

Impact de l'Élevage des Agneaux Lourds en Bergerie Froide durant la Période Hivernale

Performances de Croissance & Qualité de la Viande

RAPPORT FINAL

Projet #2188

Requérant :

Centre d'expertise en
production ovine du
Québec

Rédigé par :

Éric Pouliot,
Université Laval

François Castonguay,
Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Mireille Thériault,
Agriculture et
Agroalimentaire Canada

*Projet réalisé dans le
cadre du programme*

Recherche appliquée,
innovation et transfert
technologique du Conseil
pour le développement
de l'agriculture du
Québec (CDAQ)

Mai 2007

Impact de l'Élevage des Agneaux Lourds en Bergerie Froide durant la Période Hivernale

Performances de Croissance & Qualité de la Viande

Rédigé par Éric Pouliot, François Castonguay et Mireille Thériault

La reproduction d'extraits du présent document à des fins personnelles est autorisée à condition d'en indiquer la source en entier.

Cette publication se trouve aussi en version électronique sur le Web à l'adresse suivante :
www.ovins.fsaa.ulaval.ca

Pour plus de renseignements :

François Castonguay, Ph.D.

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Centre de recherche et de développement sur les bovins laitiers et le porc de Lennoxville

En poste au Département des Sciences Animales

Pavillon Paul-Comtois, Université Laval

Québec, G1K 7P4

Tél. : (418) 656-2131 poste 8358

Courrier électronique : Francois.Castonguay@san.ulaval.ca

REMERCIEMENTS

En tant que coordonnateur de l'équipe de recherche, je voudrais adresser des remerciements à toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce projet.

En premier lieu, je désire remercier le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ) pour le financement du projet. La compagnie Agribrands Purina Canada Inc. a également participé financièrement à la réussite de cette recherche en fournissant la moulée distribuée aux agneaux. Agriculture et Agroalimentaire Canada et le Centre d'expertise en production ovine du Québec (CEPOQ) ont également contribué monétairement à la réalisation de cette recherche.

Merci au 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 assuré l'encadrement scientifique du projet pour tout le volet touchant la qualité de la viande.

Je tiens à remercier très sincèrement Éric Pouliot, étudiant de 2^e cycle au Département des sciences animales de l'Université Laval qui a participé à la rédaction des protocoles et a assuré leur exécution en bergerie, à l'abattoir et en laboratoire. Il a également réalisé la compilation et l'analyse des résultats et a participé à leur analyse statistique. Il s'est aussi chargé de la rédaction des articles scientifique et de vulgarisation.

Du côté de nos collaborateurs du CEPOQ, je tiens à remercier Francis Goulet, directeur du CEPOQ, qui a mis à notre disposition l'argent et les ressources nécessaires à la modification des installations selon les exigences particulières de l'expérience. Merci à Sylvain Blanchette, gérant de la ferme de recherche au CEPOQ, et à toute son équipe (Amélie St-Pierre, Nicolas Dupont, Nicolas Tanguay, Catherine Lord, Julie Frigon, Christine Morin, Jessica Fournier-Couture) qui ont collaboré à la réalisation du protocole en bergerie.

Du côté de mon équipe de recherche, je veux remercier Mireille Thériault, adjointe de recherche à Agriculture et Agroalimentaire Canada, qui a collaboré à la coordination et à la réalisation du projet. Elle a participé à la planification des expériences, au suivi technique, au travail en bergerie et en abattoir, à l'analyse statistique des résultats et à la rédaction du rapport.

Merci également à Catherine Avezard, technicienne de laboratoire au CRDA, qui a guidé Éric Pouliot dans la réalisation des analyses de laboratoire. Tout le travail de découpe, réalisé à l'abattoir Pouliot de St-Henri-de-Lévis, a été accompli grâce à la collaboration de Christian Bernier et Marie-Claude Parisé, propriétaires de Sélection Béarc, et de leurs bouchers, Hervé Marquet et Daniel Rochon. Merci à Éric Provencher de chez Agribrands Purina Canada Inc. qui était responsable de la formulation des suppléments alimentaires et qui s'est assuré de la qualité du produit. Merci au Dr Dany Cinq-Mars, de la Direction des services technologiques

du MAPAQ, pour ses précieux conseils sur l'alimentation des agneaux. Des remerciements s'adressent finalement à Steve Méthot, statisticien à Agriculture et Agroalimentaire Canada, pour ses conseils lors de la réalisation des analyses statistiques.

Sans l'appui des organismes précédemment cités et sans le travail de tous ces nombreux collaborateurs, ce projet n'aurait pu être réalisé avec autant de succès. Merci très sincèrement à tous!

François Castonguay

Dr François Castonguay PhD

Chercheur en production ovine

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Centre de recherche et de développement sur les bovins laitiers et le porc

En poste au Département des Sciences Animales

Pavillon Paul-Comtois, Université Laval

Québec, G1K 7P4

Tél. : (418) 656-2131 poste 8358

Courrier électronique : Francois.Castonguay@san.ulaval.ca

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
1. RÉSUMÉ DU PROJET.....	8
2. DESCRIPTION DU PROJET	9
2.1. PROBLÉMATIQUE.....	9
2.2. OBJECTIFS	11
2.3. MÉTHODOLOGIE.....	12
2.3.1. Phase animale.....	12
2.3.2. Abattage.....	15
2.3.3. Analyses de laboratoire	17
2.3.4. Évaluation sensorielle.....	26
2.3.5. Résumé des paramètres mesurés.....	28
2.3.6. Analyses statistiques	29
2.3.7. Étapes de réalisation.....	30
2.4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	30
2.4.1. Paramètres de croissance et qualité de la carcasse	31
2.4.2. Caractéristiques biochimiques et chimiques du longissimus dorsi	40
2.4.3. Paramètres de qualité de la viande.....	44
3. CONCLUSIONS ET IMPACTS DE L'ÉTUDE.....	48
4. DIFFUSION DES RÉSULTATS.....	49
5. RÉFÉRENCES.....	51
6. PLAN DE FINANCEMENT ET RAPPORT FINANCIER.....	57
ANNEXE 1. COMPOSITION DES MOULÉES.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1. Paramètres de croissance en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)	33
Tableau 2.2. Paramètres de qualité de carcasse en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)	39
Tableau 2.3. Caractéristiques chimique et biochimique du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E).....	41
Tableau 2.4. Profil en acide gras du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)	43
Tableau 2.5. Paramètres de qualité de la viande du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)	45
Tableau A.1. Composition de la moulée « Puranio » 18 %	59
Tableau A.2. Composition de la moulée « Puranio » 16 %	59

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1. Variation de la température dans les bergeries expérimentales durant la période hivernale.....	32
---	----

1. RÉSUMÉ DU PROJET

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 $10,9 \pm 0,70$ °C ou bergerie froide $-2,0 \pm 5,16$ °C) 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. Du point de vue des muscles, l'élevage sous l'environnement froid a influencé la proportion des fibres composant le *longissimus dorsi* en faveur des fibres intermédiaires. 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.

2. DESCRIPTION DU PROJET

2.1. PROBLÉMATIQUE

Depuis les six dernières années, le cheptel ovin québécois a connu une croissance exponentielle passant de 74 000 brebis à plus de 165 000 (MAPAQ, 2003). Durant la même période, le Québec subissait un changement important au niveau de la commercialisation de la viande d'agneaux. En plus de l'accroissement du nombre d'agneaux mis en marché par les producteurs québécois, les importations provenant de l'Ouest canadien, de la Nouvelle-Zélande et de l'Australie se sont accrues de façon significative. Cette situation a pour effet d'augmenter la compétition sur le marché québécois. Pour les partenaires de l'industrie ovine québécoise, il semble donc de plus en plus urgent de trouver des stratégies d'élevage qui permettront aux producteurs du Québec de diminuer leurs coûts de production de façon à rester concurrentiels sur leur propre marché. Cependant, ces changements de régie doivent permettre de maintenir, et même d'accroître, la qualité de notre produit : une viande tendre, juteuse et avec un goût léger.

