J.P. Giacobino. 1997. Uncoupling protein-3: a new member of the mitochondrial carrier family with tissue-specific expression. FEBS Lett. 408: 39-42.
- Boss, O., P. Muzzin et J.-P. Giacobino. 1998. The uncoupling proteins, a review. Eur. J. Endocrinol. 139: 1-9.
- Bouton, P.E., P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1971. Effect of ultimate pH upon the waterholding capacity and tenderness of mutton. J. Food Sci. 36: 435-439.
- Bouton, P.E., P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1972a. The effect of ultimate pH on ovine muscle: mechanical properties. J. Food Sci. 37: 356-360.
- Bouton, P.E., P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1972b. The effect of ultimate pH on ovine muscle: water-holding capacity. J. Food Sci. 37.
- Bouton, P.E., F.D. Carroll, P.V. Harris et W.R. Shorthose. 1973. Influence of pH and fiber contraction state upon factors affecting the tenderness of bovine muscle. J. Food Sci. 38: 404-407.
- Bouton, P.E., P.V. Harris, J.J. Macfarlane et W.R. Shorthose. 1982. Influence of pH on the Warner-Bratzler shear properties of mutton. Meat Sci. 5: 27-36.
- Braggins, T.J. 1996. Effect of stress-related changes in sheepmeat ultimate pH on cooked odor and flavor. J. Agric. Food Chem. 44: 2352-2360.
- Bratzler, L.J. 1971. Palatability factors and evaluations. Dans: J.F. Price and B.S. Schweigert (éds.). The science of meat and meat products. p. 328-348, San Francisco, États-Unis.
- Brennand, C.P., J.K. Ha et R.C. Lindsay. 1989. Aroma properties and thresholds of some branched-chain and other minor volatile fatty acids occurring in milkfat and meat lipids. J. Sens. Stud. 4: 105-120.
- Brennand, C.P. et R.C. Lindsay. 1992a. Distribution of volatile branched-chain fatty acids in various lamb tissues. Meat Sci. 31: 411-421.
- Brennand, C.P. et R.C. Lindsay. 1992b. Influence of cooking on concentration of species-related flavor compounds in mutton. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 25: 357-364.
- Briand, M., A. Talmant, Y. Briand, G. Monin et R. Durand. 1981a. Metabolic types of muscle in the sheep: I. Myosin ATPase, glycolytic, and mitochondrial enzyme activities. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 46: 347-358.
- Briand, M., A. Talmant, Y. Briand, G. Monin et R. Durand. 1981b. Metabolic types of muscle in the sheep: II. Lactate dehydrogenase activity and LDH isoenzyme distribution. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 46: 359-365.

- Brink, D.R. et D.R. Ames. 1975. Effect of ambient temperature on lamb performance. J. Anim. Sci. 41: 264 (Abstr.).
- Briskey, E.J. et R.G. Kauffman. 1971. Quality characteristics of muscle as a food. Dans: J.F. Price and B.S. Schweigert (éds.). The science of meat and meat products. p. 367-401, San Francisco, États-Unis.
- Brockman, R.P. 1986. Pancreactic and adrenal hormonal regulation of metabolism. Dans: L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (éds.). Control of digestion and metabolism in ruminants. p. 406-419, Englewood Cliffs, NJ.
- Brooke, M.H. et K.K. Kaiser. 1970. Muscle fiber types: How many and what kind. Arch. Neurol. 23: 369-379.
- Brooks, J. 1929. Post-mortem formation of methaemoglobin in red muscle. Biochem. J. 23: 1391.
- Brown, W.D. et H.E. Snyder. 1969. Nonenzymatic reduction and oxydation of myoglobin and hemoglobin by nicotinamide adenine dinucleotides and flavins. J. Biol. Chem. 244: 6702-6706.
- Brown, W.D. et L.B. Mebine. 1969. Autoxidation of oxymyoglobin. J. Biol. Chem. 244: 6696-6701.
- Budohoski, L., J. Gorski, K. Nazar, H. Kaciuba-Uscilko et R.L. Terjung. 1996.

 Triacylglycerol synthesis in the different skeletal muscle fiber sections of the rat.

 Am. J. Physiol. 271: E574-581.
- Buser, K.S., B. Kopp, P. Gehr, E.R. Weibel et H. Hoppeler. 1982. Effect of cold environment on skeletal muscle mitochondria in growing rats. Cell Tissue Res. 225: 427-436.
- Buttery, R.G., L.C. Ling, R. Teranishi et T.R. Mon. 1977. Roasted lamb fat: Basic volatile components. J. Agric. Food Chem. 25: 1227.
- Buttery, R.G., W.F. Haddon, R.M. Seifer et J.D. Turnbaugh. 1984. Thiamin odor and bis (2-methyl-3-furyl) disulphide. J. Agric. Food Chem. 32: 674-676.
- Caporaso, F., J.D. Sink, P.S. Dimick, C.J. Mussinan et A. Sanderson. 1977. Volatile flavor constituents of ovine adipose tissue. J. Agric. Food Chem. 25: 1230-1234.
- Cassar-Malek, I., A. Listrat et B. Picard. 1998. Contrôle hormonal des caractéristiques des fibres musculaires après la naissance. INRA Prod. Anim. 11: 365-377.
- Cassens, R.G. et C.C. Cooper. 1971. Red and white muscle. Adv. Food Res. 19: 1.
- Chan, W.K.M., C. Faustman et E.A. Decker. 1997a. Oxymyoglobin oxidation as affected by oxidation products of phosphatidylcholine. J. Food Sci. 62: 709-712.

- Chan, W.K.M., C. Faustman, M. Yin et E.A. Decker. 1997b. Lipid oxidation induced by oxymyoglobin and metmyoglobin with involment of H2O2 and superoxide anion. Meat Sci. 46: 181-190.
- Christopherson, R.J. 1976. Effects of prolonged cold and the outdoor winter environment on apparent digestibility in sheep and cattle. Can. J. Anim. Sci. 56: 201-212.
- Christopherson, R.J. et B.A. Young. 1981. Heat flow between large terrestrial animals and the cold environment. Can. J. Chem. Eng. 59: 181-188.
- Christopherson, R.J. et P.M. Kennedy. 1983. Effect of the thermal environment on digestion in ruminants. Can. J. Anim. Sci. 63: 477-496.
- CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). 1976. 18th Session, CIE Publications, Londres, Royaume-Unis.
- Claus, R., U. Weiler et A. Herzog. 1994. Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar a review with experimental data. Meat Sci. 38: 289-305.
- Clydesdale, F.M. et F.J. Francis. 1971. The chemistry of meat color. Food Prod. Dev. 5: 81-89.
- Corbett, J.L., E.P. Furnival, W.H. Southcott, R.J. Park et W.R. Shorthose. 1973. Induced cryptorchidism in lambs. Effect on growth rate, carcass and meat characteristics. Anim. Prod. 16: 157-163.
- Coro, F.A.G., E.Y. Youssef et M. Shimokomaki. 2003. Age related changed in poultry breast meat collagen pyridinoline and texture. J. Food Biochem. 26: 533-541.
- CRAC. 1995. Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des moutons. Conseil de recherches agro-alimentaires du Canada, Ottawa, 41 pp.
- Cramer, D.A. 1983. Chemical compounds implicated in lamb flavor. Food Technol. 37: 249.
- Cromwell, G.L., V.W. Hays, V. Trujillo et J.D. Kemp. 1978. Effects of dietary protein and energy levels for growing-finishing swine on performance, muscle composition and eating quality of pork. J. Anim. Sci. 47: 505-513.
- Cross, H.R., B.D. Schanbacher et J.D. Crouse. 1984. Sex, age breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. Meat Sci. 10: 187-195.
- Cross, H.R., P.R. Durland et S.C. Seideman. 1986. Sensory qualities of meat. Dans: P.J. Bechtel (éd.). Muscle as food. p. 279-315. Academic press, Orlando, États-Unis.
- Crouse, J.D., J.R. Busboom, R.A. Field et C.L. Ferrell. 1981. The effects of breed, diet, sex, location and slaughter weight on lamb growth, carcass composition and meat flavor. J. Anim. Sci. 53: 376-386.