Une des façons de diminuer les coûts de production est de réduire les frais associés au logement des moutons et particulièrement celui des agneaux de marché. Pour ce faire, les agneaux lourds sont souvent élevés dans des bâtiments non isolés dits « froids » (froids en hiver). Pour les producteurs, l'utilisation de bergeries « froides » pour l'engraissement comporte plusieurs avantages. En effet, ces bâtiments sont moins dispendieux lors de la construction (14 \$ vs 24 \$/pi.²) et offrent, en général, un environnement plus sec aux animaux, ce qui contribue à diminuer les émanations de gaz rendant l'environnement moins propice au développement des micro-organismes pathogènes. Au Québec, une bonne partie des agneaux lourds sont produits dans des bâtiments froids durant la période hivernale. Dans l'enquête du coût de production, réalisé par le MAPAQ en 2002 (2004), on a évalué que 32 % des installations des producteurs étaient des bergeries froides. Dans de telles installations, la température mensuelle moyenne est souvent bien inférieure à 0 °C, puisqu'elle avoisine celle enregistrée à l'extérieur.

Des essais ont été effectués depuis deux ans au Centre d'expertise en production ovine du Québec (CEPOQ) afin de déterminer l'impact de la croissance des agneaux en bergerie froide comparativement à la bergerie chaude durant la période hivernale (CDAQ #2021). Le but de ce projet était de déterminer si la température d'élevage avait une incidence sur les performances de croissance des agneaux. Les analyses des données compilées en 2003 et 2004 montrent que l'élevage en bergerie froide (autour de -6 °C) assurerait des performances zootechniques similaires à celles obtenues par les agneaux élevés en bergerie chaude (autour de 8 °C). En effet, les analyses démontrent que les consommations de moulée, les gains de poids, les mesures de gras sur la carcasse, les cotes de conformation moyennes des carcasses et l'indice des carcasses ont été comparables en bergerie froide et en bergerie chaude. Du point de vue des performances zootechniques des agneaux et de la

qualité de leurs carcasses, il n’y a donc pas d’inconvénient à loger les agneaux en bergerie froide au cours de l’hiver.

Cependant, des études scientifiques dans d’autres espèces démontrent que la croissance en environnement froid pourrait avoir des répercussions négatives sur la qualité de la viande. En effet, chez certaines espèces, tels le porc et le bœuf, la littérature démontre une détérioration de la qualité de la viande lorsque des animaux sont élevés à des températures inférieures à la zone de bien-être (Lefaucheur et al., 1991; Kim et al., 2003). Cette zone est variable d’une espèce à l’autre et la réponse physiologique est différente pour chacune d’elles lorsque les conditions ambiantes sont défavorables. Chez l’agneau, la température ambiante idéale pour obtenir des performances de croissance maximale serait d’environ 15 °C (Ames et Brink, 1977; Moreau, 1985).

Des chercheurs ont observé que l’exposition à de basses températures entraîne un changement dans la composition du muscle, notamment du type de fibres musculaires (Herpin et Lefaucheur, 1992; Lefaucheur et al., 1991; Valin et al., 1982). En effet, ils ont retrouvé une proportion plus importante de fibres rouges dans la viande des animaux élevés à des températures inférieures. Selon eux, cette modification provoquerait une augmentation du métabolisme oxydatif des muscles squelettiques et, par le fait même, une diminution de la durée de conservation de la viande dans les comptoirs des boucheries. Une quantité importante de fibres rouges a également pour effet d’augmenter la susceptibilité de la viande à la contracture au froid (« cold shortening »). Ce phénomène est provoqué par une réfrigération trop rapide suite à l’abattage qui a pour effet de raccourcir les fibres musculaires et donner une viande moins tendre (Boccard et Dumont, 1976; Roncalès, 1998). Dans une étude portant sur les effets du changement de température saisonnier sur la couleur de la viande de bovin, Kim et al. (2003) ont également constaté une augmentation de la proportion de fibres rouges dans ces conditions.

En plus d’une augmentation de la proportion de fibres rouges, l’exposition à des températures sous la zone de bien-être aurait pour effet d’accroître le contenu en lipides dans les muscles rouges (Herpin et Lefaucheur, 1992). Chez le porc, des études ont démontré qu’un sujet élevé à 12 °C, une température inférieure à la zone de confort (Holmes et Close, 1977), développe moins de muscles et plus de gras sous-cutané. L’effet n’est pas seulement quantitatif, mais aussi qualitatif puisque le profil des acides gras retrouvés dans ces muscles changerait, favorisant les acides gras insaturés (Lefaucheur et al., 1991) L’augmentation du niveau d’acides gras insaturés, bien que recommandé pour la santé humaine, entraîne diverses modifications au niveau de la flaveur (odeur, goût) de la viande en raison de leur nature plus oxydable (Mottram, 1996). La formation de certains composés volatils, tel que le 4-heptanal, pourrait nuire à la qualité organoleptique de la viande. Les changements qualitatifs et quantitatifs au niveau des acides gras de la viande d’agneau élevé au froid pourraient donc avoir une incidence sur la flaveur de la viande.

Les études scientifiques sur les autres espèces que l’agneau démontrent donc que la température ambiante lors de la croissance entraîne une réponse physiologique qui peut

affecter la qualité de la viande. Chez l'agneau, même si cette espèce possède un seuil de tolérance élevé aux basses températures comparativement à d'autres animaux d'élevage (National Academy of Science, 1981), il serait également possible d'observer une détérioration de la qualité générale de la viande. Cependant, les études sur l'agneau sont extrêmement rares au niveau mondial et inexistantes dans les conditions environnementales particulières d'élevage du Québec. Compte tenu de l'importance du sujet, il est primordial de vérifier l'impact de l'élevage d'agneaux lourds en bergerie froide durant la période hivernale sur la qualité de la viande avant de faire la promotion de cette pratique à l'ensemble des producteurs.

- Ames, D.R. et Brink, D.R. (1977). Effect of temperature on lamb performance and protein efficiency ratio. *Journal of Animal Science*. 44:137-140.
- Boccard, R. et Dumont, B.L. (1976). La qualité des carcasses ovines. Dans croissance engraissement et qualité des carcasses d'agneaux et de chevreaux, autres résultats de la recherche. ITOVIC-SPEOC, Paris, pp.44-78.
- Herpin, P. et Lefaucheur, L. (1992) Adaptative changes in oxydative metabolism in skeletal muscle of cold-acclimated piglets. *J. Therm. Biol.* 17:277-285.
- Holmes, C.W. et Close, W.H. (1977). The influence of climatic variables on the energy metabolism and associated aspects of productivity in the pig. Dans :Nutrition and the climatic environment. W. Haresign, H. Swan and D. Lewis Ed., Butterworths, London.
- Kim, Y.S., Yoon, S.K., Song, Y.H., Lee, S.K. (2003). Effect of season on color of Hanwoo (Korean native cattle) beef. *Meat Science*. 63 :509-513.
- Lefaucheur, L., Le Dividich, J., Mourot, J., Monin, G., Ecolan, P., Krauss, D. (1991). Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. *Journal of Animal Science*. 69:2844-2854.
- MAPAQ (2003). Esquisse de l'analyse de l'industrie ovine au Québec. Bibliothèque nationale du Québec, 2e édition.
- MAPAQ (2004). Étude sur le coût de production de l'agneau en 2002 au Québec, Direction des politiques sur la gestion des risques, 62 pp.
- Moreau, V. (1985). Bergerie moderne. Réfléchir avant d'agir. ITOVIC, SPEOC, Tours, France.
- Mottram, D.S. (1998). Flavour formation in meat and meat products : a review. *Food Chemistry*. 63:415-424.
- Roncalés, P. (1998). Réflexion sur la qualité nutritionnelle et sensorielle de la viande d'agneau. 2e Symposium international sur l'industrie ovine, CPAQ, 16-24.
- National Academy of Science (1981). Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press, Washington, D.C.
- Valin, C., Touraille, C., Vigneron, P., Ashmore, C.R. (1982). Prediction of lamb meat quality traits based on muscle biopsy fibre typing. *Meat Science*. 6:257-263.

2.2. OBJECTIFS

Général

- ✓ Fournir à l'industrie ovine québécoise les informations nécessaires pour orienter le choix des pratiques de régie dans une perspective de production de viande de qualité supérieure;
- ✓ Déterminer l'impact de la température ambiante d'élevage en période hivernale sur la qualité de la viande d'agneaux lourds;
- ✓ Accroître nos connaissances en ce qui a trait à la qualité de la viande d'agneau québécois.

Spécifiques

- ✓ Évaluer l'impact de la température ambiante à l'intérieur des bâtiments d'élevage des agneaux lourds (environ 5 °C vs -10 °C, en période hivernale) sur :
 - la proportion des différents types de fibres retrouvés dans le muscle de l'œil de longe ;
 - la proportion de tissus adipeux intramusculaires ainsi que la nature des acides gras et composés métaboliques présents dans la viande;
 - la tendreté, la jutosité et la couleur de la viande;
 - les qualités gustatives de la viande.

2.3. MÉTHODOLOGIE

2.3.1. Phase animale

Saillies-Naissance

Le 6 juin 2004, 110 brebis de race Dorset, préalablement synchronisées à l'aide d'éponges vaginales et ayant reçu une injection de 600 U.I. de PMSG au retrait, ont été mises à la saillie avec des béliers de la même race. Une échographie a eu lieu vers 50 jours de gestation de manière à connaître le nombre de brebis gestantes qui donneraient naissance aux agneaux nécessaires au projet.

Alimentation des brebis

Durant la gestation, les brebis ont été alimentées à partir d'un ensilage de foin à raison de 4,0 à 4,5 kg/brebis/j sur une base telle que servie. En fin de gestation, les brebis ont reçu de 0,3 à 0,5 kg/j d'orge ou de maïs selon l'analyse des fourrages ou leur état de chair. Durant la phase de lactation, les brebis ont reçu un mélange d'ensilage de foin et de maïs (50-50) à raison de 4,0 à 4,5 kg/brebis/j sur une base telle que servie.

Naissance-Sevrage

Seuls les agneaux issus des agnelages 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*) et 0,25 ml d'un mélange de vitamine E et de Se (*Dystosel*), leur nombril a été désinfecté et leur queue coupée.

Une semaine suivant la naissance, une moulée à 18 % de protéine (moulée « début » Purina; « Puranio 18 % ») leur a été servie à la dérobee (analyses à l'annexe 1). De l'eau était disponible à volonté pour les agneaux dans le parc à la dérobee.

Le sevrage a eu lieu en même temps pour tous les agneaux lorsqu'ils ont atteint l'âge moyen d'environ 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.

Sélection et formation des groupes

Les agneaux ont été sélectionnés une semaine suivant le sevrage, soit environ à 57 jours d'âge. En tout, 32 mâles et 32 femelles ont été retenus pour le projet. La sélection a été faite de manière à obtenir un nombre égal de mâles et de femelles les plus homogènes possible pour la constitution des groupes expérimentaux. 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 une bergerie chaude et une bergerie froide. 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 dont les dimensions (1,8 m x 2,4 m) respectaient la norme de 0,6 m/agneau du Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des moutons (CRAC, 1995¹).

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, et ce, à toutes les deux heures. Seule la bergerie chaude contenait un système de chauffage d'appoint. Pour ce qui est des températures extérieures présentées, elles correspondent aux données recueillies à la station météorologique de La Pocatière, disponibles sur le site Internet d'Environnement Canada (http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/advanceSearch/searchHistoricData_f.html).

Alimentation et soins

Les 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 (Purina; « Puranio 18 % »; analyse à l'annexe 1). Par la suite, le pourcentage de protéines de la moulée cubée a été diminué à 16 % (Purina; « Puranio 16 % »; analyse à l'annexe 1). 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.

Pour ce qui est du foin, il a été distribué à volonté durant toute la période de croissance. Il est normalement considéré qu'un agneau en croissance ayant accès à une moulée à volonté consommera environ 15 % de fourrage et 85 % de concentrés (NRC, 1985). Toutefois, les essais réalisés au CEPOQ montrent une consommation moins importante de fourrage. Afin

¹ Conseil de recherches agro-alimentaires du Canada. 1995. Code de pratiques recommandées pour le soin et la manipulation des moutons, Ottawa, 41 pp.

d'évaluer la consommation réelle, trois périodes de vérification ont été effectuées. Ces épisodes ont eu lieu aux environs des jours 70, 90 et 110. Durant ces tests, d'une durée de trois jours chacun (dernier refus le jeudi matin), le foin a été pesé avant d'être servi et les refus ont également été pesés avant de servir le prochain repas de fourrage.

Échantillonnage et analyse des aliments

Le fourrage destiné à l'alimentation des agneaux a été échantillonné à la réception et analysé.

Pour la moulée, chaque premier échantillon 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 (protéines, Ca, P, Cu, Mg, Mo) qui ont été effectuées au laboratoire d'alimentation animale du Département des sciences animales de l'Université Laval.

Profil métabolique

Le mercredi correspondant aux semaines des tests de consommation de fourrage (3 reprises), une prise de sang a été effectuée sur 8 agneaux mâles de chaque traitement. Une fois le prélèvement effectué, les tubes (type « Vacutainer » pour sérum) étaient placés à température pièce pour environ 30 à 60 min et ensuite centrifugés à 2000 G durant 20 min. Le surnageant (sérum) de chaque tube a été récupéré à l'aide d'une pipette et transféré dans deux tubes de 2 ml préalablement identifiés. Ces derniers ont été conservés à -20 °C avant d'être envoyés et analysés au service de diagnostic de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal.

Pesée et suivi de croissance

Les agneaux ont été pesés une fois par semaine durant toute la durée du projet et le gain moyen quotidien (GMQ) des agneaux 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 visé par l'industrie). Le poids à jeun était donc estimé en soustrayant 7 % du poids vif au moment de la pesée.

Mesures par échographie

Différentes mesures d'épaisseur de muscle et de gras ont été réalisées par échographie au début du protocole, soit immédiatement après la sélection. Par la suite, ces mesures ont été effectuées à toutes les deux semaines pour la durée du projet. 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) 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 GR, qui correspond à une estimation de l'épaisseur des tissus, telle que mesurée lors de la classification, a été prise entre les 11^e-12^e côtes à 11 cm de la ligne dorsale, la sonde parallèle à la médiane, 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 la médiane. Il est à noter que la peau est 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 semble être relativement constante, d'un animal à l'autre, lorsque ceux-ci sont adéquatement tondu.

2.3.2. Abattage

Préparation

Le transport des agneaux vers l'abattoir et l'abattage ont eu lieu le jeudi matin de chaque semaine. Les agneaux ont été mis à jeun pendant environ 12-15 h avant leur abattage. Les agneaux à expédier à l'abattoir ont été regroupés dans un parquet avec eau, mais sans aliment à 18h30 le mercredi soir. Le matin de l'abattage, les agneaux ont été pesés une dernière fois afin d'obtenir le poids à jeun.

Abattage

Les abattages ont eu lieu à l'abattoir commercial Pouliot de St-Henri-de-Lévis entre le 10 février et le 24 mars 2005. À l'abattoir, les conditions de contention, d'abattage et de conservation 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, emmenée dans une chambre de ressuyage puis placée dans une chambre de refroidissement. Le poids froid a été enregistré 24 h après l'abattage. Ces données ont été prises par le personnel de l'abattoir et par un responsable du projet.

Prise d'échantillons à l'abattoir

Un prélèvement de muscle d'environ 14-15 g a été effectué à l'aide d'un scalpel muni d'une lame #23 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 à l'aide d'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 -60 °C par un appareil de congélation rapide (Shandon

Histobath II, Thermo Electron Corporation, Waltham, MA, États-Unis) avant d'être placés dans des tubes préalablement identifiés et conservés à -80 °C. Le reste de l'échantillon a été découpé en bloc de 1 cm³, congelé directement dans l'azote liquide, placé dans un tube bien identifié et conservé à -80 °C. Après une période de congélation de quelques mois, ces échantillons ont été analysés au laboratoire du *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.

Classification et découpe des carcasses

Après 24 h de refroidissement à 4 °C, les carcasses ont été classifiées selon la méthode d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (1992²) par un classificateur accrédité par la FPAMQ. À l'aide d'une règle de métal, l'épaisseur totale de tissus était mesurée, sur la 12^e côte à 11 cm de la ligne médiane (mesure GR). 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. Le même jour, la découpe a été effectuée de manière à isoler les pièces de viande nécessaires à l'expérimentation. 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 placé dans un bac et réfrigéré à l'abattoir tandis que la longe courte a été transportée à l'Université Laval pour la détermination du pH, de la perte en eau et de la couleur de la viande. Lors de la découpe, une tranche de 1 cm d'épaisseur, prélevée au niveau de la dernière côte, a été récupérée de chaque *longissimus* droit, placée sous Cryovac[®] et transportée à l'Université. Une fois à l'Université, les 24 h post-mortem atteintes, les tranches ont été congelées à -20 °C sans période de maturation pour servir, ultérieurement, aux mesures de la longueur des sarcomères.