- Crouse, J.D. 1983. The effects of breed, sex, slaughter weight, and age on lamb flavor. Food Technol. 37: 264-268.
- Crouse, J.D., H.R. Cross et S.C. Seideman. 1985. Effects of sex condition, genotype, diet and carcass electrical stimulation on the collagen content and palatability of two bovine muscles. J. Anim. Sci. 60: 1228-1234.
- Culler, R.D., F.C. Parrish, G.C. Smith et H.R. Cross. 1978. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. J. Food Sci. 43: 1177-1180.
- Currie, R.W. et F.H. Wolfe. 1980. Rigor related changes in mechanical properties (tensile and adhesive) and extracellular space in beef muscle. Meat Sci. 4: 123-143.
- Currie, R.W. et F.H. Wolfe. 1983. An assessment of extracellular space measurements in post-mortem muscle. Meat Sci. 8: 147-161.
- Damon, M., A. Vincent, A. Lombardi et P. Herpin. 2000. First evidence of uncoupling protein-2 (UCP-2) and -3 (UCP-3) gene expression in piglet skeletal muscle and adipose tissue. Gene 246: 133-141.
- Daniel, J.A., J.E. Held, D.G. Brake, D.M. Wulf et W.B. Epperson. 2006. Evaluation of the prevalence and onset of lung lesions and their impact on growth of lambs. Am. J. Vet. Res. 67: 890-894.
- Dauncey, M.J. et D.L. Ingram. 1988. Influence of environmental temperature and energy intake on skeletal muscle respiratory enzymes and morphology. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 58: 239-244.
- Dauncey, M.J. et D.L. Ingram. 1990. Respiratory enzymes in muscle: interaction between environmental temperature, nutrition and growth. J. Therm. Biol. 15: 325-328.
- Davey, C.L. et K.V. Gilbert. 1968. Studies in meat tenderness. 4. Changes in the extractability of myofibrillar proteins during meat aging. J. Food Sci. 33: 2-7.
- Davey, C.L. et M.R. Dickson. 1970. Studies in meat tenderness 8. Ultra-structural changes in meat during ageing. J. Food Sci. 35: 56-60.
- Davis, G.W., G.C. Smith, Z.L. Carpenter, T.R. Dutson et H.R. Cross. 1979. Tenderness variations among beef steaks from carcass of the same USDA quality grade. J. Anim. Sci. 49: 103-114.
- Dawson, L.E.R., A.F. Carson et B.W. Moss. 2002. Effects of crossbred ewe genotype and ram genotype on lamb meat quality from the lowloand sheep flock. J. Agric. Sci. 139: 195-204.
- Delfino, J.G. et G.W. Mathison. 1991. Effects of cold environment and intake level on the energetic efficiency of feedlot steers. J. Anim. Sci. 69: 4577-4587.

- Depocas, F. 1966. Concentration and turnover of cytochrone c in skeletal muscles of warmand cold-acclimated rats. Can. J. Physiol. Pharmacol. 44: 875-880.
- Devine, C.E., A.E. Graafhuis, P.D. Muir et B.B. Chrystall. 1993. The effect of growth rate and ultimate pH on meat quality of lambs. Meat Sci. 35: 63-77.
- Devine, C.E. 2004. Conversion of muscle to meat: Ageing. Dans: W. Jensen, C. Devine and M. Dikeman (éds.). Encyclopedia of meat sciences No. 1. p. 330-338. Elsevier.
- Diaz, M.T., S. Velasco, C. Perez, S. Lauzurica, F. Huidobro et V. Caneque. 2003. Physicochemical characteristics of carcass and meat Manchego-breed suckling lambs slaughtered at different weights. Meat Sci. 65: 1085-1093.
- Diesbourg, L., H.J. Swatland et B.M. Millman. 1988. X-ray diffraction measurements of postmortem changes in the myofilament lattice of pork. J. Anim. Sci. 66: 1048-1054.
- Dragomir, L. 2005. Influence de la race, du sexe et du poids d'abattage sur la qualité de la viande d'agneau lourd. Mémoire de maîtrise (M.Sc.), Université Laval, Québec, 99 pp.
- Dransfield, E. 1977. Intramuscular composition and texture of beef muscles. J. Sci. Food Agric. 28: 833-842.
- Dransfield, E., R.C.D. Jones et H.J.H. MacFie. 1981a. Tenderising in M. longissimus dorsi of beef, veal, rabbit, lamb and pork. Meat Sci. 5: 139-147.
- Dransfield, E., R.C.D. Jones et H.J.H. MacFie. 1981b. Quantifying changes in tenderness during storage of beef. Meat Sci. 5: 131-137.
- Dransfield, E., G.R. Nute, D.S. Mottram, T.G. Rowan et T.L.J. Lawrence. 1985. Pork quality from pigs fed on low glucosinate rapeseed meal: Influence of level in diet, sex and ultimate pH. J. Sci. Food Agric. 36: 546-556.
- Dransfield, E., G.R. Nute, B.W. Hogg et B.R. Walters. 1990. Carcass and eating quality of ram, castrated ram and ewe lambs. Anim. Prod. 50: 291-299.
- Dransfield, E. 1992a. Modelling post-mortem tenderisation-I: Texture of electrically stimulated and non-stimulated beef. Meat Sci. 31: 57-73.
- Dransfield, E. 1992b. Modelling post-mortem tenderisation-II: Enzyme changes during storage of electrically stimulated and non-stimulated beef. Meat Sci. 31: 75-84.
- Dransfield, E. 1992c. Modelling post-mortem tenderisation-III: Role of calpain I in conditioning. Meat Sci. 31: 85-94.
- Dransfield, E. 1993. Modelling post-mortem tenderisation-IV: Role of calpains and calpastatin in conditioning. Meat Sci. 34: 217-234.

- Dransfield, E. 1994. Modelling post-mortem tenderisation-V: Inactivation of calpains. Meat Sci. 37: 391-409.
- Dubowitz, V. et A.G.E. Pearse. 1960. A comparative histochemical study of oxydative enzyme and phosphorylase activity in skeletal muscle. Histochemie 2: 105-117.
- Duchamp, C., F. Cohen-Adad, J.L. Rouanet et H. Barre. 1992. Histochemical arguments for muscular non-shivering thermogenesis in muscovy ducklings. J. Physiol. 457: 27-45.
- Dufour, E. et J.P. Renou. 2002. Propriétés structurantes de l'eau dans les produits à structure cellulaire. Muscle, viande et produits carnés. Dans: M. Le Meste, D. Lorient and D. Simatos (éds.). L'eau dans les aliments. p. 159-188. Tec & Doc, Paris, France.
- Duncan, W.R.H. et G.A. Garton. 1978. Differences in the proportions of branched-chain fatty acids in subcutaneous triacylglycerols of barley-fed ruminants. Br. J. Nutr. 40: 29.
- Dutson, T.R., J.W. Savell et G.C. Smith. 1982. Electrical stimulation of ante-mortem stressed beef. Meat Sci. 6: 159-162.
- Echevarne, C., M. Renerre et R. Labas. 1990. Metmyoglobine reductase activity in bovine muscles. Meat Sci. 27: 161-172.
- Ekpe, E.D. et R.J. Christopherson. 2000. Metabolic and endocrine responses to cold and feed restriction in ruminants. Can. J. Anim. Sci. 80: 87-95.
- Elmore, J.S., D.S. Mottram, M. Enser et J.D. Wood. 1997. Novel thiazoles and 3-thiazolines in cooked beef aroma. J. Agric. Food Chem. 45: 3603-3607.
- Elmore, J.S., D.S. Mottram, M. Enser et J.D. Wood. 1999. Effects of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles. J. Agric. Food Chem. 47: 1619-1625.
- Elmore, J.S., D.S. Mottram, M. Enser et J.D. Wood. 2000. The effects of diet and breed on the volatile compounds of cooked lamb. Meat Sci. 55: 149-159.
- Enfält, A.-C., K. Lundström, I. Hansson, M. Lundeheim et P.E. Nyström. 1997. Effects of outdoor rearing and sire breed (Duroc or Yorkshire) on carcass composition and sensory and technological meat quality. Meat Sci. 45: 1-15.
- Engel, W.K. 1962. The essentiality of histo- and cytochemical studies in the investigation of neuromuscular disease. Neurology 12: 778-784.
- Enser, M., K.G. Hallett, B. Hewitt, G.A.J. Fursey et J.D. Wood. 1996. Fatty acid content and composition of english beef, lamb and pork at retail. Meat Sci. 42: 443-456.