Trente-deux longes gauches et 32 *semimembranosus* gauches ont été conservés 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, à l'abattoir ou à l'Université, tous les muscles ont été placés sous Cryovac[®] et conservés à -20 °C à l'Université jusqu'à leur transfert au Centre de recherche et de développement sur les aliments (CRDA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Saint-Hyacinthe. Ainsi, un temps de maturation ou vieillissement de 7 jours a été octroyé à la viande.

² Agriculture Canada. 1992. Règlement sur la classification des carcasses de bétail et de volaille (DORS/92-541). Gazette du Canada, Partie II 126: 3848.

Calculs des rendements

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

$$\text{RVV} = 78,92 - (0,51 * \text{GR}) + (1,25 * \text{Cote moyenne})$$

(Jones *et al.*, 1996)

$$\text{RVM} = 65,8 - (0,074 * \text{Pdschaud}) - [0,432 * (6,38 + 0,88 * \text{GR})]$$

(Jones *et al.*, 1992; Stanford *et al.*, 1995)

Ces rendements sont exprimés en pourcentage du poids de la carcasse chaude.

2.3.3. Analyses de laboratoire

Perte en eau, couleur et pH

Environ 27 h (26-28 h) après l'abattage (vendredi après-midi), une tranche de viande a été découpée sur chaque longe courte droite. Ces tranches ont été travaillées de manière à ne garder que du tissu musculaire exempt de gras et de tissu conjonctif. Ces tranches ont ensuite été pesées, accrochées à un hameçon et suspendues dans un bac de plastique fermé maintenu à 4 °C. Quarante-huit heures plus tard, ces tranches ont été pesées de nouveau et la perte en eau a été 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 exposée du *longissimus* a été laissée à l'air pour une période d'oxygénation de 30 min. Par la suite, trois lectures ont été effectuées avec un colorimètre (Chroma meter CR-300, Minolta Co., Ltd., Japan, Data processor DP-301), chaque lecture donnant une valeur pour chacun des paramètres de couleur L*, a* et b*. La même procédure a été utilisée pour mesurer la couleur des *semimembranosus*.

Environ 48 h post-abattage, le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre muni d'une sonde (200 series pH meter, Beckman Instruments, Inc., CA, États-Unis) sur les *longissimus* conservés à 4 °C. Pour ce faire, la sonde a été insérée dans la viande en trois endroits sur la même surface de la pièce dans le plus court laps de temps possible (1 à 2 min).

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 expérimentation, 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.-à-d. la couche la plus superficielle de tissu conjonctif. Les pièces de viande ont été pesées avant d'être emballées individuellement sous Cryovac®. 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) selon la procédure suivante.

La température cible du caisson de préchauffage ainsi que celle du caisson de stérilisation (caisson de cuisson dans notre cas) est 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. Afin d'avoir une sécurité en cas de défaillance des thermocouples, le temps de cuisson est chronométré. 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 peut alors débuter. De cette manière, la viande atteint la température cible de cuisson de 68 °C avant de refroidir pendant une dizaine de minutes.

Par la suite, 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 représente la perte à la cuisson.

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 retenue.

Eau, Gras, Protéine, Myoglobine et Profil en Acides Gras

Pour toutes ces analyses, la préparation des échantillons a été faite le même jour à partir des mêmes pièces de viande. Toutefois, les diverses analyses ont été effectuées individuellement selon les protocoles appropriés. La longe courte a été utilisée pour ces analyses. Ces dernières (64) ont d'abord été décongelées durant 2 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 morceau avant d'être haché à l'aide d'un hache-viande électrique. La viande hachée a alors été divisée en trois fractions, la principale étant réservée pour l'analyse des composantes en eau, gras, et protéine (pesée précisément); une seconde (quelques grammes) pour la myoglobine ainsi qu'une troisième pour la composition en acide gras. Les différents échantillons ont été placés sous Cryovac® et remis sous congélation (-20 °C) jusqu'aux analyses subséquentes.

Eau, Gras et Protéine. Les échantillons gardés à -20 °C ont été placés à -40 °C au moins 24 h précédant la lyophilisation afin de favoriser la sublimation de l'échantillon au cours de la lyophilisation. Les échantillons ont été déballés, placés sur des carrés d'aluminium dans les plateaux et mis au lyophilisateur Lyo-Tech (Lyo-San Inc., Lachute, Québec, Canada) à 20 °C pour une durée d'environ 68 h. Par la suite, le poids des échantillons a été noté, 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 pour les futures analyses de gras et de protéine.

La teneur en gras a été déterminée à l'aide d'un LECO TFE2000 (LECO corporation, St. Joseph, MI, États-Unis). Cet appareil est spécialement conçu pour déterminer le contenu en lipide de manière efficace. 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 protéine a été mesurée à l'aide d'un 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 de nitrogène produit, donc la quantité de protéine de l'échantillon.

Myoglobine. Lors de ce projet, la concentration en pigment 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 sec à 15 000 rpm à l'aide d'un Polytron PT 3100 (Kinematica, Luzernerstrasse, Lucerne, Switzerland). 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 sodium nitrite 65 mM ont été ajoutés à 4 ml du filtrat recueilli. Suite à une période de repos à 22 °C de 1 h, 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'onde 409 et 730 nm. La concentration a été déterminée selon le calcul suivant :

$$\text{Pigment (mg/ml)} = ((A_{409} - A_{730} * 2,68) * V_t / V_f * V_e / m * 2 * M_{\text{myo}}) / (MAC_{409} * L * 1000)$$

Où :

A₄₀₉ = Absorbance de l'extrait

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

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

V_f = volume de filtrat utilisé, soit 4 ml

V_e = volume total de la solution viande tampon, soit 30 ml

m = masse de la viande, soit environ 3 g

2 = dilution 1 : 2

M_{myo} = masse molaire de la myoglobine (pigment principal), soit 17 500 mg/mmol.

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

Profil en acides gras. Pour la détermination du profil en acide gras, 2 g de longe courte préalablement hachée ont été pesés en duplicata et homogénéisés sur glace dans 2 ml d'eau distillée pendant 15 sec à l'aide d'un 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 extraient et transférés dans des fioles, les échantillons ont été analysés à l'aide d'un GC 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 sec. Des taux de 4,5 °C/min et de 0,25 °C/min sont utilisés jusqu'aux températures cibles de 200 °C (30 sec) et 205 °C (30 sec). 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.

Typage des fibres musculaires

La proportion des différents types de fibres composant le *longissimus* a été mesurée sur des échantillons congelés 30 min suivant la mort de l'animal dans l'isopentane afin d'éviter la formation de cristaux. Des coupes d'environ 14 μm 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, les coupes ont été observées à l'aide d'un microscope Eclipse (E400, Nikon), photographiées via une caméra digitale (modèle 3.2.0 Diagnostic Instruments) et finalement caractérisées en fonction du type de fibres grâce au logiciel Image-Pro Plus (MediaCybernetics, Silver Spring, MD, États-Unis). Dans chaque cas, plus de 350 fibres ont été caractérisées.

Activité ATPasique. De manière à distinguer les fibres à contraction lente des fibres à contraction rapide, une coloration en fonction de l'activité ATPasique a été effectuée. Pour ce faire, les coupes ont d'abord été préincubées pendant 10 min à la température de la pièce dans une solution à pH 4,3 contenant 25 ml de CaCl_2 (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 CaCl_2 (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), 5 ml CaCl_2 (10 %), 1 ml KCl (0,5 M) et 0,152 g d'ATP pour une solution de 1000 ml dont le pH est 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 CaCl_2 1 % ainsi que dans une solution de CoCl_2 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 sur la méthode de Nachlas (1957), l'activité de la succinate déshydrogénase a été 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.

Caractérisation finale des fibres. 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. Il est alors 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).

Cinétique enzymatique

Afin de déterminer le potentiel glycolytique et oxydatif des échantillons, deux tests d'activité enzymatique 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 (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 déshydrogénase. 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. En effet, environ 1 g de viande a été broyé et homogénéisé à l'aide d'un Polytron PT 3100 (Kinematica, Luzernerstrasse, Lucerne, Suisse) dans 10 ml de tampon d'extraction constitué de glycyglycine 63 mM; saccharose 0,5 M; EDTA 6,2 mM et 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 sont obtenus, soit un premier tube dont le rapport gramme de

viande : volume de tampon est de 1 : 10 (les 5 ml restants) et un second à 1 : 20 (les 5 ml auxquels on a ajouté 5 ml du tampon). Suite à une centrifugation de 30 min à 3000 G (centrifugeuse 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 selon la procédure 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. Durant les cinq minutes suivantes, le niveau d'absorption des échantillons soumis à une longueur d'onde de 412 nm a été mesuré. L'équation de Beer-Lambert a été utilisée afin de déterminer l'activité enzymatique.

$$\text{Activité CS (UI/ml d'extrait)} = (\text{DO/min} \times \text{dilution} \times V_t) / (V_{pd} \times L \times e)$$

$$\text{Activité CS (UI/g viande)} = \text{Activité CS (UI/ml d'extrait)} \times V_e / m$$

Où :

DO/min = la pente (cinétique enzymatique)/min

dilution = 1 : 20, soit 21 ml

V_t = volume total, soit 3,35 ml

V_{pd} = volume de la prise d'essai, soit 0,05 ml

L = longueur de la cuve, soit 1 cm

e = le coefficient d'absorption du DTNB, soit $13,6 \text{ ml} \times \mu\text{mol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$

V_e = volume d'extraction, soit 20 ml*

m = le 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 additionnels 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 selon la procédure suivante : 0,1 ml d'extrait dilué, 3,0 ml de tampon (Triéthanolamine HCl 0,1 M; EDTA 5 mM; MgCl_2 2 g/L) auquel a été ajouté chaque jour du pyruvate de Na 27,5 mg/100 ml. Une fois la température des cuves stabilisée dans le spectrophotomètre, 50 μl NADH (0,6 mg NADH) a été ajouté dans chacune d'elles afin de démarrer la réaction. Le niveau d'absorption des échantillons soumis à 340 nm de longueur d'onde a été mesuré durant 5 min. L'équation de Beer-Lambert a, une fois de plus, été utilisée afin de déterminer l'activité enzymatique.

$$\text{Activité LDH (UI/ml d'extrait)} = (\text{DO/min} \times \text{dilution} \times \text{Vt}) / (\text{Vpd} \times \text{L} \times \text{e})$$
$$\text{Activité LDH (UI/g viande)} = \text{Activité (UI/ml d'extrait)} \times \text{Ve/m}$$

Où :

DO/min = la pente (cinétique enzymatique)/min

dilution = 1 : 200, soit 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 = le coefficient d'absorption du NADH, soit $6,22 \text{ ml} \times \mu\text{mol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$

Ve = volume d'extraction, soit 20 ml*

m = le 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 était différent de celui utilisé pour la citrate et la lactate. En effet, l'extrait utilisé était les 5 ml restants de l'échantillon de départ (soit 10 ml dont on avait prélevé 5 ml afin de préparer l'extrait 1 : 20). Le ratio viande : tampon était donc de 1 g : 10 ml. Cet extrait était utilisé sans aucune dilution subséquente. Toujours en duplicata, on mélangeait dans des cuves 0,1 ml d'extrait auquel on a ajouté 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. Suite à l'équilibration de la température des cuves dans le spectrophotomètre, 15 μL de NADH 0,45 mM était ajouté afin de démarrer la réaction. La variation de la DO était suivie à 340 nm pendant 5 min. L'activité enzymatique était calculée via l'équation de Beer-Lambert.

$$\text{Activité HAD (UI/ml d'extrait)} = (\text{DO/min} \times \text{dilution} \times \text{Vt}) / (\text{Vpd} \times \text{L} \times \text{e})$$

$$\text{Activité HAD (UI/g viande)} = \text{Activité (UI/ml d'extrait)} \times \text{Ve/m}$$

Où :

DO/min = la 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 = le coefficient d'absorption du NADH, soit $6,22 \text{ ml} \times \mu\text{mol}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$

Ve = volume d'extraction, soit 10 ml*

m = le poids de viande en mg

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

Calpaïnes et Calpastatine

L'activité du principal système enzymatique impliqué dans l'attendrissement de la viande a été mesurée à partir d'échantillons congelés dans l'azote liquide 30 min suivant la mort de l'animal et conservés à -80 °C. L'activité de la μ -calpaïne et de la m-calpaïne a été mesurée 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.* (1994) 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 muscles ont été homogénéisés à l'aide d'un Polytron PT 3100 (Kinematica, Luzernerstrasse, Lucerne, Suisse) dans 30 ml de tampon (20 mM Tris, 2 mM EDTA, 1 mM DTT; pH 7,5). Deux périodes de 45 sec 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 (centrifugeuse Beckman J2-21 et un rotor JA-18). Le surnageant a d'abord été filtré au travers d'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 pH du surnageant restant a été ajusté à 7,5 avant de le filtrer sous vide à 0,45 μ m.

Séparation μ -calpaïne, m-calpaïne et calpastatine. La séparation de ces deux enzymes a été effectuée à l'aide d'un FPLC Waters 650E 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 la 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 durant 55 min à l'aide d'un gradient de NaCl allant de 0 à 500 mM. Trois paliers ont été utilisés au cours de cette élution, soit 120, 300 et 500 mM.

Les fractions correspondant aux calpaïnes ont d'abord été déterminées expérimentalement et regroupées ainsi :

Noms	Fractions (ml ou min)
Contrôle μ -calpaïne	31-32
μ-calpaïne	33-42
Contrôle μ -calpaïne et m-calpaïne	43-44
m-calpaïne	45-52
contrôle m-calpaïne	53-54

C'est donc la fraction 33-42 et celle de 45-52 qui ont été utilisées pour déterminer respectivement l'activité de la μ -calpaïne et de la m-calpaïne.

Une seconde méthode a été utilisée afin d'isoler la calpastatine. Les deux microtubes contenant chacun 1 ml de surnageant obtenu 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 l'eau glacée, avant d'être centrifugés pendant 10 min à 14 000 rpm (centrifugeuse Eppendorf 5810R; Agilent technologies, Mississauga, 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 CaCl_2 et une contenant du EDTA (0,5 M Tris; 3,37 mM DTT; 10 mg/ml Caséine; 4,166 mM CaCl_2 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 CaCl_2 . La même procédure a été répétée avec la solution de caséine EDTA. Les fractions d'intérêts ont été effectuées en duplicata (33-42 et 45-52). Pour la fraction 45-52, des tubes ont aussi été préparés avec seulement 250 μl de la fraction, 250 μl de tampon sans NaCl et 750 μl de caséine CaCl_2 (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 μl tampon sans NaCl + 125 μl de calpastatine + 250 μl m-calpaïne (45-52)
+ 750 μl solution caséine CaCl_2

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

Tous les tubes préparés ont été agités au vortex puis incubés pendant 60 min dans un bain-marie maintenu à 25 °C. La réaction a été arrêtée par l'ajout 250 μl de TCA 15 % (acide Trichloroacétique). Par la suite, l'absorption des différents tubes 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, nous sommes en mesure de connaître l'activité des différentes fractions en soustrayant l'activité de l'échantillon avec caséine EDTA (activité non-calcium dépendante) à celle de l'échantillon avec caséine CaCl_2 . La différence est alors une mesure de l'activité caséinolytique engendrée par l'activation des calpaïnes en présence de CaCl_2 . Dans le cas des fractions contrôles, une activité minimale due à des valeurs d'absorptions similaires entre l'échantillon caséine CaCl_2 et celui caséine 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.

Longueur des sarcomères

La longueur des sarcomères a été déterminée via une analyse d'image avec le logiciel Image Pro Plus. Cinq grammes (5 g) de muscle ont été homogénéisés dans 50 ml d'une solution de sucrose 0,2 M pendant 25 sec à une vitesse maximale de 26 000 rpm à l'aide d'un 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 (Eclipse, E400, Nikon) muni d'une caméra digitale (modèle 3.2.0 Diagnostic Instruments), 25 myofibrilles ont été photographiées sous un objectif de 100x. Chacune des myofibrilles devait être constituée d'un minimum de 10 sarcomères. Par la suite, 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 est mesurée et divisée par le nombre de sarcomères.

2.3.4. Évaluation sensorielle

L'évaluation sensorielle a été effectuée à partir de 32 longes gauches et 32 *semimembranosus* gauches (8 longes et *semimembranosus*/sexe/traitement). Un profil sensoriel de la flaveur et de la texture a été réalisé. 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 de 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.

Entraînement du jury

Un panel de 12 juges, travailleurs et stagiaires du CRDA, pour la plupart expérimentés, 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 un projet sur 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.

Préparation des échantillons

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

Muscle	Action		
	-72 h	-24 h	Jour sensoriel
Longe complète	Placer à 4 °C	Désosser	
Carré		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	Placer à 4 °C	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 de chaque carré, ce qui permet aux juges d'avoir 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.