- Enser, M., K.G. Hallett, B. Hewett, G.A.J. Fursey, J.D. Wood et G. Harrington. 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implication for human nutrition. Meat Sci. 49: 329-341.
- Essen-Gustavsson, B., A. Karlsson, K. Lundström et A.-C. Enfält. 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: 269-277.
- Faustman, C., R.G. Cassens, D.M. Schaefer, D.R. Buege, S.N. Williams et K.K. Scheller. 1989. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer beef by dietary supplementation with vitamin E. J. Food Sci. 54: 858-862.
- Faustman, C. 1994. Postmortem changes in muscle foods. Dans: D.M. Kinsman, A.M. Kotula and B.C. Breidenstein (éds.). Muscle Foods: meat, poultry and seafood technology. p. 63-78. Chapman and Hall, New York, États-Unis.
- Fernandez, X., J. Mourot, A. Mounier et P. Ecolan. 1995. Effect of muscle type and food deprivation for 24 hours on the composition of the lipid fraction in muscles of Large White pigs. Meat Sci. 41: 335-343.
- Field, R.A. 1971. Effect of castration on meat quality and quantity. J. Anim. Sci. 32: 849-858.
- Fisher, A.V., M. Enser, R.I. Richardson, J.D. Wood, G.R. Nute, E. Kurt, L.A. Sinclair et R.G. Wilkinson. 2000. Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed x production systems. Meat Sci. 55: 141-147.
- Fjelkner-Modig, S. et H. Rudérus. 1983. The influence of exhaustion and electrical stimulation on the meat quality of young bulls: Part 2-Physical and sensory properties. Meat Sci. 8: 203-220.
- Foster, D.O. et M.L. Frydman. 1978a. Nonshivering thermogenesis in the rat. II. Measurements of blood flow with microspheres point to brown adipose tissue as the dominant site of the calorigenesis induced by noradrenaline. Can. J. Physiol. Pharmacol. 56: 110-122.
- Foster, D.O. et M.L. Frydman. 1978b. Brown adipose tissue: the dominant site of nonshivering thermogenesis in the rat. Experientia Suppl. 32: 147-151.
- Fuller, M.F. et A.W. Boyne. 1971. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pis given different amounts of food. 1. Nitrogen metabolism, growth and body composition. Br. J. Nutr. 25: 259-272.
- Furnival, E.P., J.L. Corbett et W.R. Shorthose. 1977. Meat properties of lambs grown to 32 kg at various rates on phalaris or lucerne pastures and an apparent effect of preslaughter ambient temperature. J. Agric. Sci. 88: 207-216.

- Gault, N.F.S. 1985. The relationship between water holding capacity and cooked meat in some beef muscles as influenced by acidic conditions below the ultimate pH. Meat Sci. 15: 15-30.
- Geay, Y., D. Bauchart, J.F. Hocquette et J. Culioli. 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. Reprod. Nutr. Dev. 41: 1-26.
- Geay, Y., D. Bauchart, J.F. Hocquette et J. Culioli. 2002. Valeur diététique et qualité sensorielles des viandes de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. INRA Prod. Anim. 15: 37-52.
- Geesink, G.H., P.A. Koolmees, R.L.J.M. Van Laack et F.J.M. Smulders. 1995.

 Determinants in tenderisation in beef longissimus dorsi and triceps brachii muscles.

 Meat Sci. 41: 7-17.
- Geesink, G.H. et M. Koohmaraie. 1999. Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by u-calpain under postmortem conditions. J. Anim. Sci. 77: 2685-2692.
- George, P. et C.J. Stratmann. 1952. The oxidation of myoglobin to metmyoglobin by oxygen. Biochem. J. 51: 418.
- Giddings, G.G. 1974. Reduction of ferrimyoglobin in meat. CRC Crit. Rev. Food Technol. 5: 143-173.
- Giddings, G.G. 1977. The basis of color in muscle foods. CRC Crit. Rev. Food Sci. 9: 81-114.
- Glaser, E.M. 1966. The physiological basis of habituation. Oxford Univ. Press, London, 102 pp.
- Goll, D.E., Y. Otsuka, P.A. Nagainis, J.D. Shannon, S.K. Sathe et M. Muguruma. 1983. Role of muscle proteinase in maintenance of muscle integrity and mass. J. Food Biochem. 7: 137.
- Gonçalves, L.A.G., J.F.F. Zapata, M.P. Rodrigues et A.S. Borges. 2004. The effects of sex and aging on lamb meat quality. Ciênc. Tecnol. Aliment. 24: 459-476.
- Gondret, F. et J.F. Hocquette. 2006. La teneur en lipides de la viande : une balance métabolique complexe. INRA Prod. Anim. 19: 327-338.
- Graham, A.D., R.J. Christopherson et J.R. Thompson. 1981. Endocrine and metabolic changes in sheep associated with acclimation to constant or intermittent cold exposure. Can. J. Anim. Sci. 61: 81-90.

- Graham, A.D., A.M. Nicol et R.J. Christopherson. 1982. Rumen motility responses to adrenaline and noradrenaline and organ weight of warm- and cold-acclimated sheep. Can. J. Anim. Sci. 62: 777-786.
- Graham, N.M., F.W. Wainman, K.L. Blaxter et D.G. Armstrong. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep: I. Energy metabolism in closely clipped sheep. J. Agric. Sci. (Camb.) 52: 13-24.
- Greaser, M.L. 1986. Conversion of muscle to meat. Dans: P.J. Bechtel (éd.). Muscle as food. p. 37-87. Academic press, Orlando, États-Unis.
- Greene, B.E. 1969. Lipid oxidation and pigment changes in raw meat. J. Food Sci. 34: 110.
- Guignot, F., Y. Quilichini, M. Renerre, A. Lacourt et G. Monin. 1992. Relationships between muscle type and some traits influencing veal colour. J. Sci. Food Agric. 58: 523-529.
- Guignot, F., C. Touraille, A. Ouali et M. Renerre. 1994. Relationship between post-mortem changes and some traits of sensory quality in veal. Meat Sci. 37: 315-325.
- Guth, L. et F.J. Samaha. 1969. Qualitative differences between actomyosin ATPase of slow and fast mammalian muscle. Exp. Neurol. 25: 138-152.
- Ha, J.K. et R.C. Lindsay. 1990. Distribution of volatile branched-chain fatty acids in perirephric fats of various red meat species. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 23: 433-440.
- Ha, J.K. et R.C. Lindsay. 1991. Volatile alkylphenols and thiophenol in species-related characterizing flavors of red meats. J. Food Sci. 56: 1197.
- Hagler, L., R.I. Coppes et R.H. Herman. 1979. Metmyoglobin reductase: Indentification and purification of a reduced nicotinamide adenine dinucleotide-dependent enzyme from bovine heart which reduces metmyoglobin. J. Biol. Chem. 254: 6505-6514.
- Hämäläinen, N. et D. Pette. 1995. Patterns of myosin isoforms in mammalian skeletal muscle fibres. Microsc. Res. Tech. 30: 381-389.
- Hamm, R. 1960. Biochemistry of meat hydration. Adv. Food Res. 10: 355-463.
- Hamm, R. 1986. Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. Dans: P.J. Bechtel (éd.). Muscle as food. p. 135-199. Academic Press, Orlando, États-Unis.
- Harris, J.J., R.K. Miller, J.W. Savell, H.R. Cross et L.J. Ringer. 1992. Evaluation of the tenderness of beef top sirloin steaks. J. Food Sci. 57: 6-9.

- Heffron, J.J.A. et P.V.J. Hegarty. 1974. Evidence for a relationship between ATP hydrolysis and changes in extracellular space and fibre diameter during rigor development in skeletal muscle. Comp. Biochem. Physiol. A. 49: 43-56.
- Henning, W.R., W.G. Moody et J.D. Kemp. 1973. Characteristics of ham and loin form high and low cutability pork carcasses. J. Anim. Sci. 36: 1063-1068.
- Héroux, O. 1961. Climate and temperature-induced changes in mammals. Rev. Can. Biol. 20: 55-68.
- Herpin, P., R. Bertin, J. Le Dividich et R. Portet. 1987. Some regulatory aspects of thermogenesis in cold-exposed piglets. Comp. Biochem. Physiol. A 87: 1073-1081.
- Herpin, P. et H. Barre. 1989. Loose-coupled subsarcolemmal mitochondria from muscle Rhomboideus in cold-acclimated piglets. Comp. Biochem. Physiol. B. 92: 59-65.
- Herpin, P. et L. Lefaucheur. 1992. Adaptative changes in oxydative metabolism in skeletal muscle of cold-acclimated piglets. J. Therm. Biol. 17: 277-285.
- Hertzman, C., U. Olsson et E. Tornberg. 1993. The influence of high temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor, ageing and tenderness of beef muscles. Meat Sci. 35: 119-141.
- Himms-Hagen, J. 1976. Cellular thermogenesis. Annu. Rev. Physiol. 38: 315-351.
- Hocquette, J.F., I. Ortigues-Marty, D. Pethick, P. Herpin et X. Fernandez. 1998. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. Livest. Prod. Sci. 56: 115-143.
- Hocquette, J.F., I. Ortigues-Marty, M. Damon, P. Herpin et Y. Geay. 2000. Métabolisme énergétique des muscles squelettiques chez les animaux producteurs de viande. INRA Prod. Anim. 13: 185-200.
- Holme, D.W. et W.E. Coey. 1967. The effects of environmental temperature and method of feeding on the performance and carcass composition of bacon pigs. Anim. Prod. 9: 209-219.
- Honikel, K.O., P. Roncales et R. Hamm. 1983. The influence of temperature on shortening and onset of rigor in beef muscle. Meat Sci. 8: 221-241.
- Honikel, K.O., C.J. Kim, R. Hamm et P. Roncales. 1986. Sarcomere shortening of prerigor muscles and its influence on drip loss. Meat Sci. 16: 267-282.
- Hopkins, D.L. et J.M. Thompson. 2001. Inhibition of protease activity. Part 1. The effect on tenderness and indicators of proteolysis in ovine muscle. Meat Sci. 59: 175-185.
- Hornstein, I. et P.F. Crowe. 1960. Flavor studies on beef and pork. Agric. Food Chem. 8: 494.