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 :

- décheté provenant de la longe courte pour évaluer la flaveur;
- décheté 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.-à-d. 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 un ordinateur attendant à chaque bureau à cloisons.

2.3.5. Résumé des paramètres mesurés

En bergerie

- Poids et GMQ hebdomadaires pour la période entre 62 j et environ 150 j d'âge;
- Âge à l'abattage;
- Poids vif avant le jeûne;
- Consommation de moulée;
- Évaluation de la consommation de fourrage à trois périodes, aux environs des jours 70, 90 et 110;
- Mesures du GR, du gras dorsal et de l'œil de longe par échographie au début et à la fin de la période de croissance.

À l'abattoir

- Poids à jeun à l'abattage (perte de poids lors du jeûne);
- Poids de la carcasse (chaude et froide);
- Rendement de carcasse;
- Classification (GR, cote de conformation, rendements en viande vendable et en viande maigre, indice de classification).

Au laboratoire

- Type métabolique et vitesse de contraction musculaire des fibres :
 - Nombre et pourcentage de fibres glycolytiques (blanches) pour une surface donnée;
 - Nombre et pourcentage de fibres oxydo-glycolytiques (intermédiaires) pour une surface donnée;
 - Nombre et pourcentage de fibres oxydatives (rouges) pour une surface donnée;
- Activité de la citrate synthase, de la lactate déshydrogénase et de la β -Hydroxyl-CoA déshydrogénase;
- Activité de la μ -calpaïne, la m-calpaïne et de la calpastatine;
- Teneur en eau;
- Pourcentages de gras et de protéines;
- pH;
- Coloration (teinte, saturation, couleur) et oxydation de la myoglobine;
- Force de cisaillement (mesure de tendreté);
- Longueur des sarcomères;
- Composition en acides gras.

Panel de dégustation

- Flaveur, fermeté et jutosité perçues.

2.3.6. 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 ultime trop élevé (6,18). Cet agneau aurait subi un stress pré-abattage trop important en étant isolé lors de la mise à jeun, puisqu'il a été le seul à atteindre la strate de poids visée à la semaine correspondante. Les mesures du poids à jeun des agneaux abattus le 24 février 2005 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 Inst. Inc., Cary, NC, États-Unis). Les sources de variation incluses dans le modèle étaient le sexe et l'environnement d'élevage. Il est important de mentionner que dans l'effet sexe se confond l'effet poids d'abattage puisque les femelles ont été abattues à un poids inférieur à celui des mâles. Ce choix était tout à fait logique d'un point de vue de la maturité physiologique, en plus d'être représentatifs des poids 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 : Graham *et al.*, 1981; McBride et Christopherson, 1984; Ekpe et Christopherson, 2000; Li *et al.*, 2000.

Les effets principaux et les interactions 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.

2.3.7. Étapes de réalisation

Activités	Date prévue	Date réelle	Finalités
Sélection des agneaux pour le début de l'expérimentation	Janvier 2005	Janvier 2005	Répartition des agneaux dans les deux bergeries pour le début de l'expérimentation
Phase animale – Cueillette des données de croissance	Janvier à avril 2005	Janvier à avril 2005	Suivi des animaux en bergerie (pesés, mesures à ultrasons...) et données compilées dans des fichiers EXCEL
Analyses de laboratoire	Mai 2005 à avril 2006	Mai 2005 à août 2006	Cueillette des données relative à la qualité de la viande
Compilation et analyses statistiques	Mai 2005 à avril 2006	Septembre à décembre 2006	
Rédaction du rapport final	Avril 2006	Janvier à avril 2007	Production du rapport final
Remise du rapport final	Avril 2006	Mai 2007	Rapport final
Diffusion des résultats			Plusieurs conférences et articles (voir section 3. Diffusion des résultats)

2.4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La figure 2.1 présente les températures enregistrées à l'intérieur des bergeries (froide et chaude) 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 $10,9 \pm 0,70$ °C (8,8 à 12,3 °C) tandis que celle de l'environnement froid (bergerie froide) était de $-2,0 \pm 5,16$ °C (-10,9 à 9,3 °C). Pour sa part, la température extérieure moyenne enregistrée a été de $-9,4 \pm 5,87$ °C. 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 et 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) et 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'élevages retrouvées dans l'est du Canada. Cette particularité doit donc être prise en compte lors de l'interprétation des résultats puisque la littérature a rapporté 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).

Pour ce qui est de l'humidité mesurée à l'intérieur des bergeries, elle a été respectivement de $75,2 \pm 8,20 \%$ et $57,8 \pm 9,72 \%$ pour l'environnement froid et l'environnement chaud.

2.4.1. 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 2.1). 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, 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, tant au niveau des mâles que des femelles (Tableau 2.1). 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 $-7,49 \pm 6,08 \text{ °C}$ en 2003 et $-4,74 \pm 6,24 \text{ °C}$ en 2004 pour l'environnement froid et $6,25 \pm 2,24 \text{ °C}$ en 2003 et $10,50 \pm 2,57 \text{ °C}$ en 2004 pour l'environnement tempéré. Au contraire, les résultats présentés au tableau 2.1 indiquent que lorsque des différences ont été observées au niveau de la croissance des agneaux, l'environnement froid était plus favorable.

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 observé un effet quadratique de la température sur le GMQ 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. D'ailleurs, 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.

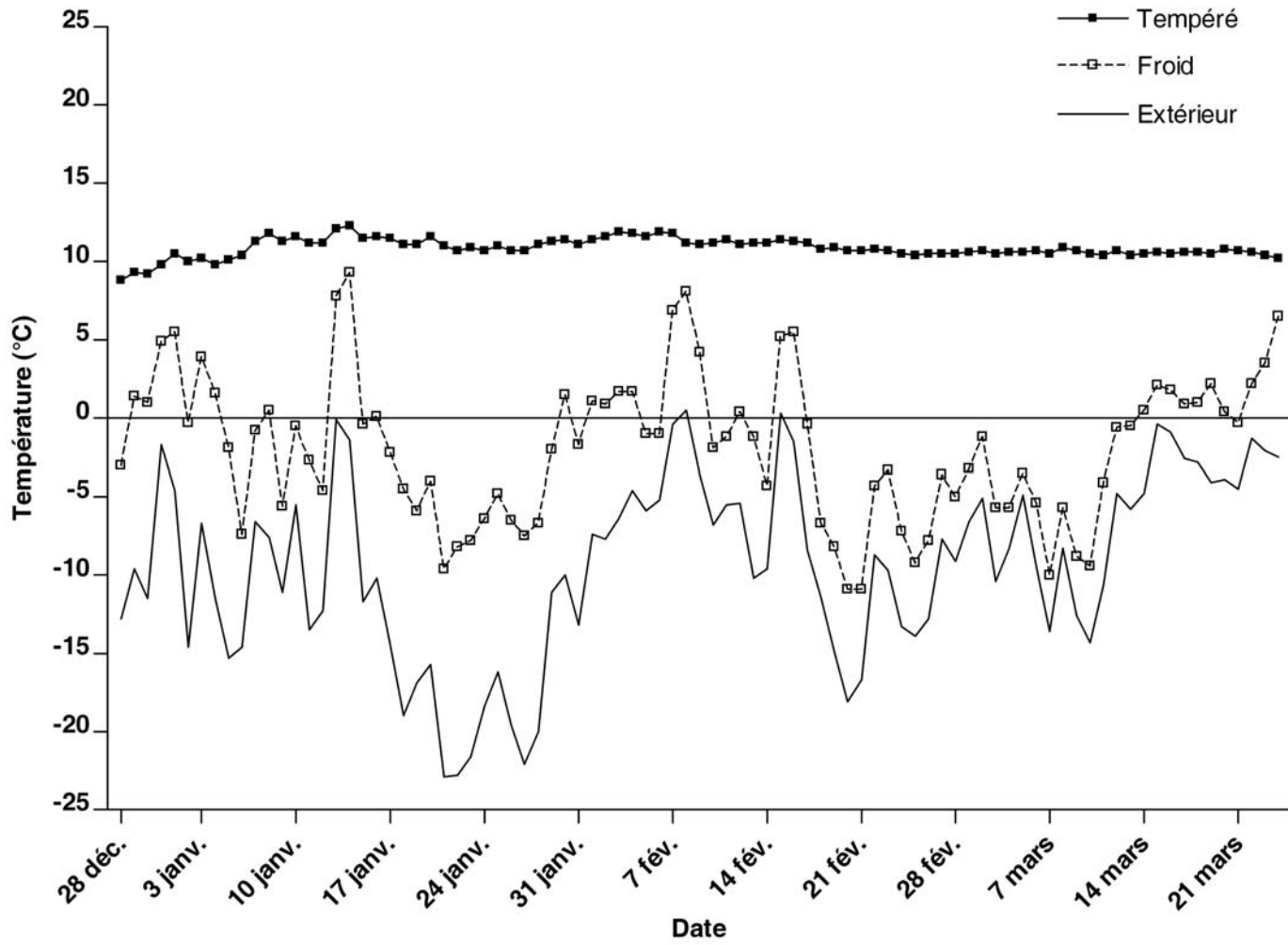


Figure 2.1. Variation de la température dans les bergeries expérimentales durant la période hivernale

Tableau 2.1. Paramètres de croissance en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâles		Femelles		SEM	Effets (P)		
	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid		S	E	S x E
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 (mm) ¹	5,7	5,7	5,6	5,8	0,2	0,964	0,716	0,814
Épaisseur du muscle initiale (mm) ¹	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 (mm) ¹	9,0	8,3	9,3	9,0	0,3	0,112	0,125	0,685
Épaisseur du muscle à l'abattage (mm) ¹	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 gras (mm/j) ²	0,061	0,048	0,061	0,055	0,005	0,482	0,068	0,535
Dépôt du muscle (mm/j) ²	0,142	0,170	0,119	0,149	0,010	0,049	0,014	0,886
Consommation de moulée (kg/enclos) ³	379,0	388,8	391,7	368,6	11,4	0,726	0,532	0,139

¹ Épaisseurs du muscle de la longe et du gras dorsal mesurées par ultrason entre les 3^e et 4^e vertèbres lombaires.

² Dépôts de muscle et de gras au niveau de la longe mesurés par ultrason entre les 3^e et 4^e vertèbres lombaires et exprimés en mm/jour.

³ Consommation totale moyenne par enclos de 4 agneaux.

Schanbacher *et al.* (1982) ont rapporté un GMQ supérieur lorsque les agneaux non tondus 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 ambiance froide, ce qui pourrait expliquer en partie la différence de gain moyen. 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 pas 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).

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 la zone de neutralité thermique.

L'absence de différence au niveau de la consommation de moulée de cette étude va à l'encontre des résultats publiés par différents auteurs concernant l'ingestion alimentaire en fonction de la température 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) :

$$\text{Matière sèche ingérée (g/kg Pds vif}^{0,75}) = 111,3 - 0,52T \text{ } ^\circ\text{C}$$

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 différences 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, les fluctuations de températures n'engendreraient que de faibles réponses métaboliques (Webster *et al.*, 1969; Slee, 1970, 1971, 1972). Ce type d'adaptation, nommée *habituation*, permettrait aux agneaux de tolérer une température temporairement sous leur zone de confort sans toutefois augmenter leur métabolisme ni leur besoin énergétique.

Les mesures d'épaisseur du *longissimus dorsi* et de la couverture de gras prises par ultrason sur les agneaux vivants avant leur abattage révèlent des différences significatives selon l'environnement dans lequel ils ont été élevés (tableau 2.1). 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 ils ont déposé plus de muscle sous l'environnement froid; 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 d'une meilleure digestion de cet NAN à ce niveau, pour des ovins alimentés à base de fourrages et élevés entre 0 et 5 °C comparativement à ceux gardés entre 20 et 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 voir 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'ovine (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'ovine (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'ovine 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 amassées au cours de cette expérience ne permettent pas d'expliquer de quelle manière. Toutefois, l'analyse des profils métaboliques des agneaux de la présente expérience montre 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.

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 de gras prises sur les carcasses à l'aide de la réglette. Contrairement à ce constat, une épaisseur de gras dorsal plus importante a été observée chez des agneaux mâles castrés tondu élevés à 0 °C comparativement à ceux élevés à 20 °C (Li *et al.*, 2000). Les auteurs attribuaient cette réponse à une augmentation de l'isolement 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 tondu.

Le poids à jeun était supérieur pour les agneaux élevés dans l'environnement froid (Tableau 2.1), 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.

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 (analyses 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 seul 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 ($P = 0,07$) à une interaction sexe x environnement pour 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 numériquement les GMQ soient supérieurs sous l'environnement froid, aucune différence ou tendance en ce sens n'ont été observées.

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 dans l'environnement froid? Y avait-il moins d'infections cliniques ou sous-cliniques dans cet environnement ce qui aurait fait diminuer les besoins énergétiques à ce niveau? Aucune donnée ou observation dans la présente étude ne permet de valider cette hypothèse. Seule constatation, les agneaux n'ont pas été plus malades sous l'un ou l'autre des environnements, ce qui n'exclut cependant pas des différences sous-cliniques. En effet, une étude rapporte une prévalence plus importante de lésions pulmonaires chez les 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 gain moyen quotidien 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 des poids de la carcasse chaude et froide. Les femelles étaient aussi plus grasses que les mâles, en plus d'avoir des rendements carcasses supérieurs et des rendements en viande maigre et vendable inférieurs. 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 2.2, 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 étaient fortement corrélés avec le poids vif à la sortie (mâles : $r = 0,46$ $P < 0,01$ et $r = 0,50$ $P < 0,01$; femelles : $r = 0,77$ $P < 0,0001$ et $r = 0,77$ $P < 0,0001$) et le poids à jeun (mâles : $r = 0,80$ $P < 0,0001$ et $r = 0,81$ $P < 0,0001$; femelles : $r = 0,86$ $P < 0,0001$ et $r = 0,85$ $P < 0,0001$). Malgré cette relation, il est impossible 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. Chez le bovin, une étude a plutôt rapporté un rendement 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 gain moyen quotidien, 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 ingérés. Ce 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.

Tableau 2.2. Paramètres de qualité de carcasse en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâles		Femelles		SEM	Effets (P)		
	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid		S	E	S x E
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 (mm) ¹	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 côte à 11 cm de la colonne vertébrale à l'aide d'une règle lors de la classification.

2.4.2. 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 (tableau 2.3). 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 2.3). 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 de métabolisme oxydatif que glycolytique. Les niveaux d'activité de la citrate synthase et la lactate déshydrogénase 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 2.3). 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) gardés dans un environnement froid. Ces modifications au niveau de la proportion des fibres 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 changement 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

Tableau 2.3. Caractéristiques chimique et biochimique du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâles		Femelles		SEM	Effets (P)		
	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid		S	E	S x E
Fibres SO (%)	8,8	7,7	8,1	7,0	0,7	0,284	0,139	0,991
Fibres FOG (%)	52,1	53,6	52,0	55,0	1,0	0,522	0,047	0,475
Fibres FG (%)	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
Protéine (%)	21,7	21,5	21,6	21,5	0,2	0,866	0,403	0,780
CS (UI/g viande)	16,4	17,2	15,5	18,1	1,0	0,957	0,107	0,377
LDH (UI/g viande)	1466,4	1491,5	1596,5	1721,5	124,3	0,169	0,553	0,692
HAD (UI/g viande)	1,01	1,16	0,96	1,18	0,16	0,908	0,221	0,812
μ -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

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

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 étaient 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'ovine 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 de gras ont été observés chez les femelles (tableau 2.3). 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, en gras et en 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 *rhomboideus* et du *semimembranosus* selon la température d'élevage chez le porc (Herpin et Lefaucheur, 1992; Lebreton *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 acide gras du *longissimus dorsi* comme en témoignent les résultats présentés au tableau 2.4. 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 significativement une plus grande proportion d'acide oléique. Une telle différence a d'ailleurs déjà été rapportée chez l'ovine (Madruga *et al.*, 2006). Finalement, la proportion de C18:1 trans était statistiquement supérieure dans la viande des mâles.

Tableau 2.4. Profil en acide gras du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâles		Femelles		SEM	Effets (P)		
	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid		S	E	S x E
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

2.4.3. 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 2.5. 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 est en accord avec celui de Johnson *et al.* (2005) qui ont eux aussi obtenu un pH ultime supérieur chez la viande des agneaux mâles. De plus, il a été rapporté que la viande d'agneaux mâles avait un pH supérieur à celui 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 vert-rouge) et b^* (axe bleu-jaune) avaient des valeurs supérieures chez les femelles. 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 (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 dans le poids d'abattage et des races évaluées. 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, 1972; Hamm, 1986). Toutefois, la différence de pH était relativement minime, ce qui laisse croire qu'elle pourrait ne pas être la cause de 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 autres études (Dransfield *et al.*, 1990; Dragomir, 2005; Johnson *et al.*, 2005).