- Hornstein, I. et P.F. Crowe. 1963. Meat flavor: lamb. Agric. Food Chem. 11: 147.
- Horton, H.R., L.A. Moran, R.S. Ochs, J.D. Rawn et K.G. Scrimgeour. 1994. Principes de biochimie, Bruxelles, 720 pp.
- Huff-Lonergan, E., T. Mitsuhashi, D.D. Beekman, F.C. Parrish, J. Dennis, G. Olson et R. Robson. 1996. Proteolysis of specific muscle structural proteins by u-calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. J. Anim. Sci. 74: 993-1008.
- Huff-Lonergan, E. et S.M. Lonergan. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. Meat Sci. 71: 194-204.
- Huttunen, P., J. Hirvonen et V. Kinnula. 1981. The occurence of brown adipose tissue in outdoor workers. Eur. J. Appl. Physiol 46: 339-345.
- Ilian, M.A., J.D. Morton, M.P. Kent, C.E. Le Couteur, J. Hickford, R. Cowley et R. Bickerstaffe. 2001. Intermuscular variation in tenderness: association with the ubiquitous and muscle-specific calpains. J. Anim. Sci. 79: 122-132.
- Irving, T.C., H.J. Swatland et B.M. Millman. 1990. Effect of pH on myofilament spacing in pork measured by X-ray diffraction. Can. I. Food Sc. Tech. J. 23: 79-81.
- Iversen, P., P. Ertbjerg, L.M. Larsen, S. Monllao et A.J. Moller. 1993. An FPLC method for determination of calpains and calpastatin in porcine M. longissimus dorsi. Biochimie 75: 869-872.
- Jansky, L. 1973. Non-shivering thermogenesis and its thermoregulatory significance. Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. 48: 85-132.
- Jeacocke, R.E. 1993. The concentrations of free magnesium and free calciium ions both increase in skeletal muscles fibres entering rigor mortis. Meat Sci. 35: 27-45.
- Jeremiah, L.E., A.K.W. Tong et L.L. Gibson. 1991. The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. Meat Sci. 30: 97-114.
- Jeremiah, L.E. 1998. The influence of lamb chronological age, slaughter weight and gender. Flavor and texture profiles. Food Res. Int. 31: 227-242.
- Jeremiah, L.E. 2000. The effects of chronological age, slaughter weight and gender on lamb: a review. Technical Bulletin. Agriculture et Agri-Food Canada 1E: 1-19.
- Johnson, P.L., R.W. Purchas, J.C. McEwan et H.T. Blair. 2005. Carcass composition and meat quality differences between pasture-reared ewe and ram lambs. Meat Sci. 71: 383-391.

- Jones, S.D.M., L.E. Jeremiah, A.K.W. Tong, S. Lutz et W.M. Roberson. 1991. The effects of marbling level, electrical stimulation and postmortem aging on the cooking palatability properties of beef rib-eye steaks. Can. J. Anim. Sci. 71: 1037-1043.
- Jones, S.D.M., L.E. Jeremiah, A.K.W. Tong, W.M. Robertson et L.L. Gibson. 1992. Estimation of lamb carcass composition using an electronic probe, a visual scoring system and carcass measurements. Can. J. Anim. Sci. 72: 237-244.
- Jones, S.D.M., W.M. Robertson, M.A. Price et T. Coupland. 1996. The prediction of saleable meat yield in lamb carcasses. Can. J. Anim. Sci. 76: 49-53.
- Kennedy, A.D. et L.P. Milligan. 1978. Effects of cold exposure on digestion, microbial synthesis and nitrogen transformations in sheep. Br. J. Nutr. 39: 105.
- Kennedy, A.D., R.D. Bergen, R.J. Christopherson, N.D. Glover et J.A. Small. 2005. Effect of once daily 5-h or 10-h cold-exposures on body temperature and resting heat production of beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 85: 177-183.
- Kennedy, P.M., R.J. Christopherson et L.P. Milligan. 1976. The effect of cold exposure of sheep on digestion, rumen turnover time and efficiency of microbial synthesis. Br. J. Nutr. 36: 231.
- Kennedy, P.M., R.J. Christopherson et L.P. Milligan. 1982. Effects of cold exposure on feed protein degradation, microbial protein synthesis and transfer of plasma urea to the rumen of sheep. Br. J. Nutr. 47.
- Kennedy, P.M., R.J. Christopherson et L.P. Milligan. 1986. Digestive response to cold. Dans: L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (éds.). Control of digestion and metabolism in ruminants. p. 285-306, Englewood Cliffs, NJ, États-Unis.
- Kim, B.C., R.D. Warner et R.G. Kauffman. 1993. Changes in expressible fluid losses of porcine musculature at different times post-rigor. Dans: 39th International Congress of meat and technology, Calgary, Alberta, Canada.
- Kim, Y.S., S.K. Yoon, Y.H. Song et S.K. Lee. 2003. Effect of season on color of Hanwoo (Korean native cattle) beef. Meat Sci. 63: 509-513.
- King, N.L. 1987. Thermal transition of collagen in ovine connective tissues. Meat Sci. 20: 25-37.
- Kinnula, V.L., P. Huttunen et J. Hirvonen. 1983. Adaptive changes in skeletal muscle mitochondria of guinea-pig during acclimation to cold. Eur. J. Appl. Physiol. 51: 237-245.
- Koohmaraie, M., S.C. Seideman, J.E. Schollmeyer, T.R. Dutson et J.D. Crouse. 1987. Effect of post-mortem storage on Ca++-dependent proteases, their inhibitor and myofibril fragmentation. Meat Sci. 19: 187-196.

- Koohmaraie, M. 1990. Quantification of Ca2+-dependent protease activities by hydrophobic and ion-exchange chromatography. J. Anim. Sci. 68: 659-665.
- Koohmaraie, M., G. Whipple, D.H. Kretchmar, J.D. Crouse et H.J. Mersmann. 1991.

 Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork carcasses.

 J. Anim. Sci. 69: 617-624.
- Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. Meat Sci. 36: 93-104.
- Koohmaraie, M., M.E. Doumit et T.L. Wheeler. 1996. Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. J. Anim. Sci. 74: 2935-2942.
- Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. Meat Sci. 43: S193-S201.
- Koop, J. et C. Valin. 1980-81. Can muscle lysosomal enzymes affect muscle collagen post-mortem? Meat Sci. 5: 319-322.
- Kristensen, L. et P.P. Purslow. 2001. The effect of ageing on the water-holding capacity of pork: role of cytoskeletal proteins. Meat Sci. 58: 17-23.
- Kruggel, W.G., R.A. Field et G.J. Miller. 1970. Physical and chemical properties of epimysial acid-soluble collagen from meats of varying tenderness. J. Food Sci. 35: 106-110.
- Kruggel, W.G. et R.A. Field. 1971. Soluble intramuscular collagen characteristics from stretched and aged muscle. J. Food Sci. 36: 1114-1117.
- Kunsman, J.E. et M.L. Riley. 1975. A comparaison of hydrogen sulfide evolution from cooked lamb and other meats. J. Food Sci. 40: 506.
- Larick, D.K., H.B. Hedrick, M.E. Bailey, J.E. Williams, D.L. Hancock, G.B. Garner et R.E. Morrow. 1987. Flavor constituents of beef as influenced by forage- and grainfeeding. J. Food Sci. 52: 245-251.
- Larick, D.K. et B.E. Turner. 1989. Influence of finishing diet on the phosphlipid composition of fatty acid profile of individual phospholippids in lean muscle of beef cattle. J. Anim. Sci. 67: 2282-2293.
- Larick, D.K. et B.E. Turner. 1990. Flavor characteristics of forage- and grain-fed beef as influenced by phopholipid and fatty acid compositional differences. J. Food Sci. 55: 312-317.
- Larzul, C., L. Lefaucheur, P. Ecolan, J. Gogué, A. Talmant, P. Sellier, P. Le Roy et G. Monin. 1997. 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.

- Lawrence, T.L.J. et V.R. Fowler. 2002. Growth of farm animals. Second éd. CABI publishing, Wallingford, Royaume-Unis, 347 pp.
- Lawrie, R.A. 1953. The activity of the cytochrome system in muscle and its relation to myoglobin. Biochem. J. 55: 298-305.
- Lawrie, R.A. 1998. Lawrie's meat science. 6th éd. Woodhead publishing limited, Cambridge, Royaume-Unis, 336 pp.
- Leat, W.M.F. et R.W. Cox. 1980. Fundamental aspects of adipose tissue growth. Dans: T.L.J. Lawrence (éd.). Growth in animals. Studies in the agricultural and food science. p. 137-174. Butterworths, Londres, Royaume-Unis.
- Lebret, B., L. Lefaucheur, J. Mourot et M. Bonneau. 1996. Influence des facteurs d'élevage sur la qualité de la viande de porc. J. Rech. Porc. Fr. 28: 137-156.
- Lebret, B., P. Massabie, H. Juin, J. Mourot, N. Clochefert, A. Mounier, P. Chevillon, M. Bouyssière et M. Le Denmat. 1998. Influence des conditions d'élevage sur les performances de croissance du porc et la qualité des viandes. 2. Caractéristiques du muscle et du tissu adipeux et qualité technologique et organoleptique du jambon selsec. J. Rech. Porc. Fr. 30: 43-50.
- Lebret, B., P. Massabie, R. Granier, H. Juin, J. Mourot et P. Chevillon. 2002. Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of dry-cured hams. Meat Sci. 62: 447-455.
- Ledward, D.A. et W.R. Shorthose. 1971. A note on the haem pigment concentration of lamb as influenced by age and sex. Anim. Prod. 13: 193-195.
- Ledward, D.A. 1985. Post-slaugther influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. Meat Sci. 15: 149-171.
- Lefaucheur, L. 1989. Les différents types de fibres musculaires chez le porc. Prod. Anim. 2: 205-213.
- Lefaucheur, L., J.L. Dividich, J. Mourot, G. Monin, P. Ecolan et D. Krauss. 1991. Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. J. Anim. Sci. 69: 2844-2854.
- Leseigneur-Meynier, A. et G. Gandemer. 1991. Lipid composition of pork muscle in relation to the metabolic type of the fibres. Meat Sci. 29: 229-241.
- Lewis, G.J., P.P. Purslow et A.E. Rice. 1991. The effect of conditioning on the strength of perimysial connective tissue dissected from cooked meat. Meat Sci. 30: 1-12.

- Li, Y.Z., R.J. Christopherson, B.T. Li et J.A. Moibi. 2000. Effects of beta-adrenergic agonist (L-644, 969) on performance and carcass traits of growing lambs in a cold environment. Can. J. Anim. Sci. 80: 459-465.
- Light, N., A.E. Champion, C. Voyle et A.J. Bailey. 1985. The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. Meat Sci. 13: 137-149.
- Livingston, D.J. et W.D. Brown. 1981. The chemistry of myoglobin and its reaction. Food Technol. 35: 244-252.
- Locker, R.H. et C.J. Hagyard. 1963. A cold shortening effect in beef muscle. J. Sci. Food Agric. 14: 787.
- Locker, R.H. et G.J. Daines. 1975. Rigor mortis in beef sternomandibularis muscle at 37 °C. J. Sci. Food Agric. 26: 1721.
- Lonergan, S.M., E. Huff-Lonergan, B.R. Wiegand et L.A. Kriese-Anderson. 2001.

 Postmortem proteolysis and tenderization of top loin steaks from brangus cattle. J. Muscle Food 12: 121-136.
- Lopez-Bote, C., P.D. Warris et S.N. Brown. 1989. The use of muscle protein solubility measurements to assess pig lean meat quality. Meat Sci. 26: 167-175.
- Lorenz, G., D.J. Stern, R.A. Flath, W.F. Haddon, S.J. Tillin et R. Teranishi. 1983. Identification of sheep liver volatiles. J. Agric. Food Chem. 31: 1052.
- MacDougall, D.B. et D.N. Rhodes. 1972. Characteristics of the appearance of meat III. Studies on the colour of meat from young bulls. J. Sci. Food Agric. 23: 637-647.
- MacLeod, G. et B.M. Coppock. 1977. A comparasion of the chemical composition of boiled and roasted aromas of heated beef. J. Agric. Food Chem. 25: 113-117.
- Madruga, M.S. et D.S. Mottram. 1995. The effect of pH on the formation of Maillard-derived aroma volatiles using a cooked meat system. J. Sci. Food Agric. 68: 305-319.
- Madruga, M.S., W.O. de Araujo, W.H. de Sousa, M.F. Cezar, M. de Sousa Galvao et M.d.G.G. Cunha. 2006. Effect of genotype and sex on chemical composition and fatty acid profile of sheep meat. Rev. Bras. Zootecn. 35: 1838-1844.
- Maher, S.C., A.M. Mullen, D.J. Buckley, J.P. Kerry et A.P. Moloney. 2005. The influence of biochemical differences on the variation in tenderness of M. longissimus dorsi of Belgian blue steers managed homogenously pre and post-slauther. Meat Sci. 69: 215-224.
- Mancini, R.A. et M.C. Hunt. 2005. Current research in meat color. Meat Sci. 71: 100-121.

- Marieb, E.N. et G. Laurendeau. 1993. Anatomie et physiologie humaine. Éditions du renouveau pédagogique éd, Québec, Canada, 1014 pp.
- Marmer, W.N., R.J. Maxwell et J.E. Williams. 1984. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. J. Anim. Sci. 59: 109-121.
- Marsh, B.B. et N.G. Leet. 1966. Studies on meat tenderness. III. Effect of cold shortening on tenderness. J. Food Sci. 31: 450.
- Marsh, B.B., J.V. Lochner, G. Takahashi et D.D. Kragness. 1980-81. Effects of early postmortem pH and temperature on beef tenderness. Meat Sci. 5: 479-483.
- Mason, M.E. et B. Johnson. 1966. Flavor components of roasted peanuts. Some low molecular weight pyrazine and a pyrrole. J. Agric. Food Chem. 14: 454.
- Matsubara, I., Y.E. Goldman et R.M. Simmons. 1984. Changes in the lateral filament spacing of skinned muscle fibres when cross-bridges attach. J. Mol. Biol. 173: 15-33.
- McBee, J.L.J. et J.A. Wiles. 1967. Influence of marbling and carcass grade on the physical and chemical characteristics of beef. J. Anim. Sci. 26: 701.
- McBride, G.E. et R.J. Christopherson. 1984. Effects of cold exposure on young growing lambs. Can. J. Anim. Sci. 64: 403-410.
- McCormick, R.J. 1994. The flexibility of the collagen compartment of muscle. Meat Sci. 36: 79-91.
- McDonagh, M.B., C. Fernandez et V.H. Oddy. 1999. Hind-limb protein metabolism and calpain system activity influence post-mortem change in meat quality in lamb. Meat Sci. 52: 9-18.
- McKenna, D.R., P.D. Mies, B.E. Baird, K.D. Pfeiffer, J.W. Ellebracht et J.W. Savell. 2005. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. Meat Sci. 70: 665-682.
- Melody, J.L., S.M. Lonergan, L.J. Rowe, T.W. Huiatt, M.S. Mayes et E. Huff-Lonergan. 2004. Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. J. Anim. Sci. 82: 1195-1205.
- Melton, S.L., J.M. Black, G.W. Davis et W.R. Backus. 1982a. Flavor and selected chemical components of ground beef from steers backgrounded on pasture and fed corn up to 140 days. J. Food Sci. 47: 699-704.
- Melton, S.L., M. Amari, G.W. Davis et W.R. Backus. 1982b. Flavor and chemical characteristics of ground beef from grass-, forage-grain- and grain-finished steers. J. Anim. Sci. 55: 77-87.

- Meynier, A. et D.S. Mottram. 1995. The effect of pH on the formation of volatile compounds in meat-related model systems. Food Chem. 52: 361.
- Miaron, J.O.O. et R.J. Christopherson. 1992. Effect of prolonged thermal exposure on heat production, reticular motility, rumen-fluid and particulate passage-rate constants, and digestibility in steers. Can. J. Anim. Sci. 72: 809-819.
- Miller, R.K. 1994. Quality Characteristics. Dans: D.M. Kinsman, A.M. Kotula and B.C. Breidenstein (éds.). Muscle Foods: meat, poultry and seafood technology. p. 296-332. Chapman and Hall, New York, États-Unis.
- Milligan, J.D. et G.I. Christison. 1974. Effects of severe winter conditions on performance of feedlot steers. Can. J. Anim. Sci. 54: 605-610.
- Millman, B.M. 1981. Filament lattice forces in vertebrate striated muscle: relaxed and in rigor. J. Physiol. 320: 188P.
- Mohr, V. et J.R. Bendall. 1969. Constitution and physical chemical properties of intramuscular connective tissue. Nature 223: 404-405.
- Moibi, J.A., R.J. Christopherson et E.K. Okine. 2000. In vivo and in vitro lipogenesis and aspects of metabolism in ovines: Effect of environmental temperature and dietary lipid supplementation. Can. J. Anim. Sci. 80: 59-67.
- Monahan, F.J., A. Asghar, J.I. Gray, D.J. Buckley et P.A. Morrissey. 1994. Effect of oxidized dietary lipid and vitamin E on the colour stability of pork chops. Meat Sci. 37: 205-215.
- Morisson, E.H., M.M. Mielche et P.P. Purslow. 1998. Immunolocalisation of intermediate filament proteins in porcine meat. Fibre type and muscle-specific variation during conditioning. Meat Sci. 50: 91-104.
- Mottram, D.S. et R.A. Edwards. 1983. The role of triglycerides and phospholipids in the aroma of cooked beef. J. Sci. Food Agric. 34: 517-522.
- Mottram, D.S. 1985. The effect of cooking conditions on the formation of volatile heterocyclic compounds in pork. J. Sci. Food Agric. 36: 377-382.
- Mottram, D.S. 1998. Flavour formation in meat and meat products: a review. Food Chem. 63: 415-424.
- Nachlas, M.M., K.C. Tsou, E. De Souza, C.S. Cheng et A.M. Seligman. 1957. Cytochemical demonstration of succinic dehydrogenase by the use of a new pnitrophenyl substituted ditetrazole. J. Histochem. Cytochem. 5: 420-436.
- Nixon, L.N., E. Wong, C.B. Johnson et E.J. Birch. 1979. Nonacidic constituant of volatiles from cooked mutton. J. Agric. Food Chem. 27: 355.