Tableau 2.5. Paramètres de qualité de la viande du longissimus dorsi en fonction du sexe (S) et de l'environnement d'élevage (E)

Variables	Mâles		Femelles		SEM	Effets (P)		
	Tempéré	Froid	Tempéré	Froid		S	E	S x E
pH	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	3,93	3,80	3,64	3,43	0,18	0,084	0,373	0,820
- Fermeté	4,27	4,30	3,86	3,65	0,30	0,088	0,750	0,697
- Jutosité	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

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 2.5). 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 des mâles (tableau 2.3), 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.

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 2.5). La flaveur de la viande d'agneaux serait plus intense chez les mâles que chez les femelles. Ce résultat est d'ailleurs en accord avec celui 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, dans 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 revue voir 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.*, 1975a; Wong *et*

al., 1975b; 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 2.5). 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 semblait 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. CONCLUSIONS ET IMPACTS DE L'ÉTUDE

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 demeurerait 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 toutefois être 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, qui correspondent en fait aux conditions retrouvées dans une bergerie dite « froide », 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.

4. DIFFUSION DES RÉSULTATS

Le financement de ce projet par le CDAQ a permis la formation d'un étudiant à la maîtrise, Éric Pouliot, spécialisé en qualité de la viande ovine. D'ailleurs, monsieur Pouliot poursuit actuellement des études de doctorat dans le même domaine, et il devrait assurément devenir une ressource inestimable pour le secteur de l'industrie ovine au cours des prochaines années. Au cours des dernières années, l'équipe de recherche a diffusé les résultats du projet à travers plusieurs médias. Mais, plus encore, plusieurs conférences et publications ont été réalisées pour vulgariser l'importance de la qualité de la viande auprès de l'ensemble de l'industrie ovine.

Publications Scientifiques :

- (1) Pouliot, É. 2007. *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 de maîtrise, Université Laval, Québec.
- (2) Pouliot, É., Gariépy, C., Avezard, C., Thériault, M., Castonguay, F.W. *Influence of environmental temperature on lamb meat quality*. Article scientifique qui sera soumis en 2007 au Journal of Animal Science.

Articles de Vulgarisation :

- (1) Castonguay, F., Pouliot, É., Thériault, M. 2005. *La croissance d'accord... mais la qualité avant tout!* Ovin Québec, 5 (2) : 24.
- (2) Pouliot, É. 2005. *Tendre comme un agneau*. Ovin Québec, 5: 17-19.
- (3) Pouliot, É. 2006. *L'agneau...une viande pas comme les autres*. Ovin Québec, 6: 23-24.
- (4) Pouliot, É., Goulet, F. 2005. *Producteurs de plaisir?* Ovin Québec, 5: 32-33.

Conférences :

- (1) Pouliot, É., Gariépy, C., Avezard, C., Thériault, M., Castonguay, F. 2005. *Impact de l'élevage des agneaux lourds en bergerie chaude ou en bergerie froide durant la période hivernale sur la qualité de la viande*. Dans: Compte-rendu de la Journée de recherche en production ovine 2005. 11 mai, Drummondville, pp. 61-63.
- (2) Pouliot, É. 2006. *La qualité de la viande : un concept primordial pour des producteurs de plaisir*. Tournée de consultation pour le 10^e anniversaire du CEPOQ. 26 août, Rouyn-Noranda.
- (3) Pouliot, É. 2006. *La qualité de la viande : un concept primordial pour des producteurs de plaisir*. Tournée de consultation pour le 10^e anniversaire du CEPOQ. 2 novembre, Princeville.

- (4) Pouliot, É. 2006. *La qualité de la viande : un concept primordial pour des producteurs de plaisir*. Tournée de consultation pour le 10^e anniversaire du CEPOQ. 04 novembre, St-André Avelin.
- (5) Pouliot, É. 2006. *La qualité de la viande : un concept primordial*. Cours de 1^{er} cycle « Production de viande bovine », 22 novembre, Université Laval, Québec.
- (6) Pouliot, É. 2006. *L'agneau lourd : produit, perception et classification*. Cours de 1^{er} cycle « Production ovine », 27 novembre, Université Laval, Québec.
- (7) Pouliot, É. 2006. *La qualité de la viande : un concept primordial pour des producteurs de plaisir*. Cours de 1^{er} cycle « Production ovine », 28 novembre, Université Laval, Québec.
- (8) Pouliot, É. 2006. *La qualité de la viande : un concept primordial pour des producteurs de plaisir*. Tournée de consultation pour le 10^e anniversaire du CEPOQ. 30 novembre, St-Gabriel de Rimouski.
- (9) Pouliot, É. 2006. *La qualité de la viande : un concept primordial pour des producteurs de plaisir*. Tournée de consultation pour le 10^e anniversaire du CEPOQ. 9 décembre, Alma.
- (10) Pouliot, É. 2006. *La qualité de la viande : un concept primordial pour des producteurs de plaisir*. Journée technique en Estrie. 14 décembre, Sherbrooke.
- (11) Pouliot, É., Gariépy, C., Avezard, C, Thériault, M., Castonguay, F. 2007. *Impact de l'élevage des agneaux lourds en bergerie chaude ou en bergerie froide durant la période hivernale sur la qualité de la viande*. Dans: Compte-rendu de la Journée de recherche en production ovine 2007. 25 mai, Lévis (sous presse).
- (12) Pouliot, É. 2007. *La qualité de la viande : un concept primordial pour des producteurs de plaisir*. Dans: Compte-rendu de la Journée de recherche en production ovine 2007. 25 mai, Lévis (sous presse).

5. RÉFÉRENCES

- 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. *Beef Research Update*: 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. *Proceedings of the International Congress of Meat Science and Technology.* 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.

- Crouse, J.D. 1983. The effects of breed, sex, slaughter weight, and age on lamb flavor. *Food Technol.* 37: 264-268.
- 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.
- 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 lowland 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 cytochrome c in skeletal muscles of warm- and 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. Physico-chemical 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, Université Laval, Québec.
- 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.
- 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., Campinas* 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. Rennerre. 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.
- 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 2000-1E*: 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.
- 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. 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.
- 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.
- Lawrence, T.L.J. et V.R. Fowler. 2002. Growth of farm animals. Second éd. CABI publishing, Wallingford, UK, 347 pp.

- Lawrie, R.A. 1998. *Lawrie's meat science*. 6th éd. Woodhead publishing limited, Cambridge, 336 pp.
- Lebret, B., P. Massabie, R. Granier, H. Juin, J. Mouroit 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.
- Lebret, B., P. Massabie, H. Juin, J. Mouroit, 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.
- Lefaucheur, L., J.L. Dividich, J. Mouroit, 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.
- Madrugá, 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. Zootech.* 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*, Washington, D.C., 168 pp.
- NRC. 1985. *Nutrient requirements of sheep*. Sixth Revised edition, Washington D.C., 99 pp.
- NRC. 1987. *Predicting feed intake of food-producing animals*, Washington, D.C., 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. Banchemo. 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, USA.
- 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. Koochmariaie, 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. Banchemo. 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.
- 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. *Proc. 37th Int. Congr. Meat Sci. Technol.*, Kulmbach, Germany. 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. Koochmariaie. 2001. Effect of postmortem storage on mu-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 and meat quality in intensive lamb production systems. *Meat Sci.* 53: 211-215.
- 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.
- 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.

- 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., C.B. Johnson et L.N. Nixon. 1975a. The contribution of 4-methyloctanoic (hircinoic) acid to mutton and goat meat flavour. *N. Z. J. Agric. Res.* 18: 261-266.
- Wong, E., L.N. Nixon et C.B. Johnson. 1975b. Volatile medium chain fatty acids and mutton flavor. *J. Agric. Food Chem.* 23: 495-498.
- 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, St John's.

6. PLAN DE FINANCEMENT ET RAPPORT FINANCIER

Le plan de financement détaillé et le rapport financier sont présentés dans un document joint au présent rapport technique. Le budget accordé par le CDAQ a été respecté à la lettre.

Annexe 1.

COMPOSITION DES MOULÉES

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

Nutriments	Composition	
	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 A.2. Composition de la moulée « Puranio » 16 %

Nutriments	Composition	
	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