- NRC. 1981. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, Washington D.C., États-Unis, 168 pp.
- NRC. 1985. Nutriment requirements of sheep. Sixth Revised edition éd, Washington D.C.
- NRC. 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. N.A. Press éd. National Academy Press, Washington, D.C., États-Unis, 96 pp.
- Offer, G. et J. Trinick. 1983. On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. Meat Sci. 8: 245-281.
- Offer, G., D. Restall et J. Trinick. 1984. Water-holding in meat. Dans: A.J. Bailey (éd.). Recent advances in the chemistry of meat. p. 71-86. Royal Society of Chemistry, Londres, Royaume-Unis.
- Offer, G. et P. Knight. 1988. The structural basis of water-holding in meat. Part 2. Drip losses. Dans: R. Lawrie (éd.). Developments in meat science-4. p. 173-243. Elsevier Applied Science, Londres, Royaume-Unis.
- Offer, G., P. Knight, R.E. Jeacocke, R. Almond, T. Cousins, J. Elsey, N. Parsons, A. Sharp, R. Starr et P.P. Purslow. 1989. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. Food Microstruct. 8: 151-170.
- Offer, G. 1991. Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. Meat Sci. 30: 157-184.
- Offer, G. et T. Cousins. 1992. The mechanism of drip production: Formation of two compartments of extracellular space in muscle post mortem. J. Sci. Food Agric. 58: 107-116.
- Ogata, T. et M. Mori. 1964. Histochemical study of oxydative enzymes in vertebrate muscle. J. Histo. Cytochem. 12: 171-182.
- O'Halloran, G.R., D.J. Troy et D.J. Buckley. 1997a. The relationship between early postmortem pH and the tenderisation of beef muscles. Meat Sci. 45: 239-251.
- O'Halloran, G.R., D.J. Troy, D.J. Buckley et W.J. Reville. 1997b. The role of endogenous proteases in the tenderisation of fast glycolysing muscle. Meat Sci. 47: 187-210.
- O'Keeffe, M. et D.E. Hood. 1982. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation on beef from muscles of differing colour stability. Meat Sci. 7: 209-028.
- O'Keeffe, P.W., G.H. Wellington, L.R. Mattick et G.R. Stougger. 1968. Composition of bovine muscle lipids at various carcass locations. J. Food Sci. 33: 188.
- Okeudo, N.J. et B.W. Moss. 2005. Interrelationship amongst carcass and meat quality characteristics of sheep. Meat Sci. 69: 1-8.

- Olson, D.G., F.C. Parrish et M.H. Stromer. 1976. Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during postmortem storage. J. Food Sci. 41: 1036-1041.
- Ouali, A., M. Zabari, A. Lacourt, A. Talmant, G. Monin, J. Kopp et C. Valin. 1988. Usefulness of various biochemical and histochemical characteristics as indices of muscle type in lamb carcasses. Meat Sci. 24: 235-247.
- Ouali, A. et A. Talmant. 1990. Calpains and calpastatins distribution in bovine, porcine and ovine skelatal muscles. Meat Sci. 28: 331-348.
- Ozawa, S., T. Mitsuhashi, M. Mitsumoto, S. Matsumoto, N. Itoh, K. Itagaki, Y. Kohno et T. Dohgo. 2000. The characteristics of muscle fiber types of longissimus thoracis muscle and their influences on the quantity and quality of meat from Japanese Black steers. Meat Sci. 54: 65-70.
- Pardo, J.V., J.D. Siliciano et S.W. Craig. 1983. A vinculin-containing cortical lattice in skeletal muscle: transverse lattice elements ("costameres") mark sites of attachment between myofibrils and sarcolemma. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 80: 1008-1012.
- Park, P.W. et R.E. Goins. 1994. In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. J. Food Sci. 59: 1262-1266.
- Pearson, A.M. 1966. Desirability of beef-its characteristics and their measurement. J. Anim. Sci. 25: 843-854.
- Pearson, A.M., L.M. Winham, W.A. Carse, K. McLeod, C.L. Davey et A.H. Kinton. 1973. Observations on the contribution of fat and lean to the aroma of cooked beef and lamb. J. Anim. Sci. 36: 511.
- Pearson, A.M. et R.B. Young. 1989. Muscle and meat biochemistry. Academic press, San Diego, États-Unis, 457 pp.
- Penny, I.F. 1977. The effect of temperature on the drip, denaturation and extracellular space of pork longissimus dorsi muscle. J. Sci. Food Agric. 28: 329-338.
- Penny, I.F. et E. Dransfield. 1979. Relationship between toughness and troponin T in conditioned beef. Meat Sci. 3: 135-141.
- Peter, J.B., R.J. Barnard, V.R. Edgerton, C.A. Gillespie et K.E. Stempel. 1972. Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits. Biochemistry 11: 2627-2633.
- Pette, D. et R.S. Staron. 1997. Mammalian skeletal muscle fiber type transitions. Int. Rev. Cytol. 170: 143-223.
- Picard, B., L. Lefaucheur, C. Berri et M.J. Duclos. 2002. Muscle fibre ontogenesis in farm animal species. Reprod. Nutr. Dev. 42: 415-431.

- Pomeranz, Y. 1985. Functional properties of food components. Academic Press, Orlando, 536 pp.
- Pommier, S.A., L.M. Poste et G. Butler. 1987. Effect of low voltage electrical stimulation on the distribution of cathepsin D and the palatability of the longissimus dorsi from Holstein veal calves fed a corn or barley diet. Meat Sci. 21: 203-218.
- Pommier, S.A., M.H. Fahmy, L.M. Poste et G. Butler. 1989. Effect of sex, electrical stimulation and conditioning time on carcass and meat characteristics of Romanov lambs. Food Qual. Prefer. 1: 127-132.
- Priolo, A., D. Milcol et J. Agabriel. 2001. Effects of grass feedind systems on ruminant meat colour and flavour. A review. Anim. Res. 50: 185-200.
- Purchas, R.W. 1990. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. Meat Sci. 27: 129-140.
- Purchas, R.W. et R. Aungsupakorn. 1993. Further investigation into relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. Meat Sci. 34: 163-178.
- Purchas, R.W., X. Yan et D.G. Hartley. 1999. The influence of a period of ageing on the relationship between ultimate pH and shear values of beef M. longissimus thoracis. Meat Sci. 51: 135-141.
- Purslow, P.P. 1985. The physical basis of meat texture: observation on the fracture behaviour of cooked bovine. Meat Sci. 12: 39-60.
- Ratzin Jackson, C.G., A.H. Sillau et N. Banchero. 1987. Fiber composition and capillarity in growing guinea pigs acclimated to cold and cold plus hypoxia. Proc. Soc. Esp. Biol. Med. 185: 101-106.
- Reddy, I.M. et C.E. Carpenter. 1991. Determination of metmyoglobine reductase activity in bovine skeletal muscles. J. Food Sci. 56: 1161-1164.
- Renand, G., B. Picard, C. Touraille, P. Berge et J. Lepetit. 2001. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. Meat Sci. 59: 49-60.
- Renerre, M. et R. Labas. 1987. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. Meat Sci. 19: 151-165.
- Renerre, M. 1990. Review: Factors involved in the discoloration of beef meat. Int. J. Food Sci. Technol. 25: 613-630.
- Rhee, K.S., Y.A. Ziprin et G. Ordonez. 1987. Catalysis of lipid oxidation in raw and cooked beef by metmyoglobin-H₂O₂, nonheme iron, and enzyme systems. J. Agric. Food Chem. 35: 1013-1017.

- Richards, M.P., A.M. Modra et R. Li. 2002. Role of deoxymyoglobin in lipid oxidation of washed cod muscle mediated by trout, poultry and beef hemoglobins. Meat Sci. 62: 157-163.
- Robert, N., M. Briand, R. Taylor et Y. Briand. 1999. The effect of proteasome on myofibrillar structure in bovine skeletal muscle. Meat Sci. 51: 149-153.
- Rolfe, D.F. et M.D. Brand. 1996. Proton leak and control of oxidative phosphorylation in perfused, resting rat skeletal muscle. Biochim. Biophys. Acta 1276: 45-50.
- Rolfe, D.F. et M.D. Brand. 1997. The physiological significance of mitochondrial proton leak in animal cells and tissues. Biosci. Rep. 17: 9-16.
- Rome, E. 1967. Light and X-ray diffraction studies of the filament lattice of glycerol-extracted rabbit psoas muscle. J. Mol. Biol. 27: 591-602.
- Rowe, A., F.A.F. Macedo, J.V. Visentainer, N.E. Souza et M. Matsushita. 1999. Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in drylot or pasture. Meat Sci. 51: 283-288.
- Samaha, F.J., L. Guth et R.W. Albers. 1970. Phenotypic differences between the actomyosin ATPase of the three fiber types of mammalian skeletal muscle. Exp. Neurol. 26: 120-125.
- Sammel, L.M., M.C. Hunt, D.H. Kropf, K.A. Hachmeister et D.E. Johnson. 2002. Comparaison of assays for metmyoglobin reducing ability in beef inside and outside semimembranosus muscle. J. Food Sci. 67: 978-984.
- Sano, H., S. Nakamura, S. Kobayashi, H. Takahashi et Y. Terashima. 1995. Effect of cold exposure on profiles of metabolic and endocrine responses and on responses to feeding and arginine injection in sheep. J. Anim. Sci. 73: 2054-2062.
- Sanudo, C., G.R. Nute, M.M. Campo, G. Maria, A. Baker, I. Sierra, M.E. Enser et J.D. Wood. 1998. Assessment of commercial lamb meat quality by British and Spanish taste panels. Meat Sci. 48: 91-100.
- Sasaki, Y. et T.E.C. Weekes. 1986. Metabolic responses to cold. Dans: L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (éds.). Control of digestion and metabolism in ruminants. p. 326-343, Englewood Cliffs, NJ, États-Unis.
- Savage, A.W.J., P.D. Warris et P.D. Jolley. 1990. The amount and composition of the proteins in drip from stored pig meat. Meat Sci. 27: 289-303.
- Savell, J.W., R.E. Branson, H.R. Cross, D.M. Stiffler, J.W. Wise, D.B. Griffin et G.C. Smith. 1987. National consumer retail beef study: palatability evaluations of beef loin steaks that differed in marbling. J. Food Sci. 52: 517-519.

- Savell, J.W. et H.R. Cross. 1988. The role of fat in palatability of beef, pork and lamb. Dans: N.A. Press (éd.). Designing Foods: Animal product options in the marketplace, Washington, États-Unis.
- Sazili, A.Q., T. Parr, P.L. Sensky, S.W. Jones, R.G. Bardsley et P.J. Buttery. 2005. The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine muscle skeletal muscles. Meat Sci. 69: 17-25.
- Schäfer, A., K. Rosenvold, P.P. Purslow, H.J. Andersen et P. Henckel. 2002. Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork. Meat Sci. 61: 355-366.
- Schanbacher, B.D., G.L. Hahn et J.A. Nienaber. 1982. Effects of contrasting photoperiods and temperatures on performance traits of confinement-reared ewe lambs. J. Anim. Sci. 55: 620-626.
- Seideman, S.C. 1986. Method of expressing collagen caracteristics and their relationship to meat tenderness and muscle fiber type. J. Food Sci. 51: 273.
- Seideman, S.C., M. Koohmaraie et J.D. Crouse. 1987. Factors associated with tenderness in young beef. Meat Sci. 20: 281-291.
- Shackelford, S.D., M. Koohmaraie et J.W. Savell. 1994a. Evaluation of longissimus dorsi muscle pH at three hours post mortem as a predictor of beef tenderness. Meat Sci. 37: 195-204.
- Shackelford, S.D., M. Koohmaraie, L.V. Cundiff, K.E. Gregory, G.A. Rohrer et J.W. Savell. 1994b. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine postrigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. J. Anim. Sci. 72: 857-863.
- Sillau, A.H., L. Aquin, A.J. Lechner, M.V. Bui et N. Banchero. 1980. Increased capillary supply in skeletal muscle of guinea pigs acclimated to cold. Respir. Physiol. 42: 233-245.
- Silva, J.A., L. Patarata et C. Martins. 1999. Influence of ultimate pH on bovine tenderness during ageing. Meat Sci. 52: 453-459.
- Slee, J. 1970. Resistance to body cooling in male and female sheep and the effects of previous exposure to chronic cold, acute cold and repeated short cold shocks. Anim. Prod. 12: 13-21.
- Slee, J. 1971. Physiological factors affecting the energy cost of cold exposures. Proc Nutr Soc 30: 215-221.
- Slee, J. 1972. Habituation and acclimatization of sheep to cold following exposures of varying length and severity. J. Physiol. 227: 51-70.

- Smith, G.C. et Z.L. Carpenter. 1970. Lamb carcass quality III. Chemical, physical and histological measurements. J. Anim. Sci. 31: 697-706.
- Smith, G.C. et Z.L. Carpenter. 1976. Eating quality of meat animal products and their fat content. Dans: N.A. Sciences (éd.). Fat content and composition of animal products. p. 147-182, Washington, États-Unis.
- Smulders, F.J.M., B.B. Marsh, D.R. Swartz, R.L. Russell et M.E. Hoenecke. 1990. Beef tenderness and sarcomere lenght. Meat Sci. 28: 349-363.
- Soni, A. et S.S. Katoch. 1997. Structural and metabolic changes in skeletal muscle of cold acclimated rats. J. Therm. Biol. 22: 95-107.
- Stanford, K., I. Clark et S.D.M. Jones. 1995. Use of ultrasound in prediction of carcass characteristics in lambs. Can. J. Anim. Sci. 75: 185-189.
- Stanton, C. et N. Light. 1987. The effects of conditionning on meat collagen: part 1-Evidence for gross in situ proteolysis. Meat Sci. 21: 249-265.
- Stanton, C. et N. Light. 1988. The effects of conditioning on meat collagen: part 2-Direct biochemical evidence for proteolytic damage in insoluble perimysia collagen after conditioning. Meat Sci. 23: 179-199.
- Steen, R.W.J. et M.G. Porter. 1997. The effect of forage:concentrate ratio in the diet of beef cattle on the ratio of omega-6 to omega-3 fatty acids in beef. Dans: Proceedings of the winter meeting of the British Society of Animal Science,, Scarborough, Royaume-Unis. p. 46.
- Stein, J.M. et H.A. Padykula. 1962. Histochemical classification of individual skeletal muscle fibers of the rat. Am. J. Anat. 110: 103.
- Stromer, M.H. 1998. The cytoskeleton in skeletal, cardiac and smooth muscle cells. Histol. Histopathol. 13: 283-291.
- Suzuki, A. 1971. Histochemical classification of individual skeletal muscle fibers in the sheep. Jap. J. Zootechnol. Sci. 42: 39-54.
- Swatland, H.J. 1989. A review of meat spectrophotometry (300 to 800 nm). Can. I. Food Sc. Tech. J. 22: 390-402.
- Swatland, H.J. 1990. Effect of acidity on the optical transmittance of bovine myofibrillar proteins: How meat traps light at low wave lengths. J. Anim. Sci. 68: 1284-1290.
- Sylvestre, M.N., D. Balcerzak, C. Feidt, V.E. Baracos et J. Brun Bellut. 2002. Elevated rate of collagen solubilization and postmortem degradation in muscles of lambs with high growth rates: possible relationship with activity of matrix metalloproteinases. J. Anim. Sci. 80: 1871-1878.

- Symonds, M.E., M.J. Bryant, L. Clarke, C.J. Darby et M.A. Lomax. 1992. Effect of maternal cold exposure on brown adipose tissue and thermogenesis in the neonatal lamb. J. Physiol. 455: 487-502.
- Talmant, A., G. Monin, M. Briand, M. Dadet et Y. Briand. 1986. Activities of metabolic and contractile enzymes in 18 bovine muscles. Meat Sci. 18: 23-40.
- Tarrant, P.V. et J. Sherington. 1980. An investigation of ultimate pH in the muscles of commercial beef carcasses. Meat Sci. 4: 287-297.
- Thompson, G.E. et D.M. Jenkinson. 1969. Nonshivering thermogenesis in the newborn lamb. Can. J. Physiol. Pharmacol. 47: 249-253.
- Touraille, C. 1994. Influence of muscle characteristics on sensory propeterties of meat. Renc. Rech. Ruminants 1: 169-176.
- Trayhurn, P. 1989. Symposium on brown adipose tissue-role in nutritional energetics. Proc. Nutr. Soc. 48: 165-175.
- Trayhurn, P., N.J. Temple et J. Van Aerde. 1989. Evidence from immunoblotting studies on uncoupling protein that brown adipose tissue is not present in domestic pig. Can. J. Physiol. Pharmac. 67: 1480-1485.
- Trout, G.R. 1991. A rapid method for measuring pigment in porcine and other low pigmented muscles. Dans: Proc. 37th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Kulmbach, Germany. p. 1198-1201.
- Uytterhaegen, L., E. Claeys et D. Demeyer. 1994. Effects of exogeneous protease effectors on beef tenderness development an myofibrillar degradation and solubility. J. Anim. Sci. 72: 1209-1223.
- Vachon, M., R. Morel et D. Cinq-Mars. 2007. Effects of raising lambs in a cold or warm environment on animal performance and carcass traits. Can. J. Anim. Sci. 87: 29-34.
- Van Laack, R.L.J.M., R.G. Kauffman, W. Sybesma, F.J.M. Smulders, G. Eikelenboom et J.C. Pinheiro. 1994. Is colour brightness (L-value) a reliable indicator of waterholding capacity in porcine muscle. Meat Sci. 38: 193-201.
- Van Laack, R.L.J.M. 1999. The role of proteins in water-holding capacity of meat. Dans: Y.L. Xiong (éd.). Quality Attributes of Muscle Foods. p. 309-318. Plenum Publishers, New York, États-Unis.
- Van Praagg, M., H.S. Stein et M.S. Tibbetts. 1968. Steam volatile aroma constituents of roasted cocoa beans. J. Agric. Food Chem. 16: 1005.
- Veiseth, E., S.D. Shackelford, T.L. Wheeler et M. Koohmaraie. 2001. Effect of postmortem storage on u-calpain and m-calpain in ovine skeletal muscle. J. Anim. Sci. 79: 1502-1508.

- Vergara, H. et L. Gallego. 1999. Effect of type of suckling and length of lactation period on carcass ans meat quality in intensive lamb production systems. Meat Sci. 53: 211-215.
- Verstegen, M.W.A., E.W. Brascamp et W. Van Der Hel. 1978. Growing and fattening of pigs in relation to temperature of housing and feeding level. Can. J. Anim. Sci. 58: 1-12.
- Viljoen, H.F., H.L. de Kock et E.C. Webb. 2002. Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. Meat Sci. 61: 181-185.
- Wachira, A.M., L.A. Sinclair, R.G. Wilkinson, M. Enser, J.D. Wood et A.V. Fisher. 2002. Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. Br. J. Nutr. 88: 697-709.
- Wang, K. et R. Ramirez-Mitchell. 1983. A network of transverse and longitudinal intermediate filaments is associated with sarcomeres of adult vertebrate skeletal muscle. J. Cell Biol. 96: 562-570.
- Wasserman, A.E. et F. Talley. 1968. Organoleptic identification of roasted beef, veal, lamb and pork as affected by fat. J. Food Sci. 33: 219-223.
- Watanabe, A., C.C. Daly et C.E. Devine. 1996. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. Meat Sci. 42: 67-78.
- Watanabe, A. et C.E. Devine. 1996. Effect of meat ultimate pH on rate of titin and nebulin degradation. Meat Sci. 42: 407-413.
- Watanabe, K. et Y. Sato. 1971. Some alkyl-substitued pyrazines and pyridines in the flavor of shallow fried beef. J. Agric. Food Chem. 19: 1017-1019.
- Webster, A.J.F., A.M. Hicks et F.L. Hays. 1969. Cold climate and cold temperature induced changes in the heat production and thermal insulation of sheep. Can. J. Physiol. Pharmacol. 47: 553-562.
- Webster, A.J.F., J. Chumechy et B.A. Young. 1970. Effects of cold environements on the energy exchanges of young beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 50: 89-100.
- Webster, A.J.F. 1970. Direct effects of cold weather on the energetic effiency of beef production in different regions of Canada. Can. J. Anim. Sci. 50: 563-573.
- Weekes, T.E.C., Y. Sasaki et T. Tsuda. 1983. Enhanced responsiveness to insulin in sheep exposed to cold. Am. J. Physiol. 244: E335-E345.
- Weir, C.E. 1960. Palatability characteristics of meat. Dans: J.F. Price and B.S. Schweigert (éds.). The science of meat and meat products. W.H. Freeman and Compagny, San Francisco, États-Unis.

- Westra, R. et R.J. Christopherson. 1976. Effects of cold on digestibility, retention time of digesta, reticulum motility and thyroid hormones in sheep. Can. J. Anim. Sci. 56: 699-708.
- Wheeler, T.L. et M. Koohmaraie. 1994. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle. J. Anim. Sci. 72: 1232-1238.
- Whipple, G., M. Koohmaraie, M.E. Dikeman, J.D. Crouse, M.C. Hunt et R.D. Klemm. 1990. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in bos taurus and bos indicus cattle. J. Anim. Sci. 68: 2716-2728.
- Whipple, G. et M. Koohmaraie. 1991. Degradation of myofibrillar proteins by extractable lysosomal enzymes and m-calpain and the effects of zinc chloride. J. Anim. Sci. 69: 4449-4460.
- Whitaker, J.R. 1959. Chemical changes associated with aging of meat with emphasis on the proteins. Adv. Food Res. 9: 1.
- Whitfield, F.B., D.S. Mottram, S. Brock, D.J. Puckey et L.J. Salter. 1988. Effect of phospholipid on the formation of volatile heterocyclic compounds in heated aqueous solutions of amino acids and ribose. J. Sci. Food Agric. 42: 261-272.
- Winger, R.J. et C.J. Hagyard. 1994. Juiciness. Dans: A.M. Pearson and T.R. Dutson (éds.). Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. p. 94-124, New York, États-Unis.
- Wismer-Pedersen, J. 1971. Water. Dans: J.F. Price and B.S. Schweigert (éds.). The science of meat and meat products. p. 177-191, San Francisco, États-Unis.
- Wong, E., L.N. Nixon et C.B. Johnson. 1975a. Volatile medium chain fatty acids and mutton flavor. J. Agric. Food Chem. 23: 495-498.
- Wong, E., C.B. Johnson et L.N. Nixon. 1975b. The contribution of 4-methyloctanoic (hircinoic) acid to mutton and goat meat flavour. N. Z. J. Agric. Res. 18: 261-266.
- Wood, J.D. et M. Enser. 1997. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. Br. J. Nutr. 78 Suppl 1: S49-60.
- Wood, J.D., G.R. Nute, R.I. Richardson, F.M. Whittington, O. Southwood, G. Plastow, R. Mansbridge, N. da Costa et K.C. Chang. 2004. Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. Meat Sci. 67: 651-667.
- Young, B.A. 1975a. Effects of winter acclimatation on resting metabolism of beef cows. Can. J. Anim. Sci. 55: 619-625.
- Young, B.A. 1975b. Temperature-induced changes in metabolism and body weight of cattle. Can. J. Physiol. Pharmacol. 53: 947-953.

- Young, B.A. 1981. Cold stress as it affects animal production. J. Anim. Sci. 52: 154-163.
- Young, O.A. et T.J. Braggins. 1993. Tenderness of ovine semimembranosus: is collagen concentration or solubility the critical factor? Meat Sci. 35: 213-222.
- Young, O.A., D.H. Reid et G.H. Scales. 1993. Effect of breed and ultimate pH on the odour and flavour of sheep meat. N. Z. J. Agric. Res. 36: 363-370.
- Young, O.A. et J.L. Dobbie. 1994. Characteristics of intramuscular collagen in two sheep breeds. N. Z. J. Agric. Res. 37: 93-97.
- Young, O.A., J.-L. Berdagué, C. Viallon, S. Rousset-Akrim et M. Theriez. 1997. Fat-borne volatiles and sheepmeat odour. Meat Sci. 45: 183-200.
- Young, O.A., A. Priolo, N.J. Simmons et J. West. 1999. Effects of rigor attainment temperature on meat blooming and colours on display. Meat Sci. 52: 47-56.
- Young, O.A. et B.M.B. Baumeister. 1999. The effect of diet on the flavour of cooked beef and the odour compounds in beef fat. N. Z. J. Agric. Res. 42: 297-304.
- Young, O.A. et T.J. Braggins. 1999. Sheepmeat odour and flavour. Dans: F. Shahidi (éd.). Flavor of meat, meat products and seafoods. p. 101. Blackie academic & professional, New York, États-Unis.
- Young, O.A., G.A. Lane, A. Priolo et K. Fraser. 2003. Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize. J. Sci. Food Agric. 83: 93-104.
- Yu, L.P. et Y.B. Lee. 1986. Effects of postmortem pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. J. Food Sci. 51: 774-780.
- Zhu, L.G. et M.S. Brewer. 1998. Metmyoglobine reducing capacity of fresh normal, PSE and DFD pork during retail display. J. Food Sci. 63: 390-393.